



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS**

**Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço**

*Especialização em Física da Atmosfera e do Clima*

**Dissertação**

**Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo**

Ernestina Brázio Correia

**Orientadora:**

Professora Doutora Ana Maria Almeida e Silva

Novembro de 2012

**Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço**

*Especialização em Física da Atmosfera e do Clima*

**Dissertação**

**Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo**

Ernestina Brázio Correia

**Orientadora:**

Professora Doutora Ana Maria Almeida e Silva

**Ao Miguel e  
ao Flaminio**

# Agradecimentos

À orientadora Professora Doutora Ana Maria pelos seus ensinamentos, disponibilidade, dedicação e amizade;

Ao Doutor Sérgio Pereira pela sua disponibilidade e inestimável colaboração relativamente às retrotrajectórias das  $PM_{10}$ .

À Agência Portuguesa do Ambiente, ao Instituto de Meteorologia e ao Centro de Geofísica de Évora, pela disponibilidade demonstrada no fornecimento de dados.

A todos os professores e colegas do Mestrado que contribuíram para o levar a bom termo.

À Vanda e à Marta pelo apoio, carinho e acolhimento, sem elas teria sido difícil.

À Ana, à Dina e ao Flávio pelo apoio e compreensão.

A todos que tornaram possível a realização da presente dissertação.

# Índice

Índice .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Lista de Acrónimos .....	iv
1- Introdução .....	1
2- Aerossóis .....	6
2.1- Origem .....	6
2.2 – Propriedades físicas e químicas .....	8
2.3- Instrumentos utilizados na medição da concentração mássica.....	16
2.4- Impactes dos aerossóis .....	19
3- Dados e metodologia .....	23
3.1- Caracterização da área de estudo .....	23
3.2- Descrição dos dados da concentração mássica.....	36
3.3- Métodos de análise .....	40
4- Apresentação e discussão dos resultados .....	42
4.1- Evolução temporal .....	47
4.2- Caracterização espaço-temporal .....	86
4.3- Episódios de elevada concentração de PM <sub>10</sub> .....	90
5- Conclusão .....	114
6- Referências bibliográficas .....	119
Anexo .....	128

# **Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo**

## **Resumo**

O presente estudo tem como objetivos analisar a distribuição espacial e temporal da poluição observada à superfície na região Sul de Portugal, em termos da concentração mássica dos aerossóis PM<sub>10</sub>, medida em quatro locais distintos, a saber Évora, Terena, Monte Velho e Quebedo e identificar as possíveis justificações para as heterogeneidades encontradas, em função da análise de variáveis meteorológicas e das origens das fontes de aerossóis que atingem os locais de estudo.

Os dados tratados, são referentes a cinco anos, (2005-2009) com excepção dos dados de Évora, que respeitam apenas a quatro anos, (2006-2009).

No propósito de atingir os objetivos acima mencionados foi efectuada uma análise estatística dos dados horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> das quatro estações: variabilidade espacial, variabilidade anual, sazonal e diária, a análise de excedências relativamente aos Valores Limites Diário (VLD) de 50 µg m<sup>-3</sup> e Anual (VLA) de 40 µg m<sup>-3</sup>. Foram ainda identificadas situações extremas de episódios de poluição e à tentativa de efectuar a caracterização do tipo de aerossóis aí presentes em função da análise de variáveis meteorológicas (velocidade e direcção do vento e temperatura do ar) e das rectro-trajectórias de 72h em três altitudes terminando em cada um dos locais de estudo.

### **Palavras-chave:**

Poluição; Aerossóis; Concentração mássica de aerossóis; Variáveis meteorológicas.

# Characterization of pollution (aerosols) at the surface in region Alentejo

## Abstract

The scientific goal of the present study is i) the analysis of the time and space distribution of the atmospheric pollution observed in Southern region of Portugal, at the ground surface, in terms of the aerosol mass concentration,  $PM_{10}$ , measured at four sites, namely Évora, Terena, Monte Velho and Quebedo; ii) the identification of possible reasons for the space-time heterogeneities. as a function of the meteorological conditions and of the origin of aerosol sources. The processed data are for five years (2005-2009) with the exception of Évora, which refers to only four years (2006-2009).

In order to achieve the goals mentioned above a statistical analysis of hourly data of  $PM_{10}$  mass concentration of the four sites was performed, such as the spatial and annual variability, seasonal and daily analysis of exceedances of the Daily Limit Value (DLV) of  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  and of the Annual Limit Value (ALV) of  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ . Situations of extreme pollution episodes were also identified and the characterization of the type of aerosols was tried as a function of meteorological conditions (wind speed and direction, atmospheric temperature) observed at each site and of the 72 hour back trajectories analysis at three different altitudes ending at each site.

### Keywords:

Pollution; Aerosol; aerosol mass concentration; Meteorological conditions

## Lista de Acrónimos

CCN	Cloude Condensation Nuclei
EN	European Norm
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
IN	Ice Nuclei
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Standard Organization
PM	Material particulado
PM <sub>2,5</sub>	Material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5µm
PM <sub>10</sub>	Material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm
RF	Radiative Forcing
TEOM	Tapered Element Oscilating Microbalance
VLA	Valor Limite Anual
VLD	Valor Limite Diário
WHO	World Health Organization



# Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

## 1- Introdução

A Atmosfera é a camada gasosa que circunda o Globo, constituída por gases e aerossóis, vulgarmente designada por ar e ainda por nuvens. Os constituintes gasosos maioritários são o azoto, oxigénio, dióxido de carbono e vapor de água. Há ainda outros gases, em menores quantidades, mas não menos importantes que os maioritários.

Os aerossóis, por vezes designados por material particulado, PM, existentes na atmosfera são constituintes (sólidos ou líquidos, constituindo a fase dispersa) em suspensão na atmosfera (meio dispersante) e com um tempo de residência mínimo podendo apresentar diferentes dimensões. Assim sendo é usual classificarem-se em partículas finas, médias e grosseiras, de acordo com as suas dimensões. Como exemplo de partículas finas temos o caso do fumo do tabaco e o pó de carbono “negro” de fumo; como exemplo de partículas médias temos as farinhas, alguns fumos e poeiras de metalurgias, algumas cinzas, pó de cimento, carvão e sal marinho. Os pólenes são classificados como partículas grosseiras assim como algumas cinzas, poeiras do deserto ou mesmo sais marinhos. As partículas que são mais vulgarmente medidas são as designadas por  $PM_{10}$ , ou ainda as  $PM_{2,5}$  designação que está relacionada com o seu diâmetro. Assim, as  $PM_{10}$  apresentam diâmetro aerodinâmico (ver definição no capítulo 2, secção 2.2) inferior a  $10\ \mu\text{m}$  enquanto as  $PM_{2,5}$  têm diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5\ \mu\text{m}$ . A presença de material particulado (PM) em excesso, oriundo de actividade antropogénica (industrial/tráfego automóvel/fogos) na atmosfera constitui um dos mais sérios e graves problemas de poluição atmosférica. Os seus efeitos fazem-se sentir na qualidade do ar, na visibilidade atmosférica, na alteração das propriedades das nuvens na química da atmosfera e conseqüentemente nas alterações do clima.

A estrutura térmica vertical da atmosfera, estabelece a existência de um conjunto de camadas em que a mais próxima da superfície da Terra, designada Troposfera é aquela onde ocorre a maioria dos fenómenos atmosféricos que condicionam o estado do

tempo. Também é nesta camada que se situa cerca de 80% da massa que constitui a atmosfera.

A Sociedade, como um todo, tem desde a década de setenta do século passado, vindo a manifestar a sua preocupação e interesse pelas questões ambientais (Freeman, 2002). Buckley et al (2006) alertaram para a importância e o impacto da poluição na vida (económica e social) das diferentes sociedades. As práticas violadoras do meio ambiente atingem o nosso planeta, o que levou Kolstad (2010) a afirmar que o problema da poluição é um problema global.

Relativamente à qualidade do ar ambiente e com o propósito de termos um ar mais limpo na Europa, em 2008, foi publicada a Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio. Esta Directiva surgiu como consequência da revisão de toda a legislação comunitária referente à qualidade do ar, na qual foram agregados os últimos progressos técnicos e científicos nessa matéria.

Nos três primeiros anos a que respeita o presente estudo, o regime geral da gestão da qualidade do ar constava do Decreto-Lei n.º 276/99 de 23 de Julho. Este Decreto-Lei transpôs para o direito interno cinco directivas comunitárias: a Directiva-Quadro da Qualidade do Ar, também denominada de directiva mãe, Directiva 96/62/CE de 27 de Setembro e quatro directivas criadas com base nesta, as directivas filhas.

O Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril, transpôs para a ordem jurídica interna as Directivas comunitárias 1999/30/CE de 22 de Abril e 2000/69/CE de 16 de Novembro, estabelecendo os valores limite e os limiares de alerta para as concentrações de certos poluentes como o dióxido de enxofre, dióxido de azoto, chumbo, benzeno, monóxido de carbono e partículas em suspensão, entre as quais as PM<sub>10</sub>.

Os valores de referência, no caso das partículas, para Portugal e União Europeia, imposta pela Directiva Europeia 1999/30/EC de 22 de Abril e que foi transposta para a legislação nacional pelo Decreto-Lei n.º 111/2002, são:

- Valor Limite Diário, VLD de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , nível fixado com base em conhecimentos científicos com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no ambiente, não podendo ser excedido mais do que 35 dias por ano, desde 2005 a 2010, passando a 7 dias a partir de 2010;
- Valor Limite Anual, VLA de  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ , nível fixado com base em conhecimentos científicos com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no ambiente, até ao ano de 2010, passando a ser de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ , a partir de 2010.

Actualmente a legislação em vigor sobre o regime geral da gestão da qualidade do ar consta do Decreto – Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro que estabelece os objectivos de qualidade do ar tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial de Saúde, destinados a preservar a qualidade do ar ambiente quando ela é boa e melhorá-la nos outros casos.

A região Alentejo não fica alheia a essas preocupações ambientais. Interessa perceber qual o tipo de poluição existente à superfície e as razões justificativas dessa situação.

Vários estudos foram efectuados sobre a caracterização das propriedades ópticas e físicas dos aerossóis relevantes do ponto de vista do seu impacto no clima, com base em medições de satélite e instrumentação de detecção remota *e in situ* da plataforma observacional do Centro de Geofísica de Évora (Elias et al., 2006; Silva et al., 2003; Pereira et al., 2003; Santos et al., 2005b, Pereira, 2006; Pereira, 2011). Estes estudos incidiram sobretudo sobre a região de Évora.

No entanto um estudo sobre a concentração de aerossóis PM<sub>10</sub> em diferentes locais da região Alentejo, com características distintas do ponto de vista do seu ambiente (urbano ou rural) e da influência a que estão sujeitos (tráfego ou de fundo) não tinha sido ainda realizado.

Assim este trabalho ambiciona responder a estas questões, isto é, pretende caracterizar a concentração e a natureza de aerossóis existente à superfície em diferentes locais da região Alentejo (próximo da costa e no interior), com diferentes actividades (urbana/rural) e sujeitos a influências distintas (tráfego ou de fundo). É ainda nosso objectivo interpretar quais as possíveis causas (locais, externas) que condicionam a carga de aerossóis PM<sub>10</sub> nesta região.

Este trabalho tem como objectivos:

-analisar estatisticamente todos os dados da concentração mássica de PM<sub>10</sub> num determinado período de tempo (5 anos/4 anos para uma das estações), em quatro estações. Três estações estão situadas no Alentejo: Monte Velho, Terena e Évora e a quarta, Quebedo, na Península de Setúbal, mais precisamente na cidade de Setúbal. Esta foi escolhida por se encontrar a norte da região Alentejo, mas já fora da designada cintura industrial de Lisboa, apesar de sofrer a sua influência por via dos ventos dominantes da circulação geral.

-Identificar episódios de poluição que ocorreram em simultâneo em todas as diferentes estações ou apenas em algumas delas relacionando-os com as condições meteorológicas das estações e com as origens das fontes de produção de aerossóis localizados fora da região em estudo. A identificação das fontes foi feita recorrendo à análise das retrotrajectórias de 72 h a três altitudes diferentes (500, 1500 e 3000 m), sendo que apenas interessam as que atinjam a superfície, independentemente da altitude da sua origem.

A dissertação está organizada do seguinte modo:

Neste primeiro capítulo é feita uma breve introdução à problemática dos aerossóis, apresentando o enquadramento do estudo, a motivação, a apresentação e discussão do problema em estudo, os objectivos do trabalho e metodologia utilizada assim como a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 será efectuada uma abordagem à origem, às propriedades físicas e químicas dos aerossóis, à medição da sua concentração mássica, aos instrumentos utilizados para essa medição e ao seu impacto no ambiente.

O capítulo 3 apresenta a caracterização da área de estudo, a descrição dos dados que foram disponibilizados da concentração mássica de  $PM_{10}$  e das variáveis meteorológicas assim como das retro-trajectórias calculadas apenas para as situações em que se verificou a ocorrência de episódios de poluição. Ainda neste Capítulo são apresentados os métodos de análise utilizados neste trabalho e a definição de episódio de poluição que foi tomado como referência para a sua identificação.

O Capítulo 4 “Apresentação e discussão dos resultados” contempla a caracterização temporal das  $PM_{10}$ , efectuando a análise quer dos valores calculados da concentração mássica em períodos temporais maiores (diária, semanal e anual) assim como um estudo da sua variabilidade sazonal e intra-anual. Ainda neste capítulo pretendeu-se efectuar a caracterização espaço-temporal da concentração mássica de  $PM_{10}$  dos vários locais (Évora, Terena, Monte Velho e Quebedo) assim como a identificação de eventuais episódios de poluição e sua relação com as respectivas condições meteorológicas e com as fontes de aerossóis localizadas fora desses locais.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões do estudo efectuado.

## **Motivação**

Ao longo da minha actividade profissional enquanto docente do grupo de Física e Química tenho leccionado, nos diferentes anos de escolaridade temas relacionados com a poluição atmosférica. A reforma curricular que introduziu a disciplina de Física e Química veio acentuar a minha preocupação e interesse com as questões ambientais.

Nesta perspectiva, tenho desenvolvido, nos últimos anos, actividades que relacionam a Física e /ou a Química com as diferentes actividades do Homem e as suas consequências para o desenvolvimento das sociedades.

A possibilidade de desenvolver um trabalho científico sobre a poluição (neste caso de aerossóis) na região Alentejo onde nasci e sempre vivi é o desenrolar lógico desse meu interesse e preocupação.

## 2- Aerossóis

### 2.1- Origem

Os aerossóis existentes na atmosfera podem ser classificados quanto à sua origem em naturais e antropogénicos.

Os aerossóis naturais como o próprio nome indica são todos aqueles que são produzidos por fenómenos naturais, nomeadamente emissões de vulcões, cinzas originadas por fogos naturais, decomposição de resíduos nos solos, pó originado pelo vento a partir do solo e do deserto, os sais marinhos, pólenes, esporos e bolores.

Os aerossóis antropogénicos resultam da actividade humana na qual se podem salientar o aquecimento doméstico, a indústria transformadora, fogos florestais, construção civil, transportes, queima de biomassa para produção de energia eléctrica, centrais termoeléctricas, incineradoras.

A emissão, dispersão e o transporte da maioria dos aerossóis é condicionada por variáveis meteorológicas, como vento, humidade e temperatura. Assim é de prever que as alterações climáticas, quer as induzidas pelo Homem quer as associadas à variabilidade natural tenham também influência na emissão e dispersão dos aerossóis.

Os aerossóis podem ainda ser classificados, de acordo com o seu processo de formação, em primários e secundários. Os aerossóis primários são os resultantes de actividades naturais e antropogénicas e são emitidos directamente para a atmosfera. Os aerossóis secundários resultam de processos de conversão gás-partícula, resultante de reacções químicas de compostos gasosos (Seinfeld e Pandis, 1998).

A atmosfera, quer sobre uma área urbana ou uma área remota apresenta em muitas ocasiões uma concentração elevada de aerossóis como por exemplo entre  $10^7$  e  $10^8$   $\text{cm}^{-3}$ . O seu diâmetro é muito reduzido e com uma gama que varia entre alguns nanómetros até cerca de 100  $\mu\text{m}$ , e os seus tempos de residência na atmosfera são normalmente muito curtos, relacionados com as suas dimensões. Os aerossóis resultantes da queima de combustíveis nos veículos motorizados, da produção de energia e de incêndios florestais vão desde poucos nanómetros até 1  $\mu\text{m}$ . As poeiras arrastadas pelos ventos, pólenes, fragmentos de plantas e os sais marinhos são geralmente maiores que 1  $\mu\text{m}$ . Os aerossóis produzidos na atmosfera por processos fotoquímicos são no geral muito menores que 1  $\mu\text{m}$ , da ordem de nanómetros. A dimensão dos aerossóis influencia as suas propriedades físicas e químicas (fig. 2.1).

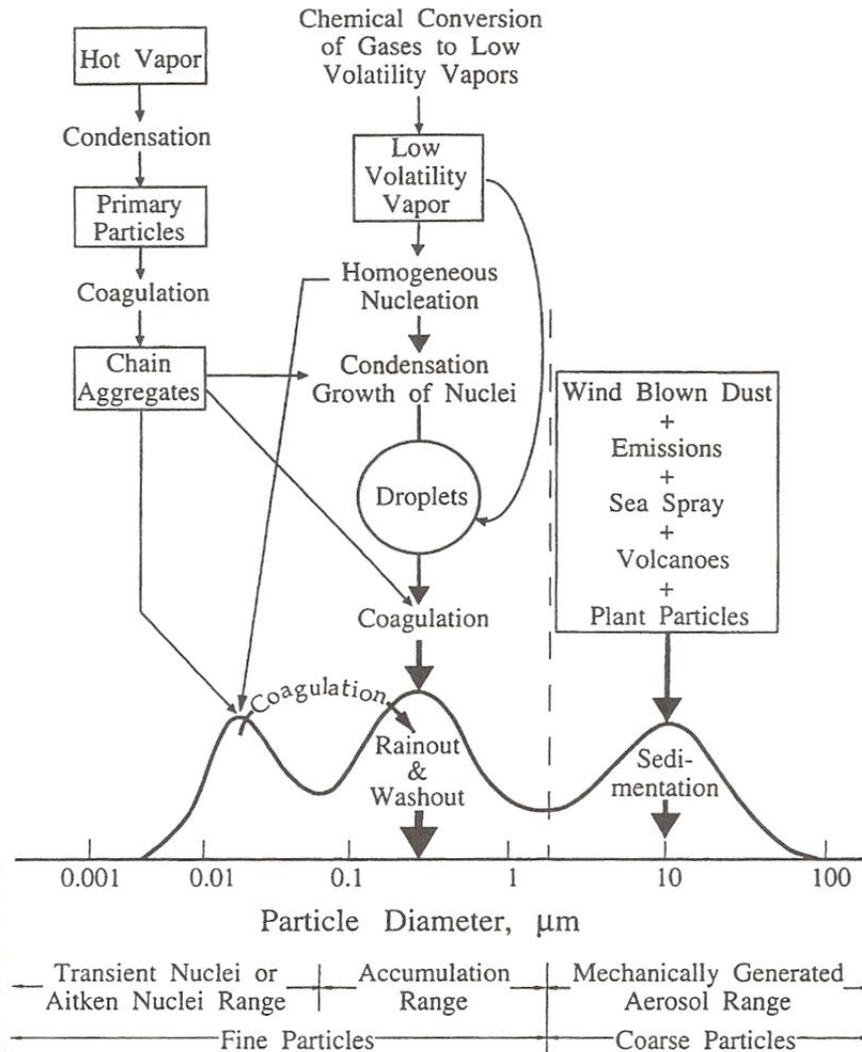


Fig.2.1- Esquema da distribuição de aerossol atmosférico, em função do diâmetro, evidenciando os principais tipos, fontes e mecanismos de formação e remoção (Whitby e Cantrell, 1976)

A fig. 2.1 mostra-nos a distribuição em volume de aerossol atmosférico, apresentada por Whitby (1978), que contemplava três modos distintos: modo de nucleação, modo de acumulação e modo grosseiro. As partículas segundo Whitby, podem ser classificadas em finas e grosseiras de acordo com as dimensões do seu diâmetro. As partículas finas e grosseiras de um modo geral, têm origens e composição química diferentes, bem como processos de transformação e de remoção da atmosfera. As partículas finas podem dividir-se em dois modos: modo de nucleação (nuclei mode) e modo de acumulação (accumulation mode). O modo de nucleação varia entre 0,005 e 0,1 µm, calculado pela preponderância de partículas por número; devido às suas dimensões, as partículas normalmente são consideradas como contribuindo com pouca percentagem para a totalidade da massa de partículas na atmosfera. As partículas no

modo nucleação são formadas por condensação de vapores quentes durante os processos de combustão e através da nucleação de espécies atmosféricas que originam novas partículas. A sua remoção é feita essencialmente por coagulação entre elas e com partículas maiores. O modo de acumulação varia entre 0,1 e 2,5  $\mu\text{m}$ , de diâmetro, consideradas geralmente ser a maioria da área de superfície de aerossol e parte substancial da massa do aerossol. A origem das partículas no modo acumulação é a coagulação de partículas no modo nucleação e por condensação de vapores em partículas já existentes, causando o crescimento das mesmas. Este modo é assim designado porque o mecanismo de remoção de partículas é pouco eficiente, originando partículas que se acumulam nesse lugar.

As partículas designadas grosseiras ou modo grosseiro (coarse mode), apresentam diâmetro superior a 2,5  $\mu\text{m}$ . Estas partículas são formadas por processos mecânicos e como exemplo temos as partículas de pó naturais e as produzidas pelo Homem. As partículas grosseiras têm velocidade de sedimentação suficientemente alta pelo que apresentam um tempo de residência na atmosfera relativamente curto (Seinfeld e Pandis, 1998).

## **2.2- Propriedades físicas e químicas**

Os aerossóis primários são emitidos para a atmosfera através de processos mecânicos (sal marinho, poeiras minerais), de combustão (veículos motorizados, indústrias, incêndios) ou derivados de vapores produzidos no processo de combustão e que têm na sua composição o elemento carbono, compostos orgânicos e inorgânicos e metais. Os aerossóis secundários formam-se através de reacções químicas na atmosfera, na presença de determinadas condições atmosféricas, nomeadamente, radiação solar e humidade relativa. Nestas reacções podem estar envolvidas espécies como o oxigénio molecular, vapor de água, ozono, dióxido de enxofre, radicais hidroxilo e nitrato, óxidos de azoto, dióxido de enxofre e compostos orgânicos voláteis, entre outros. Poderão formar-se sulfatos, nitratos, sais de amónia e compostos orgânicos de carbono ((Seinfeld e Pandis, 1998); (Spengler e Wilson, 1996)).

A dimensão das partículas é um dos principais parâmetros no estudo da poluição atmosférica devido à influência que exerce sobre vários fenómenos associados aos aerossóis tais como transporte e remoção da atmosfera ambiente, interacção com a radiação, além dos efeitos nocivos, cujos principais incluem problemas respiratórios,

redução da visibilidade e deposição sobre superfícies. Assim a dimensão dos aerossóis é o factor determinante para o comportamento de um aerossol. Os aerossóis comportam-se assim, distintamente de acordo com as suas dimensões e são também regidos por diferentes leis (Willeke e Baron, 2001). Por exemplo, o comportamento das partículas de tamanho idêntico ao de uma molécula é determinado pelas leis do movimento Browniano (movimento aleatório das partículas resultante da colisão com moléculas de gás), enquanto as de maiores dimensões, são influenciadas pela força gravitacional que favorece a sua deposição.

O tamanho tão diferenciado dos aerossóis implica uma maior dificuldade na sua caracterização, já que os instrumentos e as técnicas não são passíveis de serem utilizados para todas as dimensões. Caso os aerossóis fossem esferas perfeitas poderíamos caracterizá-los pelo seu raio ou diâmetro. Porém esse não é o caso, já que podem tomar as mais diferentes formas. A forma habitual de abordar a não esfericidade dos aerossóis consiste em recorrer ao conceito de diâmetro equivalente (Pereira, 2006).

Diâmetro equivalente é o diâmetro de uma esfera que tem uma determinada propriedade física do mesmo valor relativamente à partícula em questão. No presente estudo foi considerado o diâmetro equivalente aerodinâmico ou mais simplesmente diâmetro aerodinâmico.

É habitual definir o diâmetro aerodinâmico como sendo o diâmetro duma esfera de massa volúmica igual a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , e com a mesma velocidade no ar que a partícula em causa. O seu valor pode ser calculado através de:

$$D_a = D_g k \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_o}}$$

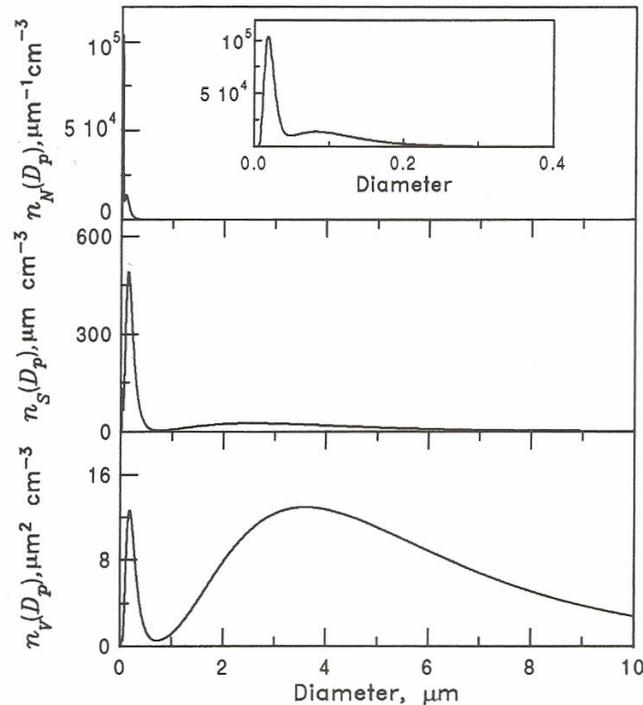
onde  $D_g$  é o diâmetro geométrico da partícula,  $\rho_p$  é a massa volúmica da partícula,  $\rho_o$  é a massa volúmica de referência ( $1 \text{ g cm}^{-3}$ ) e  $k$  é um factor de forma, que é 1 para o caso da esfera.

O conceito de diâmetro aerodinâmico torna-se útil em movimentos acelerados como caudais com curvaturas ou variações na sua secção como é o caso da instrumentação utilizada para recolha do material particulado, como é o caso da  $PM_{10}$ .

Atendendo a que as partículas existentes na atmosfera não apresentam todas as mesmas dimensões, o modo mais eficaz de fazer a representação de uma dada

população de partículas consiste em utilizar uma função de distribuição de dimensões. Esta função pode ser referente a número, superfície, volume, massa ou qualquer outra propriedade que seja dependente das dimensões das partículas. Junge (1963) utilizou uma simples lei de potência para representação da função de distribuição em número (distribuição de Junge) (Willeke e Baron, 2001; Pereira, 2006). Só mais tarde, em 1978, Whitby apresentou uma distribuição em volume onde considerou três modos distintos: modo de nucleação, modo de acumulação e modo grosseiro, como já anteriormente referido.

A distribuição em número de partículas,  $n_N(D_p)$ , representa a probabilidade de uma dada amostra aleatória de partículas ter um diâmetro que varie entre  $D_p$  e  $(D_p + d D_p)$ , sendo  $D_p$  o diâmetro físico ou de Stokes. A maioria das partículas existentes na atmosfera tem diâmetro inferior a  $1,0 \mu\text{m}$ , pelo que a função distribuição em número apresenta um pico próximo da origem (fig. 2.2). A distribuição de aerossóis por superfície,  $n_s(D_p)$  e por volume,  $n_v(D_p)$ , são consideradas a superfície total e o volume total dessas mesmas partículas e correspondem à área abaixo das respectivas curvas (fig.2.2). A maior área de superfície dos aerossóis é constituída por partículas que têm um diâmetro inferior a  $1 \mu\text{m}$  e por esse motivo apresenta um pico próximo da origem, tal como acontecia com a distribuição em número. O maior volume das partículas é representado pelas partículas que apresentam raio superior a  $2 \mu\text{m}$ , pelo que o pico é próximo dos  $4 \mu\text{m}$  (de Freitas, 2006).



**Fig.2.2-** Distribuição contínua dos aerossóis atmosféricos em número, superfície e volume em função do tamanho das partículas. A distribuição em número das partículas de diâmetro entre 0 e 0,5  $\mu\text{m}$  encontra-se destacada no interior da figura. Fonte: Seinfeld e Pandis, 1998

Os principais tipos de aerossol atmosférico são o aerossol continental, o marinho o rural e o urbano. O aerossol urbano é sem dúvida, o que apresenta maior número de partículas por unidade de volume de atmosfera, o que está concordante com o facto de a maioria das partículas possuir diâmetro inferior a 0,1  $\mu\text{m}$  (modo fino). A concentração deste tipo de aerossol é elevada junto das fontes mas que diminui à medida que a distância aumenta. O aerossol marinho, é o que apresenta menor número de partículas por unidade de volume, sendo aquele que na sua composição tem maiores dimensões, (modo grosseiro). As partículas no modo grosseiro representam apenas 5% do número total, no entanto a sua massa corresponde a 95% da massa total de aerossol marinho. (Blanchard e Woodcock, 1957; Monahan et al., 1983). O aerossol rural sendo constituído essencialmente por aerossol de origem natural, tem uma representação moderada de origem antropogénica (Hoobs et al, 1985). Assim, a distribuição em número do aerossol rural é caracterizada por dois modos de diâmetros, 0,02 e 0,08  $\mu\text{m}$  (Jaenicke, 1993) e a sua distribuição em massa é dominada pelo modo grosseiro, com diâmetro próximos de 7  $\mu\text{m}$ . Quando o aerossol rural não sofre a influência de fontes locais, a sua distribuição em massa apresenta os modos de acumulação e nucleação reduzidos (Seinfeld e Pandis, 1998). O aerossol continental remoto é constituído

essencialmente por partículas primárias (poeiras, pólenes e fragmentos de plantas) e por partículas secundárias resultantes de reacções de oxidação (Deepack and Gali, 1991). O número de partículas por cada centímetro cúbico, pode variar entre 50 e 10 000 (Tabela 2.1). As partículas com diâmetro inferior a 2,5 µm representam entre 40 a 80% da massa de PM<sub>10</sub> e são essencialmente ião sulfato, amónio e compostos orgânicos, o que está concordante com o facto de a maioria das partículas possuir diâmetro inferior a 0,1 µm (modo fino). A concentração média de aerossóis e a concentração mássica de PM<sub>10</sub> dos principais tipos de aerossol encontram-se resumidos na tabela 2.1.

**Tabela 2.1-** Concentração média e concentração mássica de PM<sub>10</sub> dos principais tipos de aerossol atmosférico

<b>Tipo de aerossol</b>	<b>N (cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>PM<sub>10</sub> (µg m<sup>-3</sup>)</b>
Urbano (poluído)	10 <sup>5</sup> – 4 × 10 <sup>6</sup>	100 – 300
Marinho	100 – 400	10
Rural	2000 - 10 000	10 – 40
Continental remoto	50 – 10 000	2 - 10

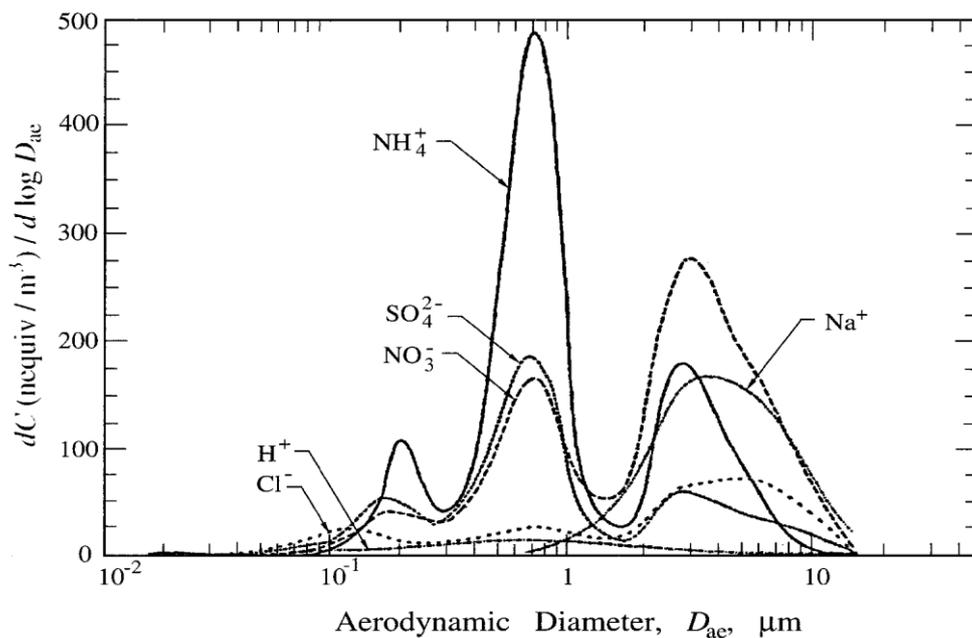
Adaptado de Seinfeld e Pandis, 1998

Além dos quatro tipos principais de aerossol merece ainda destaque o aerossol do deserto. O padrão de distribuição em tamanho do aerossol do deserto é idêntico ao do aerossol continental remoto, no entanto depende largamente da velocidade do vento. A distribuição em número tende a apresentar três picos para os diâmetros: menor que 0,01 µm, 0,05 µm e 10 µm, respectivamente (Jaenicke, 1993). A composição do aerossol do deserto é análoga à do material crustal, com excepção dos elementos solúveis, nomeadamente o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), cuja concentração no solo é relativamente baixa. Enquanto as partículas com diâmetro superior a 100 µm apenas podem ser encontradas junto das fontes, as de diâmetro inferior a 10 µm podem ser transportadas para longas distâncias, particularmente quando o transporte é feito a altitudes relativamente elevadas na troposfera. As tempestades de areia, provenientes do deserto do Sahara tem-nos provado a existência de transporte de material da costa noroeste de África para a costa Este dos Estados Unidos, através do Atlântico (Ott et al, 1991). A significativa redução de visibilidade durante os meses do Verão, em Miami, segundo Prospero et al., (1987) é causada pelas poeiras do Sahara que são transportadas até aquela zona. As poeiras provenientes dos desertos da Ásia são também transportadas para lugares distantes, podendo mesmo atravessar o oceano Pacífico (Prospero et al., 1995). A descoberta da névoa do Ártico colocou um fim à concepção de que a poluição

por aerossóis apenas poderia ser local ou regional. O ar frio e seco das regiões polares possibilita a permanência das partículas suspensas no ar durante semanas e não apenas alguns dias, facilitando a dispersão dos poluentes de enxofre a partir de fontes industriais da Europa e da Ásia por todo o Ártico e na América do Norte (AMAP, 1997). As partículas da névoa podem assim facilitar o transporte de metais e outros poluentes para a região polar e dentro dela, como também podem resultar no depósito desses poluentes por meio de precipitações sobre as principais áreas oceânicas em torno do Ártico (AMAP, 1997).

As partículas de aerossol atmosférico têm na sua composição material orgânico, espécies crustais, sal marinho, água e iões: sulfato, nitrato, amónia e hidrogénio.

Uma distribuição da composição/dimensões típica de aerossol urbano pode ser observada na fig. 2.3 (Wall et al., 1988).



**Fig. 2.3-** Distribuição em tamanho do aerossol dos iões cloreto, hidrogénio, nitrato, sulfato, amónio e sódio em Claremont, CA (Wall et al., 1988). Fonte: Seinfeld e Pandis, 1998

Os iões nitrato, sulfato e amónio apresentam dois modos entre 0,1 e 1,0  $\mu\text{m}$  (modos condensação e nevoeiro) e o terceiro para diâmetros aerodinâmicos superiores a 1  $\mu\text{m}$ . O modo condensação apresenta um pico próximo de 0,2  $\mu\text{m}$  e isso resulta da condensação da fase gasosa do aerossol secundário. O modo nevoeiro apresenta o pico para um diâmetro aerodinâmico de 0,7  $\mu\text{m}$  e devido à heterogeneidade das reacções em fase aquosa. A maioria do ião nitrato encontra-se no modo grosseiro assim como a maioria do ião cloreto e o ião sódio. As partículas grosseiras de nitrato resultam de reacções entre o ácido nítrico e o cloreto de sódio ou material crustal. É um exemplo

bastante interessante, onde um aerossol secundário (nitrato) é formado através de uma reacção entre um aerossol natural (sal marinho ou pó) com um poluente antropogénico (ácido nítrico) (Seinfeld e Pandis, 1998).

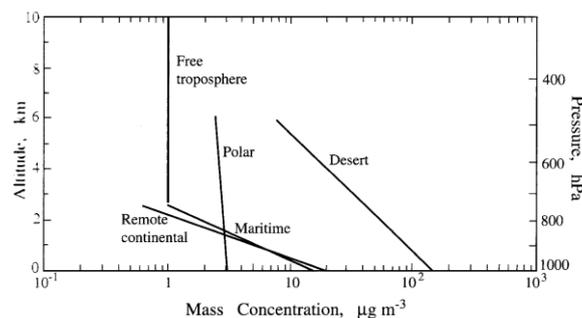
A solubilidade das partículas de aerossol também está dependente do tamanho. Enquanto as partículas finas são muito solúveis, as designadas “partículas grosseiras” são muito insolúveis. Uma outra propriedade influenciada pelo tamanho das partículas é o seu tempo de residência na atmosfera. A permanência das partículas na atmosfera é um processo dinâmico, em que simultaneamente ocorrem os processos de introdução, transformação e remoção de partículas de modo contínuo (Pereira, 2006). Assim, a concentração de aerossóis num determinado local, num certo instante estará sempre dependente do balanço entre os processos de introdução, transporte e remoção. Estes processos dependem de factores climáticos e geográficos e por conseguinte há grande variabilidade espaço-temporal de aerossóis (Pereira, 2006). As partículas de maiores dimensões como apresentam, em geral também maior massa tendem a depositar-se mais facilmente, pelo que possuem um tempo de residência que varia entre alguns minutos e alguns dias. As partículas ditas finas, de menores dimensões e consequentemente de menor massa, permanecem na atmosfera durante mais tempo, podendo variar entre alguns dias e algumas semanas. A sua deposição pode ser efectuada por via seca (transportada pelo vento) ou por via húmida através de nevoeiros, chuvas e neve. A tabela 2.2 apresenta uma comparação muito sumária entre o modo fino e modo grosseiro das partículas.

**Tabela 2.2** - Breve Comparação entre partículas finas e partículas grosseiras

	<b>Partículas finas</b>	<b>Partículas grosseiras</b>
<b>Fontes</b>	Conversão gás-partícula de óxidos de azoto (NO <sub>x</sub> ), trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> ) e compostos orgânicos voláteis (COV) Combustão (carvão, petróleo, gasolina, gasóleo, madeira) Atividades industriais (fundições)	Actividade vulcânica Resuspensão do pó Suspensão do solo (agricultura, pavimentação de estradas) Incêndios florestais Fontes biológicas Spray marinho Construção
<b>Processos de Formação</b>	Reacções químicas Nucleação Condensação Coagulação Formação de nuvens e nevoeiro	Separação mecânica Suspensão de poeiras
<b>Composição</b>	Ião Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Ião nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) Ião amónio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) Ião hidrogénio (H <sup>+</sup> ) Carbono elementar Compostos orgânicos Água Metais (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe)	Pó ressuspensão Carvão, cinzas Óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe) Ca CO <sub>3</sub> , Na Cl Pólenes, esporos, bactérias, microrganismos Resíduos resultantes do desgaste dos pneus
<b>Solubilidade</b>	Muito solúvel	Insolúvel
<b>Permanência na atmosfera</b>	Dias a semanas	Minutos a dias

Adaptado de Seinfeld e Pandis, 1998

A distribuição vertical típica da concentração mássica de aerossol apresenta um decréscimo exponencial até uma determinada altitude e a partir daí o perfil vertical passa a ser constante (fig. 2.4).



**Fig. 2.4** - Distribuição vertical representativa da concentração mássica de aerossol (Jaenicke, 1993)

Como se pode constatar, é o aerossol do deserto que apresenta uma maior concentração mássica, à superfície, no entanto sofre diminuição com o aumento da altitude e a diminuição da pressão. O aerossol que apresenta uma concentração constante é o aerossol polar e a sua concentração mássica nas regiões polares é inferior a  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  e cerca de 40% da sua massa deve-se à presença do ião sulfato. Refira-se que este tipo de aerossol tem na sua composição material carbonatado proveniente de fontes de poluição de latitudes médias, ião sulfato, sal marinho do oceano circundante e pó mineral proveniente das regiões áridas dos correspondentes hemisférios.

Os fogos florestais como qualquer processo de combustão originam dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azoto, metano e outros hidrocarbonetos, assim como material particulado orgânico e elementar. A quantidade e o tipo de emissões dependem do tipo de vegetação e das condições meteorológicas, designadamente da temperatura e humidade relativa, e da intensidade do vento.

O aumento da concentração de aerossóis provenientes de fogos florestais diminui significativamente a visibilidade atmosférica. A ocorrência de fogos florestais e a consequente produção de aerossóis de carbono é predominante característica do Verão, e por vezes do início do Outono (caso permaneçam as temperaturas elevadas e ausência de precipitação). No Verão, devido à direcção do vento no Verão ser maioritariamente Norte ou Nordeste, a região Sul de Portugal acaba por ser afectada por aerossóis resultantes de incêndios que ocorrem no norte e centro de Portugal, ou mesmo que ocorrem em outros países como, por exemplo, Espanha.

### **2.3- Instrumentos utilizados na medição da concentração mássica**

O instrumento utilizado na medição da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  nas estações de Terena, Monte Velho e Quebedo é o Monitor Beta.

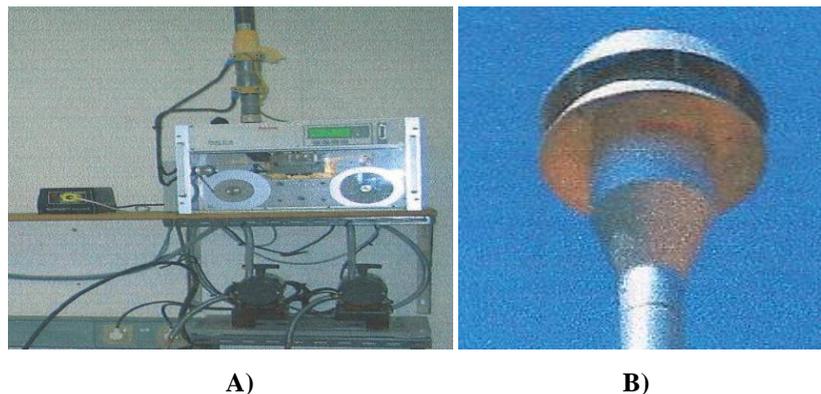
Já em Évora a medição da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  é feita com um instrumento designado por TEOM que é um monitor de microbalança oscilante.

O Monitor Beta, como o nome sugere, tem na base do seu funcionamento a emissão de partículas beta. As partículas beta, são emitidas quando ocorrem algumas reacções nucleares. Nesta situação as partículas beta são emitidas de uma fonte radioactiva como o  $^{14}\text{C}$  ou  $^{64}\text{Ni}$  e são transmitidas através de um filtro contendo aerossóis que vão sendo depositados. A intensidade das radiações que atravessam o

filtro é medida utilizando um contador de partículas beta (contador Geiger) (fig.2.4 A)). Com o aumento de aerossóis acumulados no filtro, a espessura deste aumenta e consequentemente a intensidade medida de partículas beta diminui de acordo com a Lei de Beer (Seinfeld e Pandis, 1998).

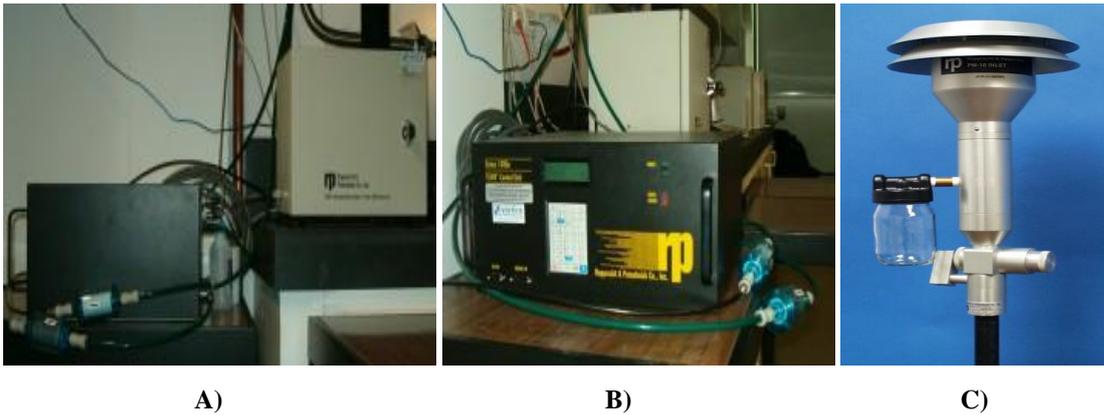
O ar amostrado é aquecido a uma temperatura 8 °C acima da temperatura ambiente de forma a garantir que a humidade relativa seja inferior a 60% na câmara de medida. O controlo da humidade é fundamental, no entanto o aquecimento da amostra pode conduzir a perdas dos compostos mais voláteis associados aos aerossóis depositados no filtro.

No caso das estações de Terena, Monte Velho e Quebedo a fonte radioactiva do Monitor Beta é o  $^{14}\text{C}$  e a cabeça de amostragem acoplada ao Monitor Beta é uma  $\text{PM}_{10}$  (fig.2.4 B)) cuja morfologia permite apenas a entrada de partículas de diâmetro aerodinâmico inferior a 10  $\mu\text{m}$ .



**Fig. 2.4** A) Analisador automatico Thermo, modelo FH 62 C14, usado da Estação da Qualidade do Ar de Monte – Velho, B) Cabeça a de amostragem de  $\text{PM}_{10}$  dos analisadores Thermo. Adaptado de: Intercomparação de  $\text{PM}_{10}$  - Monte Velho 2006; Agência portuguesa do Ambiente Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Em Évora a concentração mássica é obtida com o TEOM, que permite a sua medição em tempo real. O TEOM possui quatro componentes fundamentais: a unidade de detecção, a unidade de controle, a cabeça de amostragem (fig 2.5) e uma bomba de vácuo (Pereira, 2006).



**Fig. 2.5** A) Unidade de detecção do TEOM; B) Unidade de controle do TEOM ; C) e de (esquerda). Cabeça de amostragem PM<sub>10</sub> do TEOM

Fonte: <http://www.cge.uevora.pt/pt/laboratobservat-mainmenu-101/fca-da-atmosfera-mainmenu-102>

Da unidade de detecção fazem parte o transdutor de massa que permite obter a massa dos aerossóis. O transdutor de massa é um tubo oco e estreito que se encontra fixo numa extremidade e na outra encontra-se o filtro. Quando em funcionamento, o ar flui através do sistema tubo + filtro, fazendo-o vibrar à sua frequência natural. A frequência de ressonância diminui à medida que a massa de aerossóis depositada no filtro aumenta. A frequência é obtida por um sistema optoelectrónico e convertido em massa. O sistema tubo + filtro tem o comportamento de um oscilador harmónico simples, cuja frequência pode ser calculada através da expressão

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.1)$$

$f$  é a frequência natural da oscilação,  $k$  é a constante de elasticidade da mola e  $m$  é a massa do sistema. A massa do sistema,  $m$ , obtem-se somando a massa do tubo,  $m_0$ , com a massa do filtro,  $m_F$  e a massa de aerossóis depositados no filtro,  $\Delta m$ , isto é

$$m = m_0 + m_F + \Delta m \quad (2.2)$$

O instrumento mede a massa dos aerossóis acumulados no filtro, calcula a taxa de incremento de massa e por fim a concentração mássica. A concentração mássica é calculada dividindo a massa de aerossóis depositados no filtro durante um determinado intervalo de tempo pelo volume total de ar que atravessou o filtro no mesmo intervalo de tempo (Pereira, 2006).

A cabeça de amostragem utilizada em Évora acoplada ao monitor TEOM é também uma PM<sub>10</sub> (fig. 2.5).

O ar amostrado e o transdutor de massa são aquecidos e encontram-se a uma temperatura de 50 °C. À temperatura de 50 °C a humidade relativa é baixa contribuindo para a eliminação da água nas partículas e o não aumento da massa dos aerossóis por

adsorção de água (Pereira, 2006). Porém, o aquecimento a 50 °C favorece a eliminação de materiais voláteis que entram na composição dos aerossóis, nomeadamente nitratos e compostos orgânicos (Brink, 2004; Charron et al., 2004).

Como as técnicas utilizadas na medição da concentração mássica são distintas nas 4 estações de estudo, os dados foram devidamente calibrados e harmonizados de modo a poderem ser comparáveis (Matos, 2007), (Pereira, 2006).

Além dos métodos acima referidos para medir a concentração mássica de PM<sub>10</sub> existe ainda outros métodos como é o caso do método utilizado pela microbalança piezoléctrica.

## **2.4- Impactes dos aerossóis**

Os aerossóis e as alterações climáticas, estão directamente relacionadas (Dentener et al., 2006).

Os aerossóis interagem com o ciclo hidrológico atmosférico e estão directamente e indirectamente relacionados com a radiação na atmosfera (IPCC, 2001).

A interacção dos aerossóis com a radiação solar é efectuada através de mecanismos de dispersão e absorção. O fenómeno da dispersão contribui para que apenas parte da radiação solar atinja a superfície, provocando um arrefecimento próximo da superfície enquanto a absorção de radiação solar pelos aerossóis contribui para o aumento da temperatura da atmosfera localmente, alterando a dinâmica da atmosfera e das nuvens (Pereira, 2006). A dispersão e a absorção de radiação, pelos aerossóis, exercem um forçamento radiativo (RF) directo (Albrecht, 1989).

Os aerossóis podem interagir com as nuvens e a precipitação de muitas maneiras, agindo como núcleos de condensação de nuvens (CCN) ou núcleos de gelo (IN), ou como partículas de absorção, redistribuindo a energia solar como energia térmica dentro de camadas de nuvens (IPCC, 2001). Este efeito exerce um forçamento radiativo (RF) indirecto. Quando os aerossóis actuam como núcleos de condensação de nuvens (CCN) e núcleos de gelo (IN), o vapor de água é adsorvido e muda de fase, sofrendo nucleação até que as gotas de água em crescimento aumentem o seu "peso" e precipitem. O aumento de aerossóis induz um aumento de concentração de gotas de água nas nuvens, a diminuição do raio médio das gotas e um aumento do albedo das nuvens. A diminuição do raio médio das gotas vai implicar uma diminuição de precipitação, aumentando assim o conteúdo da água líquida e o tempo de vida das

nuvens e contribuindo para o aumento do seu albedo (Twomey, 1974; Rosenfeld, 1999, 2000; Ackerman et al., 2000).

A presença de aerossóis na atmosfera devido ao facto de difundirem e absorverem a radiação solar contribui para a redução da visibilidade atmosférica (Husar et al., 2000).

A acção dos aerossóis sobre os materiais pode manifestar-se através da deposição sobre as suas superfícies, (com alteração do seu aspecto exterior) ou de reacções químicas (com a sua deterioração). Por exemplo, a floresta da Amazónia está dependente da deposição de poeira saariana, que fornece fósforo, necessário para a manutenção da sua produtividade a longo prazo (Okin et al., 2004) tal como as ilhas havaianas dependem igualmente de fósforo que é fornecido na poeira asiática (Chadwick et al., 1999). A poeira mineral pode ainda actuar como um sumidouro de gases ácidos, como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e, assim, interagir com o enxofre e o ciclo do azoto (N) (Dentener et al., 1996; Umann et al., 2005). Além disso, a deposição de poeira mineral é fundamental para o ciclo biogeoquímico dos oceanos, com o fornecimento de ferro (Jickells et al. 2005).

As partículas de sal marinho (principal aerossol da atmosfera marinha) condicionam a formação de nuvens e da chuva. Este aerossol funciona como sumidouro de gases e pequenas partículas reactivos e impede a formação de novas partículas. O aerossol marinho é ainda responsável por uma elevada percentagem da formação de sais de sulfato não marinhos (Sievering et al., 1992).

Os aerossóis desempenham um papel fundamental a nível da qualidade do Ar, visto tratar-se de um dos componentes da poluição atmosférica.

A qualidade do ar é a designação utilizada para representar o grau de poluição no ar que respiramos. A poluição do ar é causada por materiais e/ou substâncias, como é o caso dos aerossóis, que são injectados na atmosfera, alterando a sua composição natural. O impacto dos aerossóis na qualidade do ar depende da sua composição química, da concentração mássica e das condições meteorológicas. A existência de chuva e de ventos fortes favorece a dispersão de poluentes enquanto a presença de luz solar contribui para o aumento da sua concentração. Refira-se que a luz solar é também um dos factores que favorece a formação de aerossóis secundários como mencionado anteriormente.

Desde há muito que se tem assistido a fenómenos que têm afectado a saúde pública e posteriormente se tem comprovado serem causados por material particulado.

O episódio de nevoeiro no vale de Meuse (entre as cidades de Huy e Liège) entre 1 e 5 Dezembro de 1930 foi a primeira prova científica de que a poluição atmosférica poderá causar doenças e mesmo mortes e identificadas claramente as causas mais prováveis. Durante o episódio de nevoeiro, várias pessoas apresentaram sintomas de dificuldades respiratórias e o número de mortes aumentou. Foi indicado como agente principal o dióxido de enxofre, que associado ao nevoeiro conduziu à produção de ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , que por seu turno pode ser catalisada na presença de partículas de ferro e de zinco. Um outro agente indicado como responsável foi as partículas de fuligem que são irritantes por adsorção. Também é célebre o episódio de poluição em Londres, em Dezembro de 1952, entre 5 e 9, e do qual resultaram milhares de mortes e cerca de 100 000 doentes.

No final do séc. XX, mais precisamente na última década, estudos epidemiológicos efectuados concluíram haver uma estreita relação entre as concentrações mássicas de  $PM_{10}$  no ar ambiente e o número de hospitalizações e mesmo mortes causadas por doenças respiratórias e cardiovasculares (Dockery et al., 1993, Pope et al., 1995; Dockery e Pope, 1996).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2003), as partículas atmosféricas são responsáveis por efeitos na saúde humana, os quais foram evidenciados em estudos epidemiológicos, e onde foram relacionadas as concentrações atmosféricas de partículas com a mortalidade e a morbilidade. Os efeitos adversos das partículas em suspensão sobre a saúde humana têm sido verificados em casos de exposição prolongada mas também em exposição de curta duração (WHO, 2002).

Como já anteriormente referido, os efeitos dos aerossóis, incluindo os problemas respiratórios dependem do tamanho das suas partículas.

De acordo com a ISO (International Standard Organization) [de Freitas, 2006], as partículas dividem-se em:

- Fracção inalável, considerada como a fracção em massa, de entre as partículas que constituem o ar, as que podem ser inaladas através do nariz ou da boca;
- Fracção torácica, a fracção em massa das partículas inaláveis que penetram no sistema respiratório, através da laringe, podendo atingir aos pulmões. Correspondem às designadas  $PM_{10}$ . O seu diâmetro aerodinâmico médio é inferior a  $10 \mu m$ .

- Fracção respirável, a fracção em massa das partículas inaladas que podem atingir a região alveolar. Estas partículas são designadas  $PM_{2,5}$  por possuírem um diâmetro aerodinâmico inferior a  $2,5 \mu m$ .

Foi apenas na última década do século passado que surgiu uma concepção ambiental global, com a participação de grupos de ambientalistas, governantes e população em geral a tomarem consciência sobre a necessidade de se tomarem medidas de modo a preservar o ambiente, como a diminuição da produção de resíduos e o uso racional de recursos (Miranda et al., 2001). Esta tomada de consciência estava relacionada essencialmente com a saúde pública e o ambiente (Schawartz et al., 1996; Dockerie e Pope, 1996). Nos anos seguintes verificou-se um aumento do número de estudos que demonstraram e identificaram os níveis e as fontes de partículas em todas as regiões da Europa (Marcazzan et al., 2003; Querol et al., 2004 b; Artiñano et al., 2004; Putaud et al., 2004; Rodriguez et al., 2004; Almeida, 2005).

As estações para medição da Qualidade do Ar de várias zonas da Europa, localizadas em meios rurais (Estações Rurais de Fundo), distantes das fontes antropogénicas, apresentam geralmente níveis baixos de  $PM_{10}$  (Lenschow et al., 2001; Lazridis et al., 2002; Rodriguez et al., 2002; Viana et al., 2002; Geherig and Buchmann., 2003; Putaud et al., 2004; Querol et al., 2004, EMEP, 2005).

No entanto têm sido registadas excedências ao VLD de  $PM_{10}$ , nas estações rurais de fundo, sobretudo no sul da Europa, como é o caso de Portugal, devido à influência das tempestades de areia provenientes dos desertos do Norte de África (Rodriguez et al., 2001, 2002; Viana et al., 2002, 2003; Querol et al., 2004; Escudero et al., 2005, 2007).

Assim é pretensão deste trabalho, entre outras, estudar a evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  nas quatro estações aqui tratadas (localizadas na região Sul de Portugal) e verificar se foram registadas excedências ao VLD de  $PM_{10}$  de  $50 \mu g m^{-3}$  (valor que não pode ser excedido mais do que 35 dias por ano civil).

Assim foi incluído neste trabalho o estudo da evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  nas quatro estações aqui tratadas (localizadas na região Sul de Portugal) e a contabilização das excedências ao VLD de  $PM_{10}$  de  $50 \mu g m^{-3}$  (valor que não pode ser excedido mais do que 35 dias por ano civil). Foi também identificado a existência de excedências ao VLA de  $PM_{10}$  de  $40 \mu g m^{-3}$ .

## 3-Dados e metodologia

### 3.1- Caracterização da área de estudo

O território de Portugal Continental, localiza-se no extremo sudoeste da Europa, entre 37° N e 42° N de latitude e entre 6° e 10° W de longitude. Dada a sua localização geográfica ocupa uma zona caracterizada como zona de climas temperados do Hemisfério Norte. O clima em Portugal é condicionado essencialmente pelos seguintes factores: latitude, o Oceano Atlântico e a orografia (Miranda et al, 2006).

A normal climatológica 1961/90 permite identificar a existência de um forte ciclo anual na direcção do vento, com intensificação da frequência de ocorrência de vento do quadrante NW durante o verão. Os ventos neste quadrante estão normalmente associados à circulação de depressões de origem térmica que caracteriza o estado do tempo na Península Ibérica durante o verão e que integram massas de ar muito seco de origem continental (Salgado, 1996).

Os ventos com origem no Atlântico e com a direcção oeste e noroeste apresentam de certo modo frequências relativas constantes durante quase todo o ano devido à influência do sistema de altas pressões, o anticiclone dos Açores e do sistema de baixas pressões da Islândia, no Atlântico Norte (Pio et al., 1996); durante quase todo o ano, no entanto durante os meses de Verão a direcção Sudoeste praticamente não se verifica. Os ventos menos frequentes durante a maior parte do ano são os de direcção Este, Sudeste e Sul.

Os níveis de poluição não se devem apenas a poluição local mas também a emissões antropogénicas e às componentes latitudinal e longitudinal de transporte de massas de ar com concentrações de material particulado de origem natural, provenientes de outras regiões fora da Europa, como o transporte de poeiras do Norte de África, advecção do Atlântico, Mediterrâneo, Europa, regional ou anticiclónica (Prospero et al., 2002; Escudero et al., 2007; Salvador et al., 2008).

Face à posição geográfica de Portugal é significativo o efeito do Oceano Atlântico nas massas de ar. Nas estações costeiras o spray marinho é mais elevado do que nas regiões continentais da Europa, devido à proximidade do mar (Putaud et al., 2004). Porém, a elevada concentração de minerais transportados pela circulação vinda do SW do Atlântico deve-se ao transporte do Sahara e do centro da Península Ibérica (Rodriguez et al., 2001; Almeida, 2004).

As zonas costeiras de Portugal sofrem bastante influência de aerossol marinho, devido à sua posição geográfica, no extremo sudoeste da Europa e ao regime de ventos dominantes de oeste, influenciado pelo sistema de altas pressões, o anticiclone dos Açores e o sistema de baixas pressões da Islândia, no Atlântico Norte (Pio et al., 1996). A utilização do solo e a sua topografia exercem também influência nas circulações sinópticas, através de circulações de mesoscala, com é exemplo as brisas, as ilhas de calor e os ventos anabáticos e catabáticos (Stull, 1991; Neto, 2005). Segundo Coutinho (1995) os fenómenos orográficos das Serras de Montejunto e Arrábida são um obstáculo à progressão da brisa assim como é efectuada no Norte do país. Porém não são só estes os motivos da progressão das brisas de forma diferenciada no Norte, no Centro e no Sul do País. O Norte do País apresenta cadeias montanhosas praticamente paralelas à costa, que se estendem até à zona de Coimbra, induzindo ventos anabáticos e catabáticos com orientação semelhante à das brisas de terra e mar. Em oposição, a região do Alentejo, incluindo a costa, apresenta-se com zonas de orografia suave. Segundo Carvalho et al. (2002), a topografia complexa junto à costa Norte de Portugal, é mais eficiente na intensificação de fenómenos verticais, face ao gradiente térmico induzido apenas pela diferença das características físicas entre as superfícies da terra e do mar, e por isso a topografia é indicada como sendo a responsável pelo envio de poluentes para as zonas mais altas da troposfera, nessa região.

De acordo com Prior et al. (2007), para o mesmo tipo de circulação, a espessura da atmosfera em que se faz sentir a brisa do mar é menor e menos extensa em terra, na zona costeira ocidental Sul de Portugal Continental, consequência das temperaturas mais elevadas da água do mar.

A poluição atmosférica originada pelos aerossóis é influenciada por circulações locais e de mesoscala, assim como pela escala global. Gonzalez (2002) concluiu que a região do Mediterrâneo Ocidental é afectada em cerca de 10 eventos por ano de partículas do norte de África, com uma duração média de três dias. Este tipo de eventos também foi referenciado em Portugal, em vários estudos (Reis in Tente 2005; Fialho in Tente 2005 e Almeida, 2004).

Carvalho e Lopes (2000?) no estudo: “Duas décadas de observações da concentração de partículas inaláveis à superfície em Portugal” concluíram que os valores mais elevados de partículas inaláveis registados em Portugal, nos meses do verão, se deveram à influência de massas de ar de origem tropical continental, com circulações de N, NE, E, SE que transportam ar proveniente de regiões onde se situam

as fontes daquelas partículas (Europa Central, Europa do Norte, Norte de África). Por outro lado, os baixos valores das partículas inaláveis, registadas no Inverno são o resultado da influência de massas de ar marítimo especialmente polar, de circulações NW, W, SW, S que transportam “ar limpo” vindo do oceano Atlântico e à precipitação bastante frequente que “limpa” a atmosfera.

À semelhança do que acontece com toda a zona mediterrânica, a região do Alentejo é influenciada periodicamente por poeiras minerais provenientes do Norte de África. Verifica-se ainda, na região Alentejo, a ocorrência de episódios de transporte de poluição do centro e norte da Europa, (Pereira, 2006). Durante o Verão a região é também afectada por aerossóis resultantes de incêndios florestais que ocorrem, na sua maioria, no norte e centro do País, e que são transportados até ao Sul nas massas de ar com direcção Norte ou Nordeste (muito frequentes nesta época do ano).

Para a realização do presente estudo foram escolhidas três estações de Medição da qualidade do Ar, a estação de Terena e de Monte Velho, ambas localizadas no Alentejo, e a estação de Quebedo, na cidade de Setúbal, que fazem parte integrante da rede regulamentar da Qualidade do Ar, da Agência Portuguesa do Ambiente e a estação de Évora que pertence ao Centro de Geofísica da Universidade de Évora.

Os critérios utilizados para a escolha das estações foram:

- a sua localização geográfica, nomeadamente situarem-se no Alentejo ou nas suas proximidades.
- os registos efectuados da medição da concentração mássica de  $PM_{10}$  serem horários;
- dispormos de pelo menos duas estações com características idênticas, quer quanto ao tipo de ambiente quer quanto ao tipo de influência, ou seja, duas estações são urbanas e com o mesmo tipo de influência (tráfego) e outras são rurais e com o mesmo tipo de influência (fundo) conforme a tabela 3.1;
- dispormos de pelo menos dois pares de estações com características geográficas e climatológicas idênticas, em que um par de estações (urbana/rural) se localiza junto à costa Atlântica (clima marítimo) e outro par, também com uma estação urbana e outra rural, no interior do País (clima continental).

**Tabela 3.1-** Características das estações

<b>Estação</b>	<b>Tipo de Ambiente</b>	<b>Tipo de Influência</b>
<b>Évora</b>	Urbano	Tráfego
<b>Monte Velho</b>	Rural Regional	Fundo
<b>Quebedo</b>	Urbano	Tráfego
<b>Terena</b>	Rural	Fundo

Como se pode constatar, analisando a tabela 3.2, as estações de Évora e de Terena estão inseridas em zonas do interior de Portugal, (Terena ainda localizada mais no interior), enquanto as estações de Monte Velho e Quebedo estão localizadas junto à costa (Monte Velho mais próximo da costa que Quebedo).

Como se disse anteriormente, o período de estudo não foi igual para todas as estações uma vez que só foi possível ter acesso aos dados da concentração mássica de PM<sub>10</sub> na estação de Évora a partir de Janeiro de 2006 (Tabela 3.2).

**Tabela 3.2-** Localização e período de estudo de cada uma das estações (2005-2009)

CCDR	Zona	Concelho	Estação	Coordenadas			Período de estudo	
				Latitude	Longitude	Altitude	PM <sub>10</sub>	
				(°)	(°)	(m)	Início	Fim
<b>Alentejo</b>	Alentejo Interior	Évora	<b>Évora</b>	38°34'	7°54'	≈300	19-01-2006	31-12-2009
<b>Alentejo</b>	Alentejo Litoral	Santiago de Cacém	<b>Monte Velho</b>	38°04'37"	008°47'55"	53	01-01-2005	31-12-2009
<b>Lisboa e Vale do Tejo</b>	Península de Setúbal	Setúbal	<b>Quebedo</b>	38°31'31''	008°53'11''	16	01-01-2005	31-12-2009
<b>Alentejo</b>	Alentejo Interior	Alandroal	<b>Terena</b>	38°36'54"	007°23'51"	187	01-01-2005	31-12-2009

De entre as estações alvo no presente estudo apenas as estações de Évora e Quebedo possuem estação meteorológica.

A localidade de Terena não dispõe de estação meteorológica e, por esse facto, os dados meteorológicos utilizados foram os registados em Amareleja (aproximadamente a 50 km de Terena, na direcção Sudeste). Situação análoga se verificou com a estação de Monte Velho onde se utilizaram os dados meteorológicos da estação de Sines, localizada a cerca de 15 km a Sul de Monte Velho.

### Caracterização dos locais

A localização das estações está representada na fig.3.1, com as estações de Quebedo e Monte Velho próximo do litoral e Évora e Terena no interior do País.



Fig. 3.1- Localização das estações. Fonte Google earth (2012)

### Évora

A cidade de Évora ( $38^{\circ} 34' 15''$  N;  $7^{\circ} 54' 34''$  W;  $h \approx 300$  m) fica localizada numa região interior do Sul de Portugal. Esta região predominantemente rural, apresenta uma baixa densidade populacional. As principais actividades económicas são os serviços e a agricultura. A indústria não apresenta papel de relevo. Os centros industriais mais próximos são Sines, Setúbal e Lisboa. Em 2001 possuía pouco mais que 55 000 habitantes.

O observatório do Centro de Geofísica de Évora está localizado num dos pólos da Universidade de Évora, no centro urbano da cidade, na zona histórica e muito próximo do jardim público. Uma das principais entradas de trânsito na cidade e que corresponde à principal avenida que a circunda dista menos de 500 m. Estima-se que entrem em Évora, por dia, entre 12 000 e 15 000 veículos. A principal fonte de produção local de aerossóis é o tráfego automóvel, que apresenta dois picos diários, um localizado durante a manhã e outro no final da tarde.

A estação de Évora (Pereira, 2008) sofre à superfície praticamente a influência de emissões locais devido ao tráfego e aquecimento doméstico.

## **Terena**

Terena, (38° 37' 15'' N; 7° 24' 41'' W; h $\approx$  187 m) também conhecida por São Pedro, com cerca de 1200 habitantes, é uma das seis freguesias do concelho de Alandroal. Situa-se junto à Albufeira da Barragem de Luceférit, construída em finais da década de 1970, e próxima da fronteira com Espanha. A construção da referida barragem, permitiu o desenvolvimento da agricultura de regadio nesta região.

Segundo o censo de 2001, a atividade económica estava relacionada principalmente com a agricultura e construção, serviços e comércio. Uma parte significativa da sua população ativa trabalha no sector industrial de extração e transformação de mármore cujas indústrias se situam em freguesias limítrofes.

Refira-se que o concelho de Alandroal, Estremoz, Borba e Vila Viçosa integram a Zona dos Mármore que se encontra sobre a designada estrutura geológica de Estremoz.

A estação de Terena é um estação de fundo com as características de estar localizada no interior do Alentejo, relativamente próximo da fronteira com Espanha e inserida numa zona que sofre a influência de emissões de material particulado resultante da atividade agrícola dos campos e da exploração e transformação de mármore que tem lugar nos concelhos limítrofes como já acima referido.

## **Setúbal**

Setúbal, (38° 31' 28'' N; 8° 53' 35'' W; h  $\approx$  10 m) apresenta uma população de cerca de 120 000 pessoas, número que tem vindo a aumentar significativamente ao longo dos anos. A cidade de Setúbal faz fronteira com o estuário do Sado e a Serra da Arrábida. O concelho de Setúbal juntamente com mais oito municípios constitui a sub-região designada Península de Setúbal que faz parte integrante da região de Lisboa.

A estação de Quebedo é uma estação urbana, localizada no interior da cidade de Setúbal, situada entre o rio Sado e a Serra da Arrábida, inserida numa zona em que a indústria tem grande relevo e além disso pode estar sujeita por via dos ventos dominantes da circulação geral, às emissões de aerossóis de origem industrial oriundos da cintura industrial de Lisboa, em particular os produzidos nas centrais térmicas de electricidade e nas cimenteiras. Já a estação de Évora (Pereira, 2008) sofre à superfície

praticamente a influência de emissões locais devido ao tráfego e aquecimento doméstico.

### **Monte Velho**

A praia de Monte Velho (38° 04' N; 8° 48' W;  $h \approx 43$  m) ou porto das Carretas é uma praia isolada, situada a 3 km da Vila Nova de Santo André, cujo número de habitantes é cerca de 10 000. Vila Nova de Santo André fica a 12 km de Santiago do Cacém e a 15 km de Sines.

Tem vista para a lagoa de Santo André, o maior conjunto lagunar a norte de Sines, com uma superfície média de 170 ha. A referida lagoa é uma zona costeira com interesse internacional para passagem e estadia de aves. É assim um relevante reservatório de diversidade biológica encontrando-se classificado como reserva natural. Dentro da reserva a circulação é efectuada predominantemente por estradas não asfaltadas.

Na reserva não existe indústria, porém nas proximidades situa-se o complexo industrial de Sines onde estão localizadas indústrias petro químicas e uma central termoeléctrica, entre outras (ICN in press).

A estação de Monte Velho é uma estação de fundo com as características de estar localizada junto ao mar e inserida num parque natural sob a influência de emissões florestais e eventualmente do complexo industrial de Sines.

### **Variação da temperatura ao longo do ano para o período em estudo**

Évora e Terena (fig.3.1 A e B) caracterizam-se por possuírem temperaturas médias mensais, baixas nos meses de Inverno, por vezes inferiores a 10 °C. No entanto, nos meses de Verão as temperaturas são altas como é hábito no Alentejo interior com valores médios acima de 25 °C. Monte Velho e Setúbal registam no Inverno temperaturas baixas, idênticas a Évora e Terena apesar de se localizarem próximo da costa Atlântica. No Verão, o valor das suas temperaturas médias não atingem os 25 °C. Na cidade de Setúbal a oscilação dos valores de temperatura é geralmente baixa.

Em Évora (fig.3.1 A)) os valores mais altos foram registados nos meses de julho nos anos de 2006 e 2007, Junho no ano de 2008 e em Agosto no ano de 2009. Os valores mais baixos foram registados no mês de janeiro, em todos os anos a que respeita

o presente estudo, com exceção do ano de 2008 que foi em Dezembro. O valor mais alto da temperatura média mensal, cerca de 27°C, foi registado no mês de Julho nos anos de 2006 e 2007. O valor da temperatura média mensal mais baixo ( $\approx 7,4$  °C), foi registado em Janeiro de 2009.

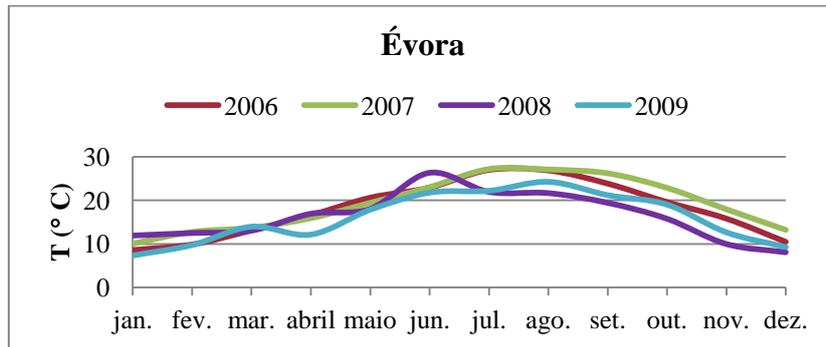
Em Amareleja (fig.3.1 B)) os valores mais baixos foram registados no mês de Janeiro em todos os anos e os valores mais altos foram registados no mês de Julho nos anos de 2006, 2007 e 2008 e no mês de Agosto em 2005 e 2009. O valor médio mensal mais alto foi registado em 2006, cerca de 27 °C, no mês de Julho e o valor médio mais baixo, ( $\approx 7,2$  °C) foi registado em Janeiro de 2005.

Em Sines (fig.3.1 C)) o valor da temperatura média mensal mais baixo foi registado nos meses de Fevereiro no ano de 2005, Janeiro nos anos de 2006, 2007 e 2009 e no mês de Dezembro no ano de 2008. Os valores mais altos foram registados em Agosto, em todos os anos do estudo, com exceção de 2009 que foi em Junho. O valor médio mensal mais alto foi registado em 2005, no mês de Agosto, cerca de 22 °C e o valor médio mensal mais baixo ( $\approx 9,7$  °C), foi registado em Fevereiro de 2005.

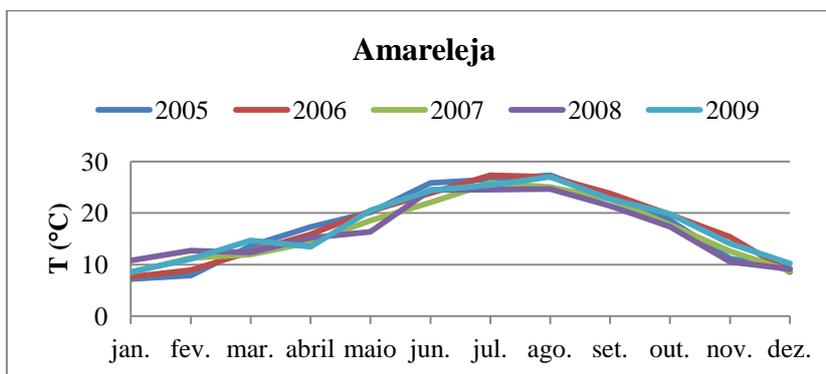
Em Setúbal (fig.3.1 D)) as temperaturas médias mensais mais elevadas registaram-se em Agosto nos anos 2005, 2008 e 2009 e nos meses de Julho em 2006 e 2007. Os valores médios mensais mais baixos registaram-se no mês de Janeiro, com exceção do ano de 2008, em que os valores mais baixos foram verificados em Dezembro. O valor mais alto da temperatura média mensal, cerca de 24°C, foi registado no mês de Agosto de 2005 e no mês de Julho de 2006. O valor médio mensal mais baixo, ( $\approx 7,7$  °C) foi registado em Janeiro de 2005.

Ao longo do período a que respeita o estudo, o ano de 2005 foi o ano em que foram registados os valores mais altos da temperatura no verão, no mês de Agosto nas estações de Amareleja, Sines e Setúbal. Foi também em 2005 que se registaram os valores mais baixos da temperatura média no Inverno, no mês de Janeiro nas estações de Amareleja e Setúbal e no mês de Fevereiro em Sines. Refira-se que no ano de 2005 apenas dispomos de dados de Amareleja, Setúbal e Sines e por isso para a estação de Évora, só dispomos de dados entre 2006 e 2009. Relativamente à cidade de Évora, o valor mais alto da temperatura média foi registado no verão no ano de 2007, no mês de Julho e o valor mais baixo da temperatura média foi registado no Inverno, no mês de Janeiro de 2009. Verificou-se também que no ano de 2008, o mês em que se verificou a temperatura média mais baixa foi o de Dezembro, situação algo diferente do que é

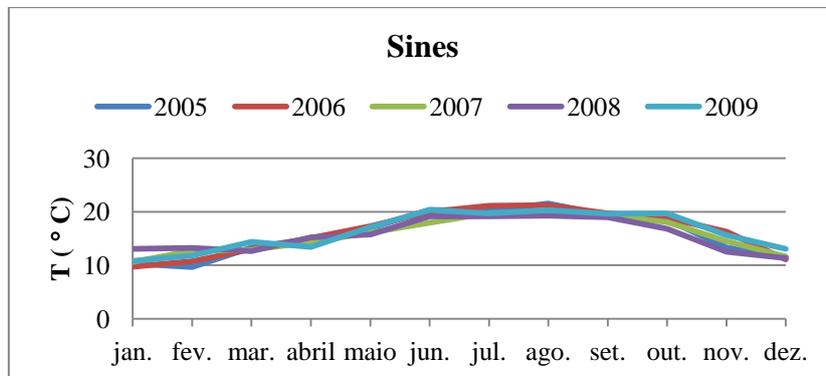
habitual. Janeiro e Fevereiro normalmente são os meses mais frios e consequentemente as temperaturas registadas são também as mais baixas.



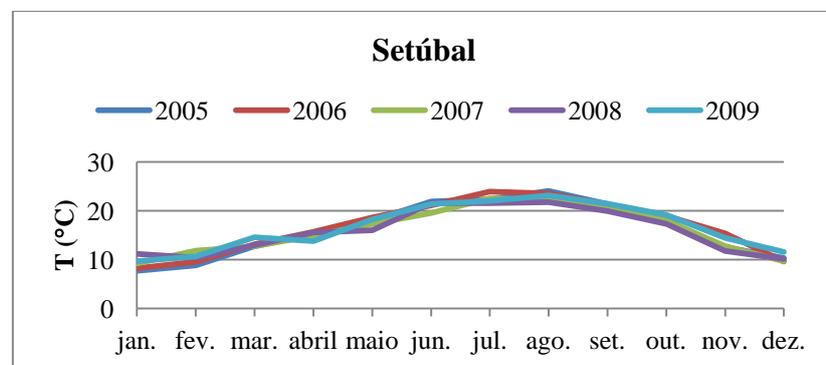
A)



B)



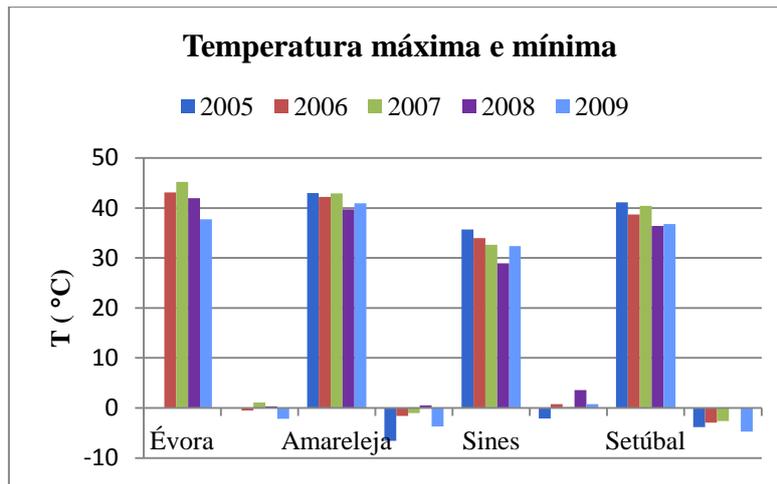
C)



D)

**Fig.3.1-** Temperaturas médias mensais entre 2005 e 2009 nas estações:  
**A) Évora; B) Amareleja; C) Sines; D) Setúbal**

Évora, Setúbal e Amareleja são as estações meteorológicas em que se verifica uma maior diferença entre as temperaturas registadas nos meses de Verão e nos meses de Inverno. É em Setúbal e Amareleja onde se registam os valores horários mais altos e também os mais baixos, da temperatura, fig. 3.2. Assim também são as estações de Évora e de Terena que estão sujeitas a temperaturas mais elevadas, consequência da sua interioridade.



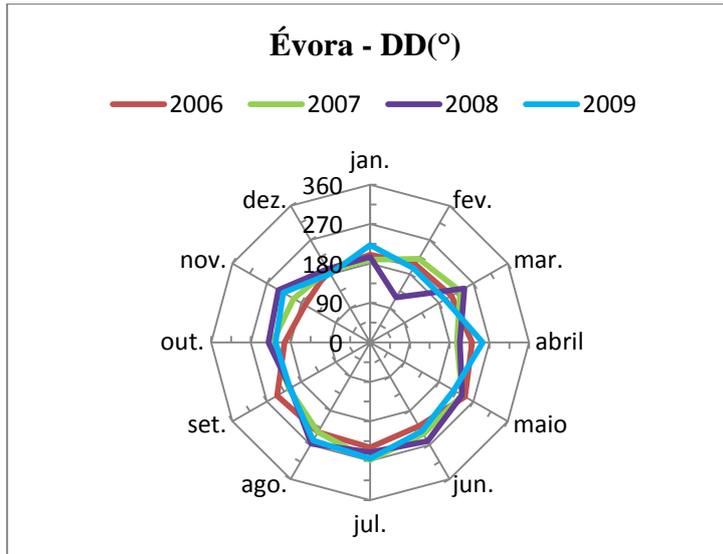
**Fig.3.2-**Temperaturas máxima e mínima entre 2005 e 2009. (Valores horários)

### Variação da direcção do vento ao longo do ano para o período em estudo

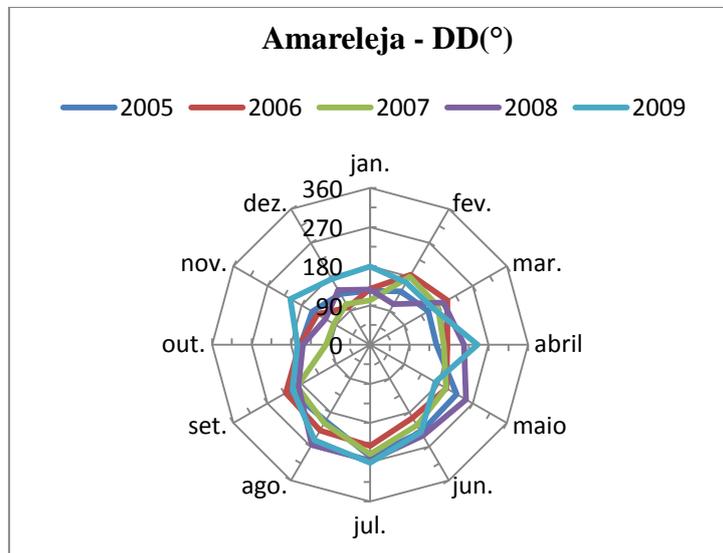
Analisando os gráficos da fig.3.3 A) a D) constata-se que a direcção média do vento nas estações meteorológicas de Sines e Setúbal é próxima de Oeste entre os meses de Abril e Setembro, ou seja metade do ano. Na outra metade do ano, entre Outubro e Março, a direcção média do vento varia entre o Sudoeste e o Sudeste.

Nas estações de Évora e Amareleja, a direcção média do vento é próxima de Oeste nos meses de Julho e Agosto. Nos restantes meses do ano, a direcção média do vento varia entre próximo de Este e Sudoeste.

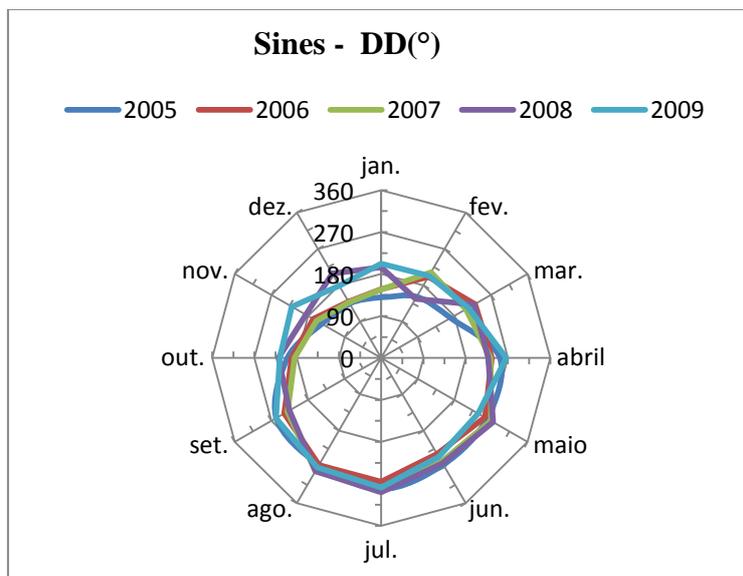
Poderemos assim concluir que as estações de Monte Velho e Quebedo sofrem maioritariamente influência de massas de ar marítimo proveniente do Oceano Atlântico, enquanto as estações de Évora e Terena estão sujeitas predominantemente a massas de ar continental, condicionando o seu clima e consequentemente a composição da sua atmosfera. A direcção do vento é uma das variáveis meteorológicas que condiciona a dispersão e o transporte da maioria dos aerossóis



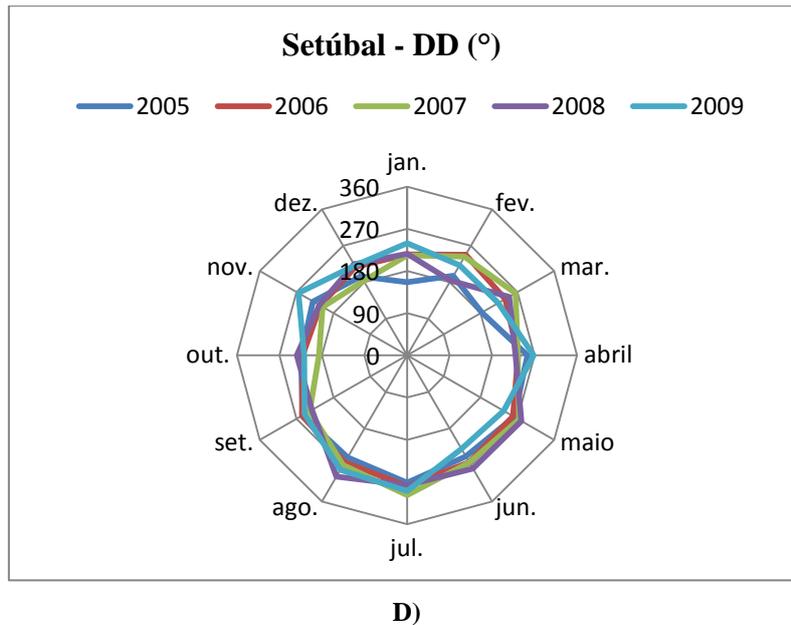
A)



B)



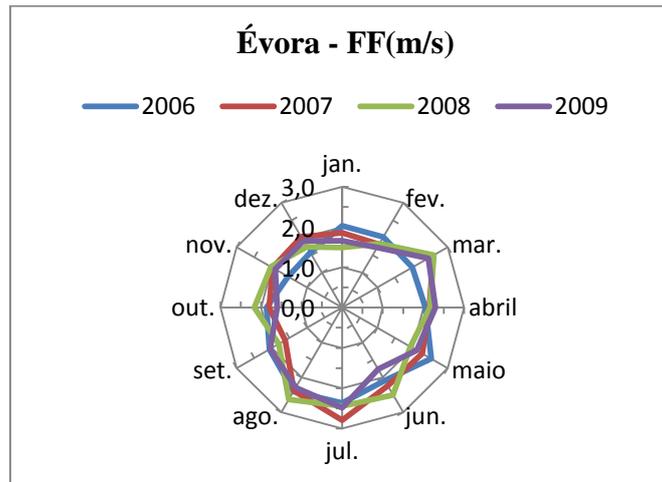
C)



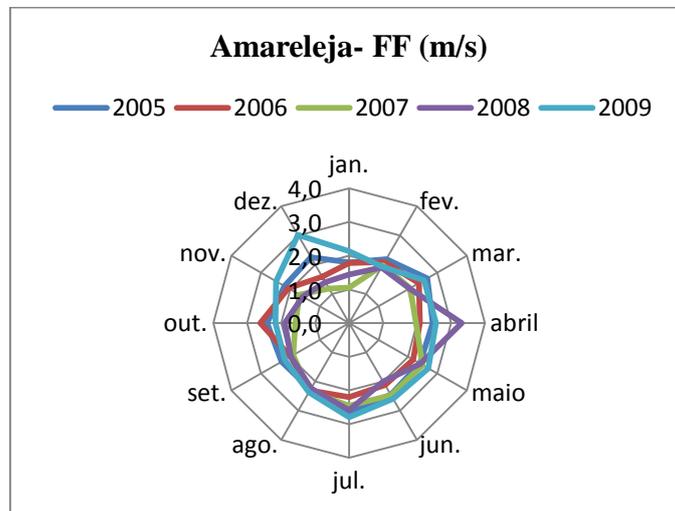
**D)**  
**Fig.3.3-**Direcção do vento média, mensal entre 2005 e 2009 nas estações:  
**A) Évora; B) Amareleja; C) Sines; D) Setúbal**

#### **Variacão da intensidade do vento ao longo do ano para o período em estudo**

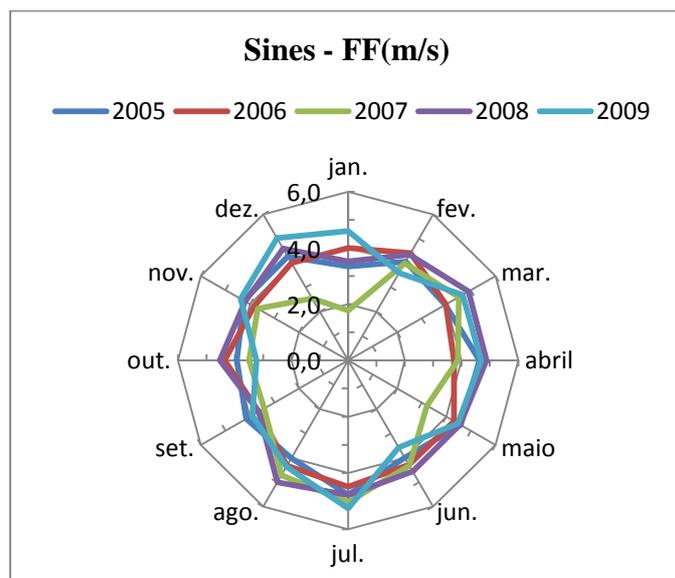
Analisando os gráficos da fig.3.4 A) a D) constata-se que a intensidade média do vento apresenta valores mais elevados na estação de Sines, devido à sua maior proximidade à costa Atlântica. A estação de Setúbal embora situada junto à costa Atlântica, apresenta valores mais baixos do que Sines. Évora e Amareleja são as duas estações em que se verifica uma menor intensidade média do vento, uma consequência da sua interioridade. Em todas as estações se verifica a intensidade média do vento maior nos meses de Primavera e Verão. Os valores mais baixos de intensidade média do vento, no período a que respeita o presente estudo, na estação de Sines e de Setúbal, foram registadas em Janeiro e em Dezembro do ano de 2007. No ano de 2007, em Janeiro e Dezembro foram registadas as médias da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevadas, nas estações de Monte Velho e Quebedo (fig.4.8 C) e D), secção 4.1.), uma consequência da diminuição da intensidade média do vento. Quando a intensidade do vento é menor, os poluentes não são removidos da atmosfera tão facilmente, permanecendo aí mais tempo, contribuindo para uma maior concentração de poluentes, entre os quais os aerossóis. A intensidade do vento é assim, um dos factores que condiciona a emissão, dispersão e o transporte da maioria dos aerossóis.



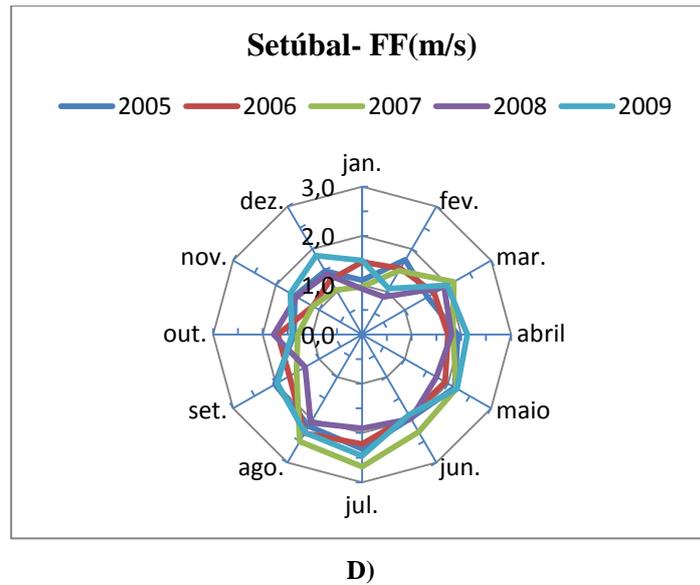
A)



B)



C)



**Fig.3.4-**Intensidade do vento média, mensal entre 2005 e 2009 nas estações:  
A) Évora; B) Amareleja; C) Sines; D) Setúbal

### 3.2- Descrição dos dados de concentração mássica de aerossóis

A recolha de informação foi efectuada a partir de diversas fontes, nomeadamente da Agência Portuguesa do Ambiente, da qual foram obtidos os valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$ ; do Instituto de Meteorologia, do qual obtivemos os valores horários das temperaturas e humidade do ar, velocidade e direcção do vento para cada uma das localidades e referentes ao período entre 1 de Janeiro de 2005 e 31 de Dezembro de 2009; do Observatório de Física da Atmosfera do Centro de Geofísica de Évora, localizado no Colégio Verney na cidade de Évora, foram obtidos os valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  e os dados meteorológicos correspondentes. As retrotrajectórias de 72 horas foram calculadas para cada uma das estações analisadas e para todos os dias em que ocorreram episódios de aerossóis (cuja definição se encontra mais adiante), às 12 h e às altitudes de 1500 m, 3000 m e à superfície, utilizando o modelo de retrotrajectórias Hysplit (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) [Draxler, 2011].

Os valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  referem-se a quatro estações de Medição da Qualidade do Ar, três das quais localizadas no Alentejo e a quarta localizada na Península de Setúbal. Os referidos dados foram recolhidos entre 2005 e 2009 para as estações de Terena, Monte Velho e Quebedo e entre 2006 e 2009 para a estação de Évora, uma vez que a concentração mássica de aerossóis só passou a

ser medida a partir de 2006. Assim para a estação de Évora só foi possível tratar os dados referentes a quatro anos, e não cinco como acontece nas outras estações.

O tratamento dos dados disponíveis referentes à concentração de aerossóis teve início com uma breve análise da eficiência horária na medição da concentração mássica de PM<sub>10</sub> de cada uma das estações que são alvo do presente estudo. Para o cálculo da eficiência (Tabela 3.3) foi considerado o número de registos disponíveis em cada uma das estações e o número de horas correspondentes ao intervalo de tempo a que respeita o presente estudo. A fórmula utilizada para o cálculo da eficiência foi:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de registos horários}}{\text{N}^\circ \text{ de horas do estudo}} \times 100$$

**Tabela 3.3-** Eficiência das estações durante o período do estudo (2005-2009)

Zona	Estação	Nº de registos horários	Nº de horas do estudo	Eficiência (%)
Alentejo	Terena	26774	43824	61,1
	M. Velho	40727	43824	92,9
	Évora a)	21517	35064	61,4
P. Setúbal	Quebedo	42503	43824	97,0

a) os registos da estação de Évora apenas foram efectuados entre 2006 e 2009.

Analisando a tabela 3.3, acima apresentada, constatamos que a estação de Quebedo foi a que apresentou um melhor desempenho, registando uma eficiência de 97,0 % seguida da estação de Monte Velho com uma eficiência de 92,9 %. As outras duas estações, Terena e Évora apresentam registos com falhas durante intervalos de tempo consideráveis o que contribuiu para que possuam uma eficiência com um valor bastante inferior, e relativamente próximas uma da outra, 61,1 % e 61,4 % respectivamente. Este valor é muito inferior aos 90% estabelecidos na EN12341. Embora nas estações de Terena e Évora se tenha verificado um valor de eficiência tão baixo, os dados destas mesmas estações foram analisados à semelhança do que aconteceu com os dados das outras estações mas as conclusões apresentam algumas reservas. As estações de Terena e Évora são assim as que possuem mais falhas. Terena apresenta falhas em todo o segundo semestre de 2006, e no primeiro de 2007, nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio, o que equivale a praticamente um ano sem

quaisquer registos da concentração mássica de  $PM_{10}$ . A estação de Évora apresenta falhas em Junho de 2007 e no mês de Fevereiro e entre Julho e Novembro do ano de 2008.

A tabela 3.4 apresenta a distribuição do número de registos efectuados nas quatro estações, por cada estação do ano.

**Tabela 3.4-** Tabela resumo dos períodos em que há dados (registos horários)

Estação	Est. Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2005-2009
Évora	DJF		1519	1707	639	1409	5274
	MAM		2183	1566	1085	1714	6548
	JJA		2171	842	241	1724	4978
	SON		1479	1554	0	1684	4717
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>7352</b>	<b>5669</b>	<b>1965</b>	<b>6531</b>	<b>21517</b>
Terena	DJF	1094	1416	741	1439	744	5434
	MAM	1909	2066	0	1842	562	6379
	JJA	2140	371	2093	1703	2208	8515
	SON	2078	0	2184	0	2184	6446
	<b>Total</b>	<b>7221</b>	<b>3853</b>	<b>5018</b>	<b>4984</b>	<b>5698</b>	<b>26774</b>
M. Velho	DJF	1032	2070	2153	2176	2046	9477
	MAM	1087	2208	2206	2208	2205	9914
	JJA	2109	2184	2177	2189	2134	10793
	SON	2012	2143	2180	2144	2064	10543
	<b>Total</b>	<b>6240</b>	<b>8605</b>	<b>8716</b>	<b>8717</b>	<b>8449</b>	<b>40727</b>
Quebedo	DJF	2153	2142	2141	2158	2109	10703
	MAM	2062	1911	2178	2143	2131	10425
	JJA	2014	2186	2195	2202	2198	10795
	SON	2017	2071	2169	2145	2178	10580
	<b>Total</b>	<b>8246</b>	<b>8310</b>	<b>8683</b>	<b>8648</b>	<b>8616</b>	<b>42503</b>

## Medição da concentração mássica

A medição da concentração mássica dos aerossóis pode ser efectuada directamente utilizando técnicas de medição directa da massa. Existem ainda técnicas indirectas que nos permitem medir a concentração mássica, como é o caso da utilização da dispersão de radiação que pode ser relacionada com a massa. O principal obstáculo na medição da concentração mássica dos aerossóis existentes na atmosfera é o facto de

aqueles constituírem uma mistura complexa de material não volátil e semi-volátil, o que pode levar a perdas significativas de material (Pereira, 2006).

O valor da concentração mássica dos aerossóis depende do tipo de instrumento utilizado na sua medição. Cada tipo de instrumento utiliza um método diferente e por isso os valores obtidos também são diferentes.

Para a escolha do instrumento a utilizar importa previamente identificar as fontes dos aerossóis, a informação necessária e definir os objectivos a atingir (Baron e Willeke, 2001).

Uma grande parte das medições de concentração mássica de aerossóis é efectuada recorrendo a instrumentos tradicionais que utilizam métodos estabelecidos como sendo de referência com base na legislação. Segundo este método – método gravimétrico – um dado volume de ar atravessa um filtro onde são depositados os aerossóis. O período de amostragem em geral é de 24 horas. A concentração mássica obtém-se dividindo a massa de aerossóis depositados no filtro pelo volume total de ar no período de amostragem. O filtro necessita ser substituído em cada 24 horas, exigindo para tal a presença diária de pessoal especializado. Antes e depois de cada utilização, determina-se a massa do filtro recorrendo a uma balança analítica. A massa de aerossóis obtém-se pela diferença entre a massa do filtro depois de utilizado na recolha da amostra e a massa do filtro antes de ser utilizado. Os filtros deverão ser devidamente acondicionados em ambiente controlado, pelo menos 48 horas antes da sua primeira “pesagem” e após a sua utilização, de modo a evitar variações na humidade relativa.

Pelo acima exposto, o método gravimétrico é moroso e pouco funcional. A informação só está disponível passados alguns dias e não permite identificar qual a variação horária da concentração mássica. Assim também não é possível identificar os máximos e os mínimos da concentração mássica diária nem tão pouco episódios de curta duração. De forma a eliminar as desvantagens deste método foram desenvolvidos métodos e instrumentos automáticos que nos fornecem a informação em tempo real. Temos como exemplo a microbalança piezoelétrica, o monitor beta e o monitor de microbalança oscilante – TEOM (Pereira, 2006). Os métodos utilizados no monitor beta e no monitor de microbalança oscilante – TEOM foram descritos na secção 2.3 por se tratar dos instrumentos utilizados na medição da concentração mássica de  $PM_{10}$  nas estações a que respeita o presente estudo.

### 3.3 – Métodos de análise

O instrumento utilizado na medição da concentração mássica de  $PM_{10}$  nas estações de Terena, Monte Velho e Quebedo é o Monitor Beta.

Em Évora para a medição da concentração mássica de  $PM_{10}$  é utilizado o TEOM – monitor de microbalança oscilante.

Como as técnicas utilizadas na medição da concentração mássica são distintas, os dados foram devidamente calibrados e harmonizados relativamente a um amostrador de referência equipado com uma cabeça de amostragem  $PM_{10}$  de modo a poderem ser comparáveis.

Para o tratamento dos dados disponíveis da concentração mássica de  $PM_{10}$  foi utilizado o programa Microsoft Office Excel. O tratamento incluiu a análise estatística e o cálculo de um conjunto de parâmetros estatísticos tais como o número de registos, a média, a mediana, o desvio padrão, o valor máximo e o percentil ( $P_5$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{30}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{80}$ ,  $P_{90}$ ,  $P_{95}$  e  $P_{98}$ ) relativo a cada uma das estações em estudo entre 1 de Janeiro de 2005 e 31 de Dezembro de 2009, com excepção da estação de Évora que só teve início em 1 de Janeiro de 2006.

Foi analisado para cada um dos locais a variabilidade temporal da concentração mássica para diferentes escalas temporais (diária, sazonal, interanual). Foi também analisada a variabilidade espacial da concentração mássica média diária obtida para cada estação. Foram calculadas para cada estação as excedências ao Valor Limite Diário (VLD) legislado de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , bem assim como as excedências ao Valor Limite Anual (VLA) legislado de  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ . O presente estudo debruçou-se igualmente sobre a identificação da ocorrência de “episódios” de aerossóis nos diferentes locais de estudo e a sua relação com as condições meteorológicas em particular a intensidade e direcção do vento, e com as origens das fontes de aerossóis, obtidas a partir da análise das retrotrajectórias de 72 h, a várias altitudes em cada uma das estações. Procurou-se com esta análise identificar a origem local ou de longo curso dos aerossóis que chegavam a cada uma das estações e com isto o “tipo” de aerossóis predominantes em cada um dos episódios. Foi considerado episódio de poluição a persistência de dois ou mais dias com registos de concentrações mássicas de  $PM_{10}$  superiores à soma da média com o desvio padrão referente à totalidade do período em estudo, da referida estação, conforme se pode ver na tabela 4.3 (Cap. 4, secção 4.1).

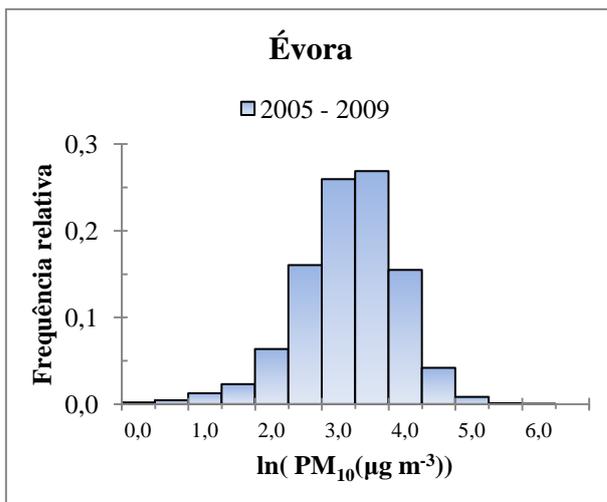
Assim neste capítulo pretendeu-se fazer uma caracterização da área em estudo, bem como a descrição dos dados horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  e os métodos de análise utilizados neste trabalho.

## 4- Apresentação e discussão dos resultados

A concentração de poluentes na atmosfera está diretamente relacionada com os níveis de emissão desses mesmos poluentes, as condições meteorológicas e as condições geográficas (Nunes, 2008). No entanto, a sua dispersão na atmosfera é condicionada essencialmente pelas condições meteorológicas (Nunes, 2008).

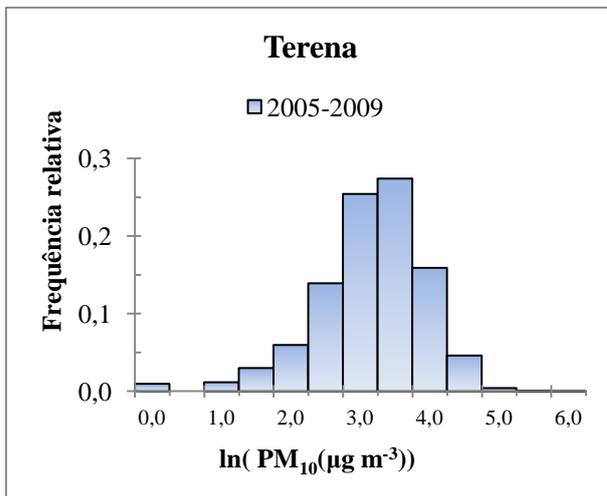
Para conhecimento do tipo de distribuição de concentração mássica de  $PM_{10}$  foi efectuada a logaritmização das séries de dados horários de cada uma das estações para o período respeitante ao presente estudo. Foi também realizada a estatística descritiva dos referidos dados horários do logaritmo neperiano da concentração mássica de  $PM_{10}$  e que constam da figura 4.1. Analisando os resultados obtidos constata-se que a média e a mediana apresentam valores muito próximos, indiciando estarmos perante uma distribuição normal. Os valores das médias variam entre 3,1 ( $c_m (PM_{10}) = 22,8 \mu g m^{-3}$ ) para Évora e 3,5 ( $c_m (PM_{10}) = 33,1 \mu g m^{-3}$ ) para a estação de Quebedo. Estes baixos valores da média podem estar relacionados com a presença do anticiclone semipermanente dos Açores e a depressão da Islândia, no Atlântico Norte que condiciona o regime de ventos em Portugal, ventos predominantemente de Norte, o que transporta ar limpo por advecção do Atlântico e conseqüentemente a concentração das  $PM_{10}$  ser influenciada por emissões oceânicas transportadas pelos ventos da costa até às regiões do interior (Almeida et al., 2005). Pode ainda verificar-se que o desvio padrão varia entre 2,8 em Évora e 3,1 em Terena, significando que a dispersão dos valores é elevada, como se pode observar nos respectivos histogramas. A dispersão em Évora, Monte Velho e Quebedo é ligeiramente menor que em Terena devido ao facto dos registos da concentração mássica de  $PM_{10}$  efectuados naquelas estações, apresentarem valores que não diferem tanto entre si, como acontece em Terena onde se registaram valores muito elevados, como é o caso de um dos valores horários registados em 12 de Junho de 2006 ( $640 \mu g m^{-3}$ ). Este valor tão elevado da concentração mássica de  $PM_{10}$  deveu-se sobretudo à ocorrência de fogos florestais nas proximidades, ou eventualmente a alguma queimada ou fogos, que poderão não ter sido declarados/registados. Os valores horários mais elevados da concentração mássica de  $PM_{10}$  registaram-se em Terena mas como referido anteriormente foi na estação de Quebedo que se registou o valor médio mais elevado, seguida de muito perto da estação de Monte Velho. Terena sendo uma estação rural de fundo, devido à sua localização geográfica está na rota do

transporte de poluentes, quer aquando da circulação de N, da zona de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, quer aquando da circulação SW da zona de Sines, da circulação W da zona de Lisboa e Setúbal, ou mesmo das circulações S e SE do Norte de África e de Espanha. Devido à sua localização geográfica, Terena sofre a influência de diversos tipos de aerossóis, desde o rural até ao aerossol do deserto, passando pelo resultante das indústrias da região de Lisboa e Setúbal e pelo resultante da exploração e transformação de mármore que é efectuada nos concelhos limítrofes.



A)

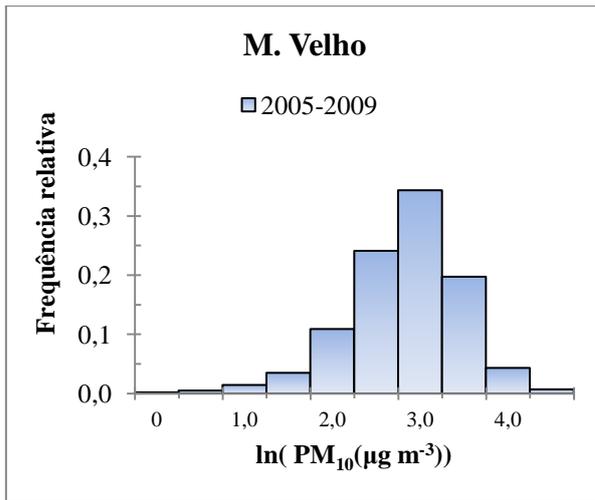
Évora	
Média	3,1
Erro-padrão	-2,2
Mediana	2,9
Moda	2,4
Desvio-padrão	2,8
Variância da amostra	5,7
Curtose	2,9
Assimetria	1,0
Intervalo	5,8
Mínimo	-2,3
Máximo	5,8



B)

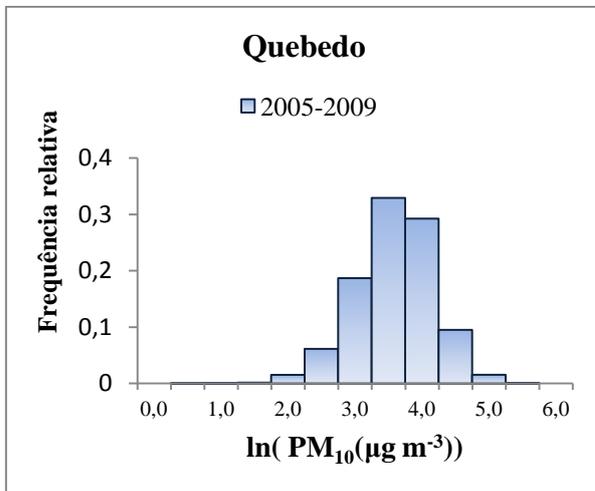
Terena	
Média	3,2
Erro-padrão	-2,0
Mediana	3,0
Moda	2,8
Desvio-padrão	3,1
Variância da amostra	6,2
Curtose	4,2
Assimetria	1,7
Intervalo	6,5
Mínimo	-2,3
Máximo	6,46

**Fig.4.1-** Histograma e estatística descritiva do logaritmo neperiano das concentrações mássicas de  $PM_{10}$  (valores horários) para cada uma das estações: **A)** Évora, entre 2006 e 2009; **B)** Terena, entre 2005 e 2009;



C)

Monte Velho	
Média	3,3
Erro-padrão	-2,4
Mediana	3,1
Moda	3,0
Desvio-padrão	2,9
Variância da amostra	5,8
Curtose	3,3
Assimetria	1,2
Intervalo	5,8
Mínimo	0,00
Máximo	5,8



D)

Quebedo	
Média	3,5
Erro-padrão	-2,4
Mediana	3,4
Moda	3,1
Desvio-padrão	3,0
Variância da amostra	5,9
Curtose	1,7
Assimetria	0,5
Intervalo	5,3
Mínimo	0,2
Máximo	5,3

**Fig.4.1-** (Cont.) Histograma e estatística descritiva do logaritmo neperiano das concentrações mássicas de  $PM_{10}$  (valores horários) para cada uma das estações: **C)** Monte Velho, entre 2005 e 2009; **D)** Quebedo, entre 2005 e 2009

Como referido anteriormente, foi calculado para cada uma das quatro estações, Évora, Terena, Monte Velho e Quebedo, a média, mediana e desvio padrão dos valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  em cada um dos anos (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1-** Média, Mediana, Desvio Padrão, valor mínimo e valor máximo dos valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> referente a cada um dos anos para todos os locais.

Ano	Estação	Concentração mássica de PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )				
		Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2005	M. Velho	25,6	22,0	17,6	0	315,0
	Quebedo	39,6	35,4	22,9	2,4	206,5
	Terena	26,4	20,0	25,1	0	365,0
2006	Évora	22,8	17,5	18,8	0	204,1
	M. Velho	31,1	27,0	23,5	0	296,0
	Quebedo	34,0	28,6	21,3	2,4	178,2
	Terena	25,9	19,0	32,2	0	640,0
2007	Évora	25,7	22,3	18,4	0,1	268,7
	M. Velho	30,0	27,0	18,4	0	257,0
	Quebedo	34,9	31,9	18,4	3,5	131,0
	Terena	24,6	22,0	17,3	0	224,0
2008	Évora	20,4	18,1	13,3	0	183,8
	M. Velho	21,6	20,0	13,0	0	187,0
	Quebedo	28,7	25,8	16,0	2,4	198,2
	Terena	21,1	18,0	16,2	0	193,0
2009	Évora	20,9	18,0	14,3	0	319,0
	M. Velho	25,6	22,0	15,4	0	314,0
	Quebedo	28,7	26,0	14,8	1,2	113,3
	Terena	23,4	21,0	17,1	0	151,0

Da tabela 4.1 constam ainda os valores mínimo e máximo para os valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registados em cada um dos anos, para cada um dos locais.

Pela análise da tabela 4.1 podemos concluir que a estação de Quebedo é a que apresenta uma média e uma mediana mais elevada de entre as quatro estações. Esta conclusão está de acordo com os resultados da estatística descritiva efectuada após a logaritmização dos dados horários. Os valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais elevados foram registados nos anos de 2005 e 2006, na estação de Terena, no ano de 2007 na estação de Évora, no ano de 2008 na estação de Quebedo e no ano de 2009, na estação de Évora. Refira-se que no ano de 2008 há falhas significativas nos registos de Évora e de Terena (tabela 3. 4) e os valores máximos registados neste ano para cada uma das estações são muito idênticos (variam entre 183,8 e 198,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). O valor do desvio padrão é mais elevado na estação de Terena em todos os anos, com excepção do ano de 2007. Neste ano de 2007, as outras três estações apresentaram valor

igual de desvio padrão ( $18,4 \mu\text{g m}^{-3}$ ) indiciando uma dispersão de valores dos registos da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  idêntica. O valor mais elevado do desvio padrão ( $32,2 \mu\text{g m}^{-3}$ ) foi registado em 2006, contribuindo para este valor, o registo horário das 16 h do dia 12 de Junho de 2006 ( $640 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Para cada um das estações e referente a cada um dos anos a que respeita o presente estudo, foi calculado os percentis  $P_5$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{30}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{80}$ ,  $P_{90}$ ,  $P_{95}$  e  $P_{98}$ , com base nos valores horários da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$ , e que constam na tabela 4.2.

**Tabela 4.2-** Percentis com base nos valores horários da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$ , relativo a cada estação, entre 2005 e 2009.

Percentis com base nos valores horários de $c_m$ de $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )									
Ano	Estação	$P_5$	$P_{10}$	$P_{30}$	$P_{50}$	$P_{80}$	$P_{90}$	$P_{95}$	$P_{98}$
2005	M. Velho	6	9	16	22	36	45	53	65
	Quebedo	12	15	26	35	54	68	82	102
	Terena	4	7	14	20	39	50	63	87
2006	Évora	5	7	12	18	33	45	58	80
	M. Velho	7	11	19	27	42	54	68	97
	Quebedo	11	14	21	29	46	61	76	98
	Terena	4	6	13	19	32	46	69	116
2007	Évora	5	8	15	22	37	47	58	71
	M. Velho	8	11	19	27	41	51	60	77
	Quebedo	12	14	24	32	48	59	70	85
	Terena	4	7	15	22	36	44	54	70
2008	Évora	5	8	13	18	29	36	43	53
	M. Velho	6	8	14	20	29	36	43	53
	Quebedo	10	13	19	26	39	47	57	73
	Terena	3	6	13	18	30	39	48	65
2009	Évora	5	7	13	18	30	39	46	56
	M. Velho	5	8	16	22	33	41	47	58
	Quebedo	9	12	19	26	41	49	56	65
	Terena	1	4	14	21	35	44	54	68

Analisando a tabela 4.2 verifica-se que a estação de Quebedo é a que apresenta os percentis mais elevados, com excepção do percentil  $P_{98}$  nos anos de 2006 e 2009. Nos anos de 2006 e 2009, o percentil  $P_{98}$  é mais elevado na estação de Terena. As estações que apresentam um valor de percentil 98 mais elevado foram Quebedo e Terena, com excepção do ano de 2007 em que foi Quebedo e Monte Velho. É de

relembrar que Terena apresentou falhas nos registos durante esse ano como pode ser observado na tabela 3.4, contribuindo para que as conclusões apresentem algumas reservas. Poderemos assim concluir que são as estações de Quebedo, Terena e Monte Velho as que apresentam registos de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados. Em todas as estações, se registou valores de percentil 98 superiores a  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ . Atendendo a que o percentil 98 está associado a situações críticas relativamente à qualidade do ar, ou seja a episódios de poluição, poderemos assim concluir que em todas as estações se verificou episódios de poluição.

Évora foi a estação que apresentou valores de percentis mais baixos em todos os anos com excepção do ano de 2007. Foi neste ano (2007) em que se verificou a média da concentração mássica de  $PM_{10}$  registada na estação de Évora superior à registada em Terena.

O percentil 50, equivalente à mediana, fornece informações sobre a qualidade do ar em termos médios, e por isso está associado a situações de poluição. A estação de Quebedo apresenta nos anos de 2005 e 2007 um valor de percentil 50 superior a  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  mas nos restantes anos registou valores inferiores conforme pode ser observado na tabela 4.2. As outras três estações apresentam valores de percentil 50, em qualquer um dos anos do presente estudo, sempre inferiores a  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ , indiciando que a qualidade do ar, de um modo geral, é bastante aceitável.

#### **4.1- Evolução temporal**

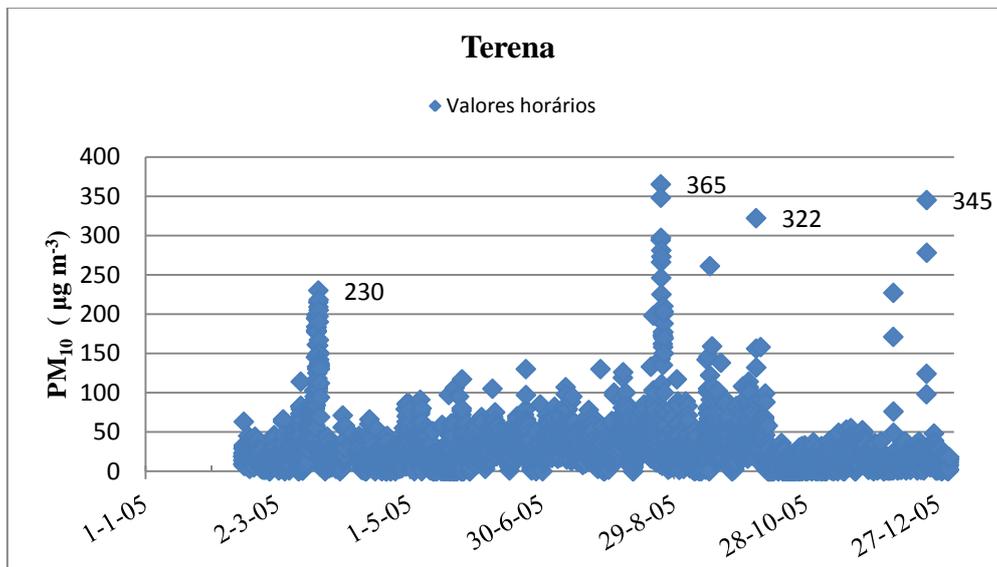
O estudo da evolução temporal da concentração mássica de  $PM_{10}$  começou com a elaboração de gráficos de dispersão para cada uma das estações a partir dos valores horários disponibilizados. Assim, relativamente a cada uma das estações foi elaborado um gráfico de dispersão por ano para todo o período sobre o qual incide o presente estudo. A título ilustrativo apenas serão apresentados os gráficos referentes a dois dos anos a que respeita este estudo. O primeiro ano selecionado foi o ano do início do estudo, 2005 mas como dispomos de dados de, apenas, três estações, foi escolhido um outro ano no qual já dispúnhamos dos dados de todas as estações. A escolha recaiu no ano de 2009 por ser o ano em que a totalidade das estações tiveram melhor desempenho. Pelo acima exposto, os gráficos de dispersão apresentados (fig. 4.2 e 4.3) apenas são os respeitantes aos anos de 2005 e de 2009, os anos que coincidem com o início e o término deste estudo.

## Variação dos valores horários

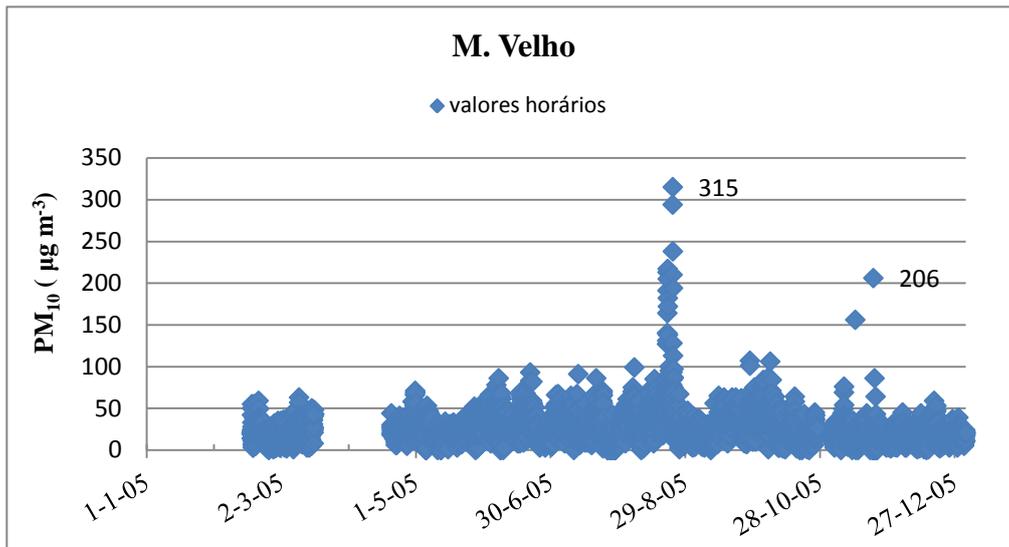
### Ano de 2005

Como já anteriormente mencionado, no ano de 2005 apenas dispomos de dados das estações de Terena, Monte Velho e Quebedo. Destas estações, foi a estação de Quebedo a que apresentou maior número de registos horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> (Fig. 4.2) seguida da estação de Terena que teve falhas nas medições durante cerca de um mês e meio, Janeiro e a primeira metade do mês de Fevereiro e por fim surge a estação de Monte Velho a apresentar falhas de cerca de dois meses e meio.

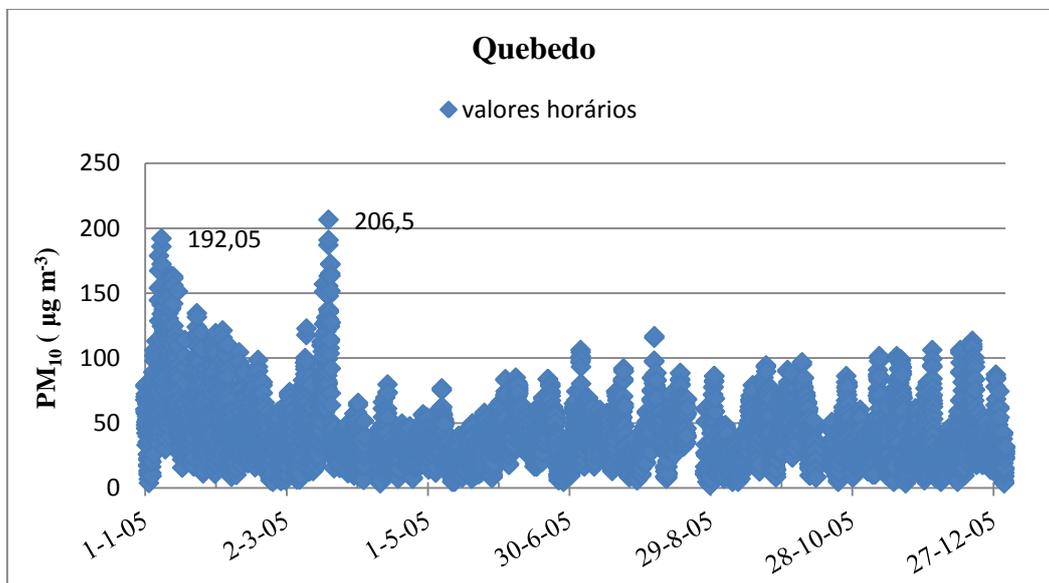
Os valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais elevados, registados no ano de 2005, nas estações de Monte Velho e Terena (Fig.4.2 A) e B)), ocorreram no final do mês de Agosto em ambas as estações, no mês de Novembro para M. Velho, e em Terena no início de Outubro e no final de Dezembro. Na estação de Quebedo os valores horários de concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais elevados foram registados no mês de Março e ao longo de quase todo o mês de Janeiro. Aliás, durante todo o mês de Janeiro os valores registados foram bastante superiores ao valor limite diário, tendo-se obtido um valor médio mensal acima de 60 µg m<sup>-3</sup>, como se pode comprovar no gráfico da fig. 4.2-C) e fig. 4.6-C).



A)



B)



C)

**Fig.4.2-** Valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registados no ano de 2005 nas estações: A) Terena; B) Monte Velho; C) Quebedo.

Como já anteriormente apresentado os registos das estações de Terena e Monte Velho apresentam falhas, em especial no princípio do ano (fig.4.2- A) e B)).

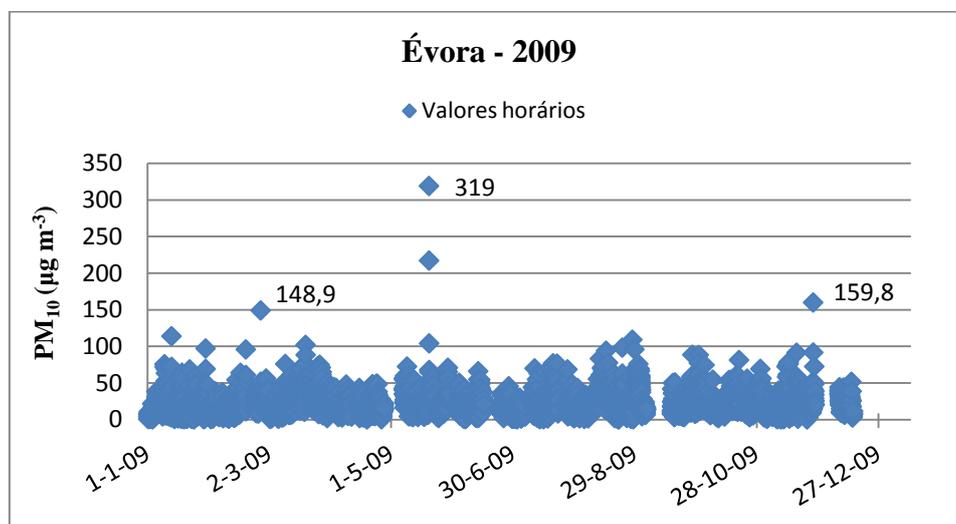
O valor médio da concentração mássica de PM<sub>10</sub> foi mais elevado em Quebedo, seguido de Terena e por fim Monte Velho, porém foi na estação de Terena que foi registado o valor mais alto (fig.4.2- A) e fig.4.6- A). Esta situação deve-se ao facto de Quebedo estar sujeita a uma elevada carga de aerossóis, parte resultante do tráfego automóvel, outra parte de origem industrial (indústria local e eventualmente oriundos da cintura industrial de Lisboa, em especial os produzidos nas centrais térmicas de electricidade e nas cimenteiras).

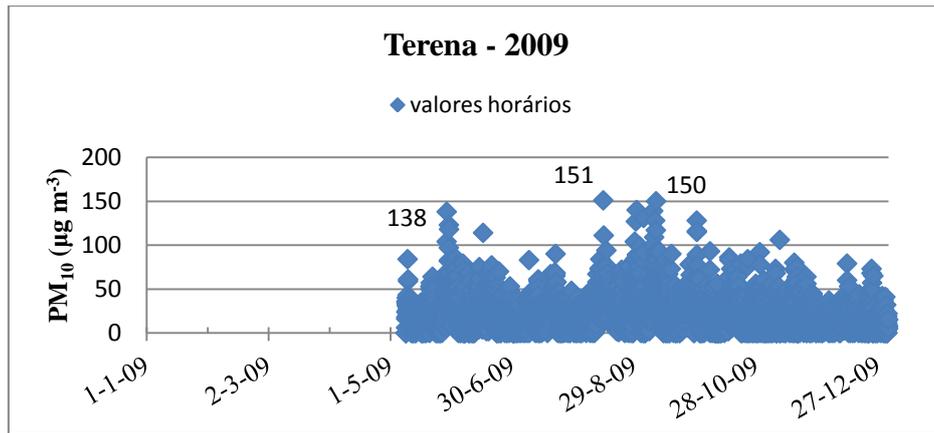
**Ano de 2009**

Neste ano, de entre as estações sobre as quais incide o presente estudo, foi a estação de Quebedo a que apresentou maior número de registos horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  (Fig. 4.3) seguida da estação de Monte Velho. Só depois surge a estação de Évora e por último a estação de Terena como se pode observar nos gráficos constantes da fig.4.3. Terena surge assim como a estação com menor número de registos horários de concentração mássica de  $PM_{10}$ , consequência da falha daqueles, nos primeiros quatro meses do ano (Há registos apenas a partir de 8 de Maio).

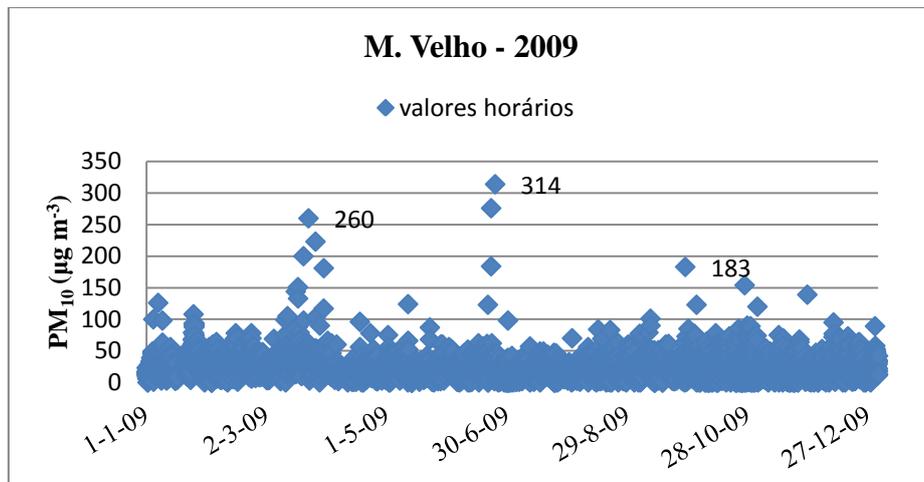
Os valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados, registados no ano de 2009, na estação de Évora (Fig.4.3 A)) ocorreram nos meses de Fevereiro, Maio e Novembro. Na estação de Terena (Fig.4.3 B)), os valores horários mais elevados de concentração mássica ocorreram nos meses de Maio, Agosto e Setembro, enquanto que em Monte Velho os valores mais elevados foram registados em Março, Junho e Setembro. Na estação de Quebedo, os valores mais elevados foram registados em Janeiro, Julho, Outubro e Dezembro.

Os valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados, registados nas estações de Évora, Quebedo e Terena, são respeitantes a dias cuja concentração mássica de  $PM_{10}$  foi superior à soma da média com o desvio padrão referente à totalidade do período em estudo, da referida estação, com excepção do valor registado em Novembro na estação de Évora. Relativamente à estação de Monte Velho, apenas se verificou essa condição para o registo de Março. Nos registos de Junho e Setembro, o valor médio diário (relativos a esses dias) não ultrapassou a soma da média com o desvio padrão referente aos cinco anos de estudo.

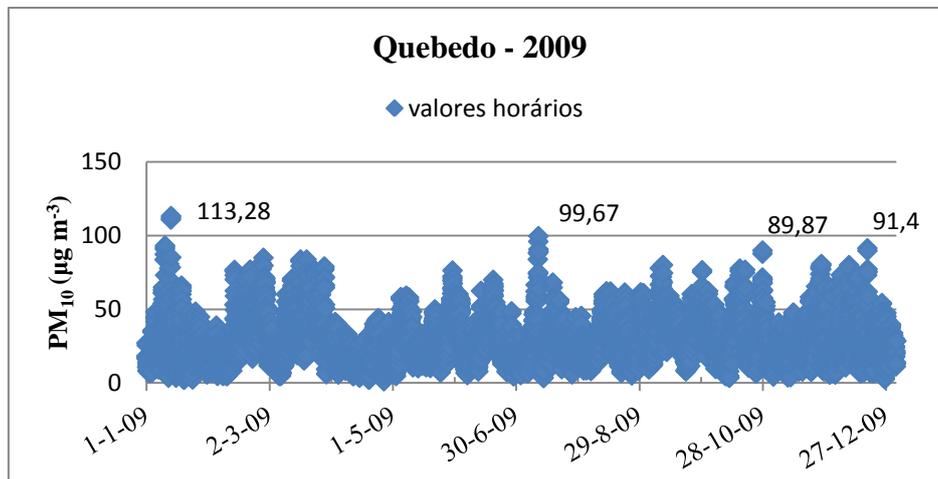
**A)**



B)



C)



D)

**Fig.4.3-** Valores horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registados no ano de 2009 nas estações: A) Évora; B) Terena; C) Monte Velho; D) Quebedo.

### **Evolução semanal dos valores de $PM_{10}$ nas estações urbanas**

O valor médio diário da concentração mássica de  $PM_{10}$  nas estações urbanas, não varia da mesma forma ao longo das diferentes estações do ano. Para tentar perceber melhor a sua variação podemos considerar apenas a evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  ao longo de uma dada semana, para um mês da estação de Inverno e para um mês da estação de Verão. Por exemplo, na estação do Inverno, os valores da concentração de  $PM_{10}$  não é idêntica em todos os dias da semana nem nas duas estações classificadas de urbanas. Para ambas as estações ocorre um máximo à terça-feira e um mínimo ao sábado. Para o caso de Évora ainda ocorre um outro máximo (mais pequeno que na terça) à sexta-feira que não parece ocorrer em Quebedo. Durante a estação do Verão verifica-se que é a partir da quinta-feira até ao final da semana que são registados valores mais elevados da concentração mássica de  $PM_{10}$  (Fig.4.4 B)) Estes valores levam-nos a concluir que as emissões de aerossóis não são iguais em todos os dias da semana nem nas duas localidades.

Enquanto na estação do Inverno, os valores da concentração mássica de  $PM_{10}$  foram mais elevados na terça e na sexta, decrescendo nos restantes dias, no Verão é junto ao fim-de-semana que se verificam os valores mais elevados. Os valores registados em Quebedo no domingo deve-se ao facto dos habitantes da cidade de Setúbal e mesmo de outros locais próximos aproveitarem para fazer um passeio pelas praias, que ficam relativamente próximas, nomeadamente as praias da Figueirinha e do Portinho da Arrábida, ou mesmo pela serra da Arrábida contribuindo assim para um aumento do tráfego automóvel e um conseqüente aumento de emissão de partículas  $PM_{10}$ . O Domingo é também o dia de regresso para quem passa o fim-de-semana fora e o dia da partida para os que vêm passar o fim-de-semana a Setúbal. O Domingo é ainda aproveitado por muitas pessoas para irem fazer as suas compras nas grandes superfícies, contribuindo para o aumento do tráfego urbano.

Com excepção da sexta-feira, os valores registados em Quebedo estão sempre muito acima dos de Évora o que é bastante compreensível. Setúbal é uma cidade bastante maior, tem um maior número de habitantes do que Évora (superior ao dobro) e conseqüentemente maior tráfego automóvel. Além disso, possui também uma central termoeléctrica e uma cimenteira, relativamente próxima, assim como outras indústrias, que Évora não dispõe, cujas emissões não têm a mesma regularidade das que são produzidas pelo tráfego automóvel e não são produzidas à superfície.

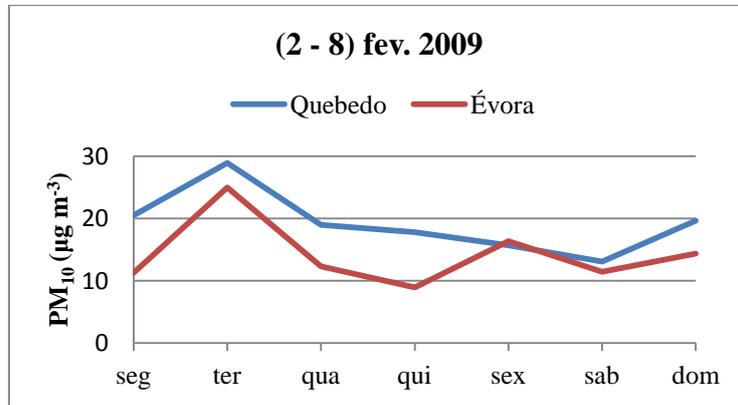
Em Évora, durante o Inverno, verifica-se que na terça – feira, há um aumento do valor da concentração mássica de  $PM_{10}$  em cerca de 100% relativamente ao registado na segunda-feira. Os dois picos dos valores da concentração mássica de  $PM_{10}$  registados durante a semana na terça-feira e na sexta – feira em Évora devem-se ao aumento da intensidade de tráfego na cidade durante estes dias relacionada provavelmente com a vinda dos estudantes, da Universidade, para Évora à terça e a sua partida à sexta-feira. O aumento da concentração mássica de  $PM_{10}$  no Domingo relativamente ao sábado deve-se à maior utilização do automóvel no Domingo, dia em que muitas pessoas aproveitam para fazer as compras ou mesmo um passeio de carro. No sábado, a maioria das pessoas aproveita para ficar em casa. Refira-se que os habitantes da cidade que passam o fim-de-semana fora, aproveita para regressar no Domingo.

Em Évora durante o Verão a actividade laboral e a presença de estudantes está muito diminuída mas existem mais turistas cujo afluxo a Évora provavelmente aumenta a partir do meio da semana, tornando a aumentar no final da semana com a saída de habitantes para a região costeira (praias).

Em Quebedo durante o Verão passa-se algo idêntico a Évora onde se verifica a existência de maior concentração mássica de  $PM_{10}$  no meio da semana (fig.4.4 B)). É a partir do meio da semana e até Domingo que há uma maior afluência às praias mais próximas, o que contribui para aumentar o tráfego automóvel. Maior tráfego automóvel implica maior quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera, portanto mais material particulado emitido, logo maior concentração mássica de  $PM_{10}$ .

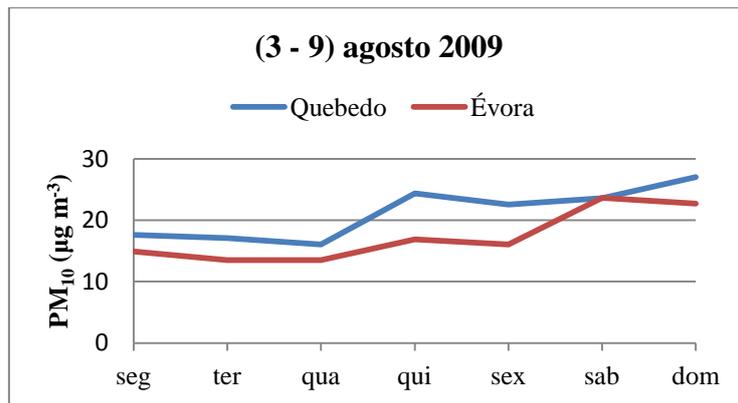
Durante o mês de Julho, o padrão é semelhante ao do mês de Agosto nas estações de Évora e Quebedo, durante os dias da semana, conforme se pode verificar na fig.4.4 C). Durante o fim-de-semana verifica-se o oposto. Em Quebedo verifica-se um aumento na sexta e no sábado, diminuindo no Domingo enquanto em Évora se verifica aumento até Domingo. No mês de Julho, embora seja um mês de Verão, ainda não há férias, pelo que ainda há actividade laboral, porém a presença de estudantes na cidade é mais reduzida, contribuindo para que não se registem os picos na terça e na sexta correspondentes à sua vinda para Évora e à partida, como se verifica em tempo de aulas. O aumento do afluxo de turistas a Évora provavelmente a partir do meio da semana, e até ao final da semana bem como a saída dos habitantes para a região costeira (praias) a partir do meio da semana e até Domingo contribui para o aumento da concentração mássica de  $PM_{10}$ .

Em Quebedo durante o mês de Julho é a partir do meio da semana e até Sábado que há uma maior afluência às praias mais próximas, o que contribui para aumentar o tráfego automóvel. Maior tráfego automóvel implica maior quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera, portanto mais material particulado emitido, logo maior concentração mássica de  $PM_{10}$ .



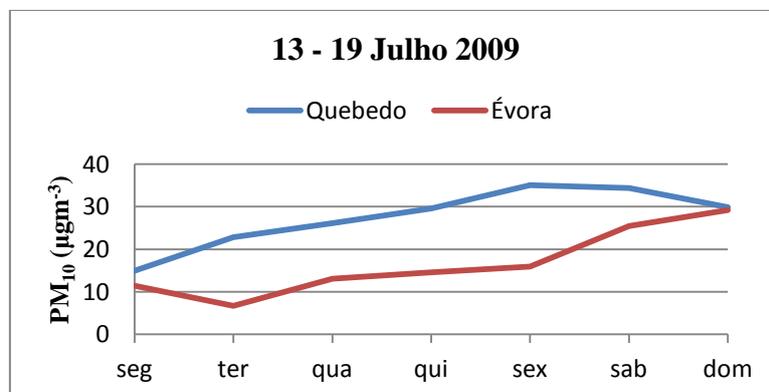
A)

Fig.4.4- A) Evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  ao longo de uma semana, no Inverno, nas estações urbanas



B)

Fig.4.4- B) Evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  ao longo de uma semana, no Verão, nas estações urbanas



C)

Fig.4.4- C) Evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  ao longo de uma semana, no Verão, (mês de Julho) nas estações urbanas

### **Evolução anual dos valores diários de PM<sub>10</sub>**

Com base nos dados horários da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, foram calculadas as médias diárias para cada uma das estações em cada um dos anos e posteriormente representadas nas figuras (4.5 A) - 4.5 E).

No ano de 2005, (fig.4.5 A)) a estação de Quebedo foi a que apresentou uma maior eficiência seguida da estação de Terena e por fim a estação de Monte Velho, como já anteriormente referido. Os valores médios diários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> no ano de 2005 apresentaram os picos mais elevados na estação de Terena, no mês de Março e Agosto. No entanto, foi a estação de Quebedo que apresentou uma média mais elevada ultrapassando 60 µg m<sup>-3</sup> no mês de Janeiro e 40 µg m<sup>-3</sup> no mês de Fevereiro conforme pode ser observado na figura (fig.4.6 C)).

Durante os meses de Maio, Junho, Julho, Setembro e Outubro e parte dos meses de Abril e Agosto o padrão de evolução é idêntico nas três estações, embora os valores mais elevados ocorram na estação de Quebedo o que é bastante compreensível uma vez que se trata de uma estação urbana e de tráfego e por isso sujeita a uma maior poluição.

Ao longo do ano de 2006, a estação que apresentou melhor desempenho foi Monte Velho seguida de muito perto por Quebedo. Évora apresenta o 3º melhor desempenho e por último encontramos Terena com menos de 50% dos dias com registos. Os valores médios diários da concentração mássica de PM<sub>10</sub> no ano de 2006 apresentaram os picos mais elevados na estação de Terena, no mês de Maio e de Junho e na estação de Monte Velho e Quebedo no mês de Agosto (fig.4.5 B)). De modo geral, foi a estação de Quebedo a que apresentou uma média diária mais elevada ao longo do ano, com excepção do mês de Agosto cuja média mais elevada foi registada em Monte Velho. Aliás, na estação de Quebedo nos meses de Janeiro, Fevereiro e Agosto a concentração mássica de PM<sub>10</sub> foi superior a 40 µg m<sup>-3</sup> e no mês de Dezembro foi muito próxima desse valor, conforme se pode observar na fig.4.7 D). A existência de dois picos no valor médio diário, da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, durante o mês de Agosto registados na estação de Monte Velho (fig.4.5 B)) terá contribuído para que a média referente àquele mês seja muito elevada (aproximadamente 53 µg m<sup>-3</sup>), conforme observado na fig. 4.7 C). Porém a média mensal mais elevada (próximo de 60 µg m<sup>-3</sup>) foi registada na estação de Terena no mês de Junho, conforme observado na fig. (fig.4.7 B)) e para o qual devem ter contribuído os dois picos nos valores médios diários observados na fig. 4.5 B).

Durante o mês de Março e parte do mês de Abril o padrão de evolução é idêntico nas quatro estações, porém os valores mais elevados ocorrem na estação de Quebedo, conforme pode ser visto nas fig. 4.5 B), 4.7 A) e 4.7 D). Évora apresenta, de um modo geral os valores mais baixos de concentração mássica de  $PM_{10}$ , mesmo inferiores a Terena e Monte Velho.

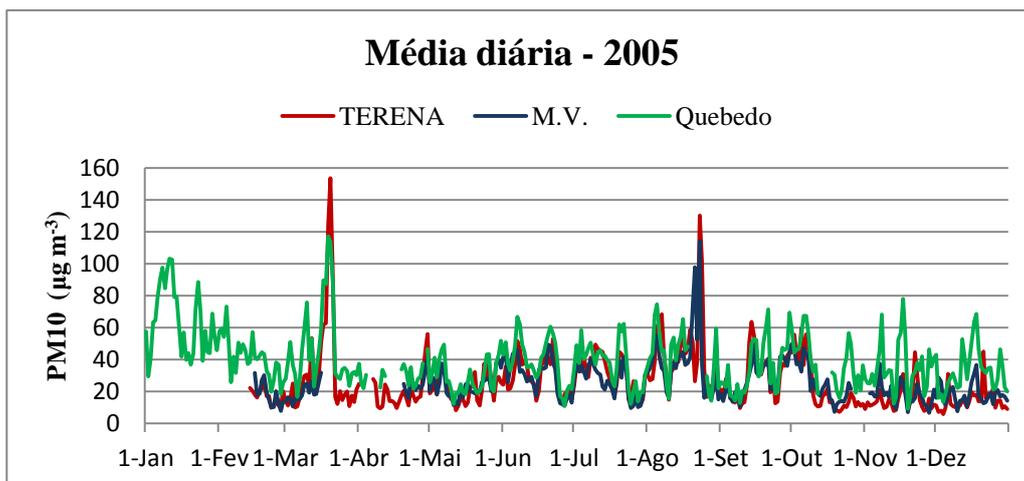
Durante o ano de 2007, Terena é a estação que apresenta menor eficiência com cerca de 58% dos dias com registos. Os valores médios diários da concentração mássica de  $PM_{10}$  no ano de 2007 (fig. 4.5 C) apresentaram o pico mais elevado, na estação de Évora no mês de Dezembro seguido de picos menos intensos registados na estação de Monte Velho em Fevereiro e Março; na estação de Quebedo nos meses de Janeiro e Novembro e na estação de Évora no mês de Abril. Foi a estação de Quebedo a que apresentou uma média diária mais elevada ao longo de quase todos os meses de 2007, em particular nos meses de Janeiro, Novembro e Dezembro, cujos valores médios da concentração mássica de  $PM_{10}$  foram superiores a  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  conforme observado na fig.4.8 D). A estação de Monte Velho foi a que a seguir a Quebedo apresentou o mesmo padrão com os valores médios diários mais elevados na quase totalidade dos meses de 2007, inclusivé superiores a Évora em particular nos meses de Inverno e Primavera.

No ano de 2008, (fig.4.5 D)) as estações de Monte Velho e de Quebedo foram as que apresentaram melhor desempenho seguidas da estação de Terena e por fim temos a estação de Évora para a qual dispomos de registos apenas em 90 dias, ou seja, aproximadamente 25 % daquilo que era suposto, concentrados fundamentalmente na Primavera e inexistentes no Outono. Em todo o período a que respeita este estudo, os registos desta estação neste ano são os que apresentam mais falhas, onde dispomos apenas cerca de 22% dos registos horários. O desempenho da estação de Évora, sendo tão reduzido, afecta a análise estatística que se pretendia fazer porque os registos de que dispomos são respeitantes apenas aos seguintes meses do ano: Janeiro, Março, Abril, Maio, Julho e Dezembro. A estação de Terena também não esteve em funcionamento durante os últimos quatro meses do ano. Os valores médios diários da concentração mássica de  $PM_{10}$  no ano de 2008 apresentaram os picos mais elevados no mês de Fevereiro (o maior), na estação de Quebedo, e em Julho na estação de Terena.

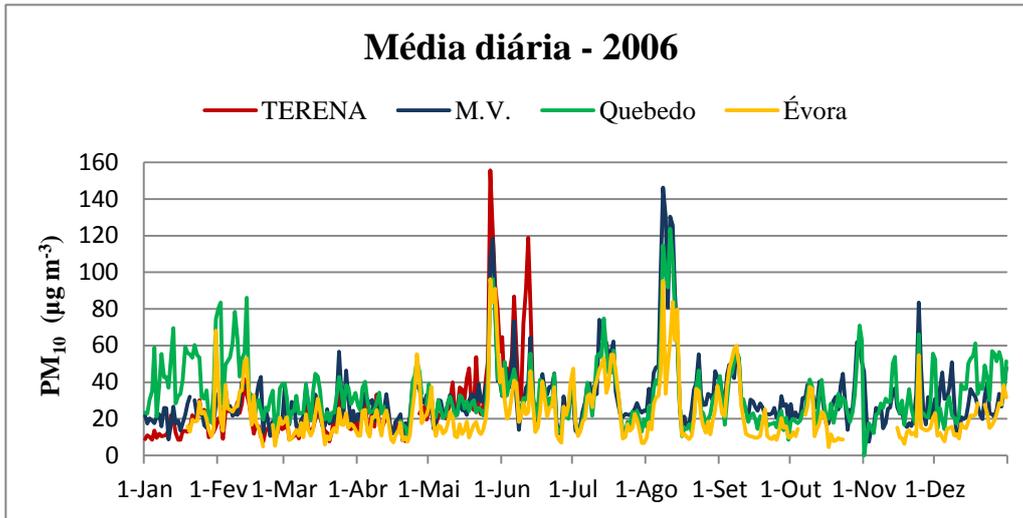
Novamente foi a estação de Quebedo que apresentou a média mensal da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevada, atingindo nos meses de Janeiro e Fevereiro o valor de  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  (fig.4.9 D)).

Ao longo do ano de 2009, as estações que apresentaram melhor desempenho foram Quebedo e Monte Velho, seguidas de Évora e por último Terena. Como já anteriormente referido, 2009 é o ano em que o desempenho das quatro estações, no global, é melhor. Os valores médios diários da concentração mássica de  $PM_{10}$  no ano de 2009 apresentam picos mas não tão elevados como nos anos anteriores. Os picos mais altos foram registados na estação de Monte Velho em Janeiro e na estação de Terena no mês de Setembro. Ainda podemos referir uns picos rondando o valor de  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  ocorridos na estação de Terena no mês de Maio e nos meses de Fevereiro, Março, Julho e Setembro na estação de Quebedo (fig.4.5 E)). A estação de Quebedo continua a registar a média mensal da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevada ao longo de praticamente todos os meses do ano (fig.4.10 D)).

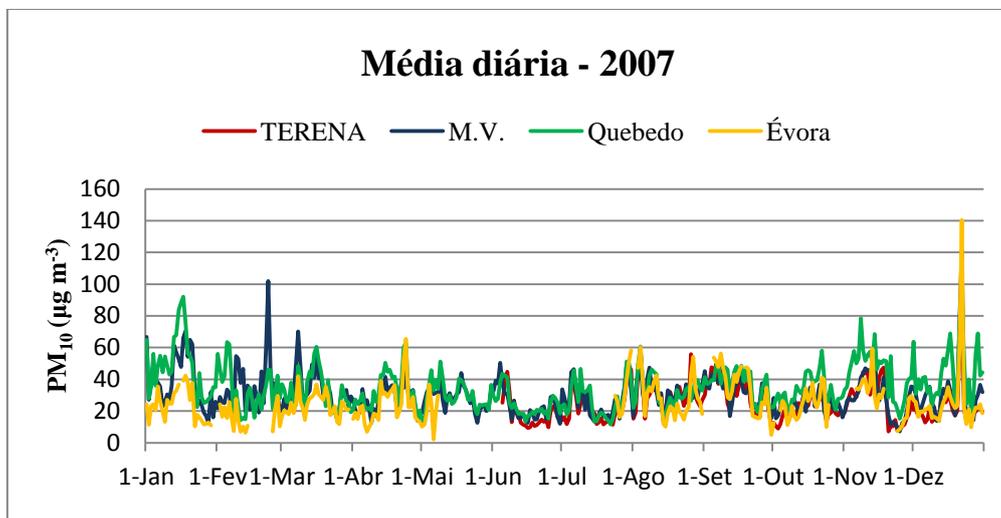
Durante o ano de 2009, o padrão de evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  é muito idêntico nas quatro estações, sendo que os valores mais elevados são registados na estação de Quebedo e de um modo geral os valores mais baixos de concentração mássica de  $PM_{10}$  são registados em Évora, apesar de ambas as estações estarem situadas em cidades e terem a mesma classificação (urbanas/tráfego). Recorde-se que a cidade de Évora tem menor número de habitantes (menos de 50% do número de habitantes de Setúbal) e por isso também possui menos tráfego automóvel, logo está sujeita a menor poluição resultante da combustão incompleta dos combustíveis fósseis. Além disso também não possui indústria com emissões de poluentes tal como Setúbal que para além da central termoelétrica ainda sofre a influência das emissões da indústria cimenteira localizada nas proximidades.



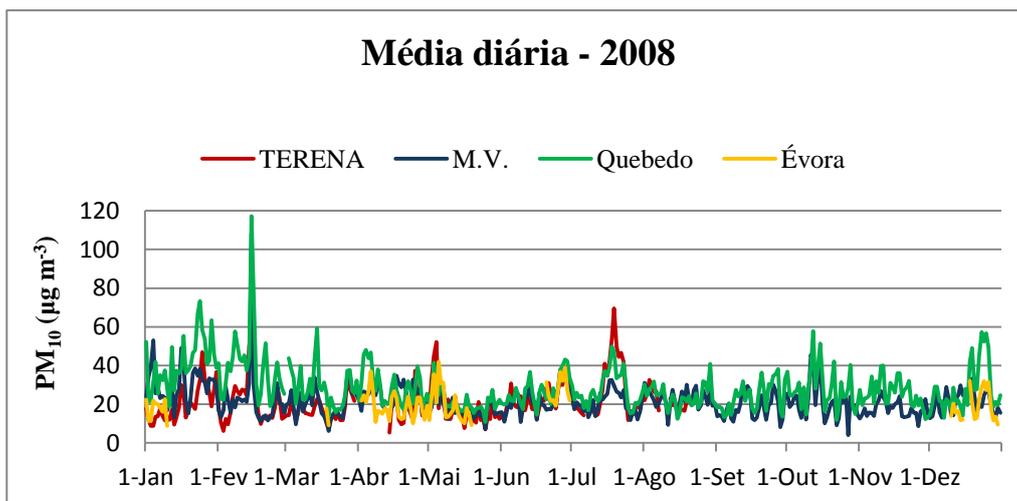
A)



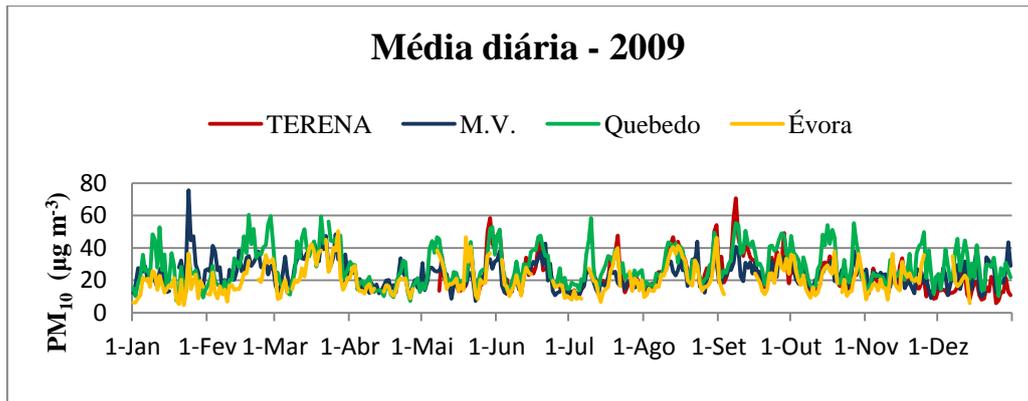
B)



C)



D)



E)

Fig.4.5 Evolução da média diária da concentração mássica de  $PM_{10}$  para cada uma das estações, ao longo do ano: A) 2005; B) 2006; C) 2007; D) 2008; E) 2009

### Evolução da média mensal, mediana e desvio padrão dos valores de $PM_{10}$

#### Ano de 2005

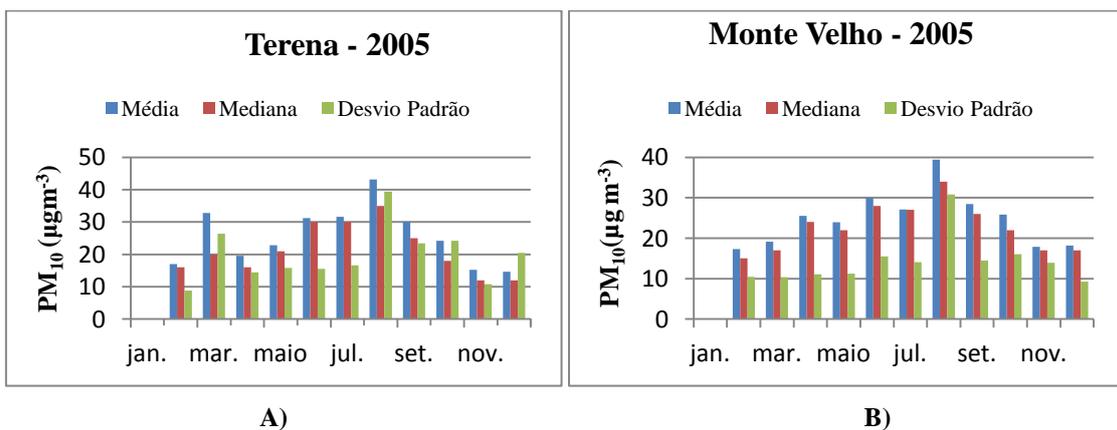
Os valores mais elevados das médias mensais da concentração mássica de  $PM_{10}$ , no ano de 2005 foram também registados na estação de Quebedo. As outras duas estações para as quais dispomos de registos de concentração mássica de  $PM_{10}$ , Terena e Monte Velho, apresentam valores bastante mais baixos do que Quebedo.

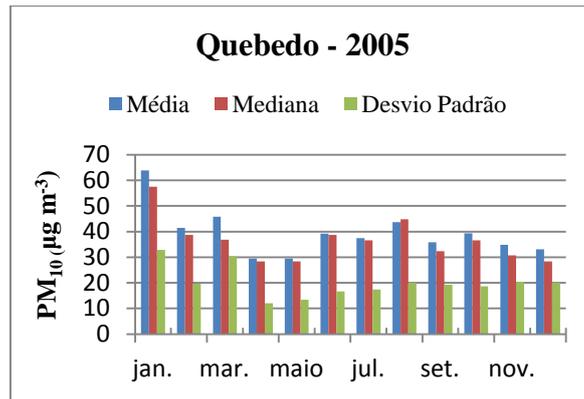
Em todas as estações se verifica que ao longo do ano de 2005 há um pico na concentração mássica de aerossóis no Verão, mais precisamente no mês de Agosto conforme pode ser observado na fig.4.6 A), B) e C). Em Quebedo podemos constatar que existe um outro pico mas localizado no mês de Janeiro. Relativamente às outras duas estações não podemos saber se haverá a mesma tendência por não dispormos de dados referentes ao mês de Janeiro. Verificamos que no mês de Março todas as estações apresentam valores da média mensal da concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados do que os referentes a Fevereiro. Esta situação pode ser explicada pela existência de um episódio de aerossóis que ocorreu nas estações de Quebedo e Terena que será abordado mais à frente na secção 4.3. Os valores elevados nos meses de Inverno em especial, Janeiro, na estação de Quebedo são devido ao tráfego urbano e ao funcionamento da central termoeléctrica que atingem o seu máximo nos meses de Inverno e como tal libertando para a atmosfera maior quantidade de material particulado, com um consequente aumento da concentração mássica de  $PM_{10}$ . Este aumento da concentração mássica de  $PM_{10}$  na atmosfera poderá também estar relacionado com a existência do

fenómeno da inversão do gradiente térmico que contribui para que as plumas invertam o sentido do seu movimento.

Na estação de Monte Velho, ao longo de todo o ano de 2005, a média não sofreu grandes variações, com exceção da registada no mês de Agosto. Neste mês registou-se uma média na concentração mássica de  $PM_{10}$  próximo de  $40 \mu g m^{-3}$ , conforme pode ser observado na fig.4.6 B). Este valor de concentração mássica de  $PM_{10}$  pode significar que estamos perante uma situação em que houve fogos e/ou episódio de poeiras provenientes do deserto, e material libertado pela central termoelétrica de Sines que possa ser deslocado para Monte Velho por ação dos ventos.

O desvio padrão em Terena apresenta valores mais elevados do que em Quebedo e Monte Velho, causado pela grande diferença entre os valores dos registos horários da concentração mássica de  $PM_{10}$ , naquela estação. Recorde-se que o valor máximo, horário, da concentração mássica de  $PM_{10}$  registado na estação de Terena, no ano de 2005, ( $365 \mu g m^{-3}$ ) é bem mais elevado do que os registados nas estações de Monte Velho ( $315 \mu g m^{-3}$ ) e de Quebedo ( $206,5 \mu g m^{-3}$ ). Com o valor máximo tão elevado e o valor mínimo muito baixo (zero), a dispersão dos registos é elevada e consequentemente o desvio padrão. O valor do desvio padrão mais elevado, verificado em Terena no ano de 2005 ( $39,4 \mu g m^{-3}$ ) é referente ao mês de Agosto, o mês em que foi registado o valor máximo do ano, o que comprova que a dispersão de registos condiciona o valor do desvio padrão. Assim quando a dispersão dos registos é menor, o desvio padrão também apresenta um valor mais baixo, como acontece em Quebedo.





C)

**Fig.4.6-** Média, mediana e desvio padrão mensal, da concentração mássica de PM<sub>10</sub> no ano de 2005 nas estações: A) Terena; B) Monte Velho; C) Quebedo

### Ano de 2006

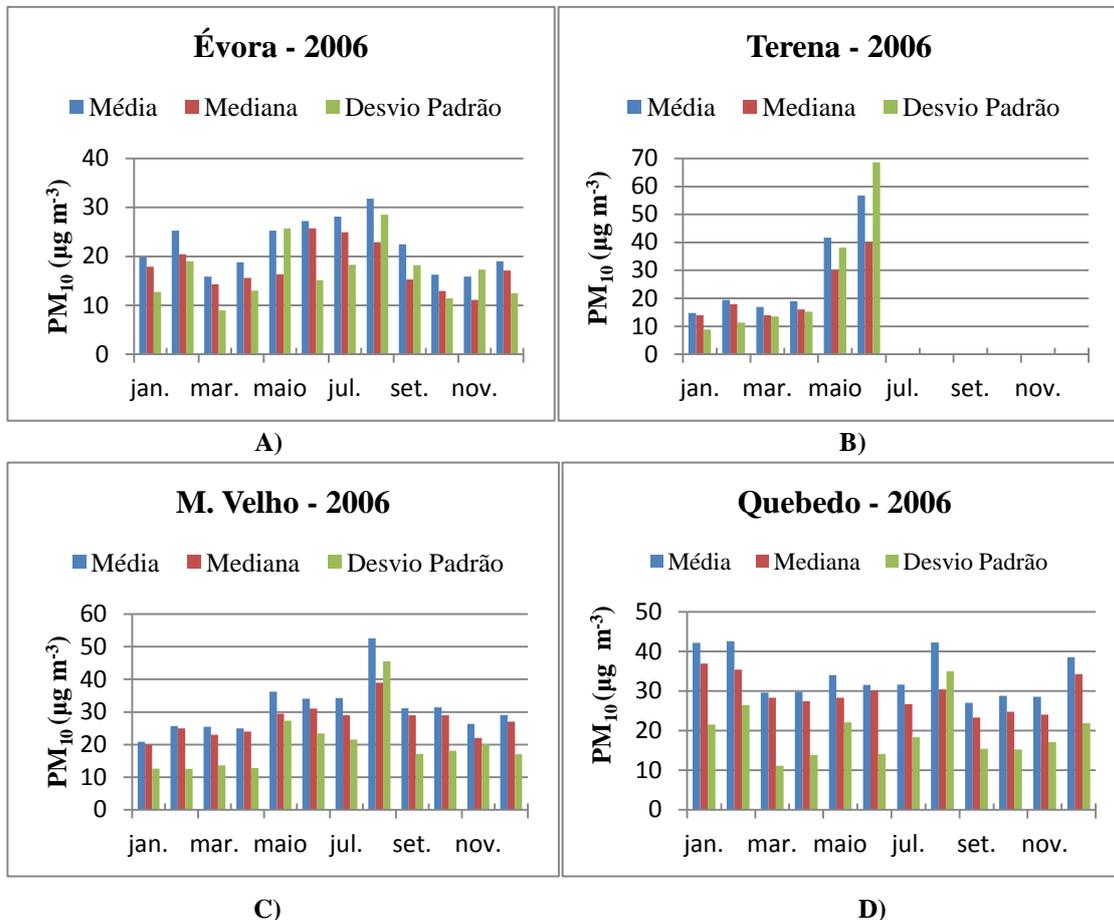
Através da análise efetuada no gráficos representados na fig.4.7 A) e B), referentes às médias mensais no ano de 2006, constatamos que o valor médio da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registadas em Terena são mais elevadas do que em Évora. Este facto deve-se aos valores de concentração mássica de PM<sub>10</sub> registados nos meses de Maio e Junho serem muito elevados naquela estação. Porém, nos meses de Janeiro e Fevereiro a média da concentração mássica de PM<sub>10</sub> em Évora é maior do que em Terena, provavelmente devido ao tráfego urbano, o que não acontece em Terena visto tratar-se de uma localidade rural e a estação de Terena ser classificada como sendo rural de fundo.

Na estação de Monte Velho, ao longo de todo o ano a média não sofreu grandes variações, com excepção da registada no mês de Agosto, conforme pode ser observado na fig.4.7C)). Neste mês registou-se uma média na concentração mássica de PM<sub>10</sub> superior a 50 µg m<sup>-3</sup>, o Valor Limite Diário, VLD. A concentração mássica média para aquele mês foi de 52,53 µg m<sup>-3</sup>. Este valor tão elevado leva-nos a concluir que se trata de uma situação em que houve fogos e/ou episódio de poeiras provenientes do deserto, e material libertado pela central termoeléctrica de Sines que possa ser deslocado para Monte Velho por ação dos ventos.

Na estação de Quebedo (fig.4.7 D)), também se registaram as médias mensais da concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais elevadas nos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, devido ao tráfego urbano e ao funcionamento da central termoeléctrica que atingem o seu máximo nos meses de Inverno e como tal libertando para a atmosfera maior quantidade de material particulado, com um conseqüente aumento da

concentração mássica de  $PM_{10}$ . Este aumento da concentração mássica de  $PM_{10}$  na atmosfera está também relacionado com o fenómeno da inversão do gradiente térmico o que contribui para que as plumas invertam o sentido do seu movimento.

À semelhança do que aconteceu em 2005, também em 2006, o desvio padrão em Terena apresentou o valor mais elevado comparativamente a Quebedo, Évora e Monte Velho. O valor do desvio padrão mais elevado, verificado em Terena no ano de 2006 ( $68,7 \mu\text{g m}^{-3}$ ) é referente ao mês de Junho, o mês em que foi registado o valor máximo do ano ( $640 \mu\text{g m}^{-3}$ ), o que demonstra que a dispersão de registos condiciona o valor do desvio padrão. O valor de concentração mássica de  $PM_{10}$ , de  $640 \mu\text{g m}^{-3}$  excepcionalmente elevado e totalmente diferente do que foi observado nas outras estações foi sem dúvida causado por um evento local e por isso registado apenas em Terena. Como referido no início deste capítulo, aquele valor deveu-se sobretudo à ocorrência de fogos florestais nas proximidades, ou eventualmente em alguma queimada ou fogos, que poderão não ter sido declarados/registados. Este valor máximo tão elevado contribuiu para que o desvio padrão global seja mais elevado na estação de Terena, como já anteriormente referido.



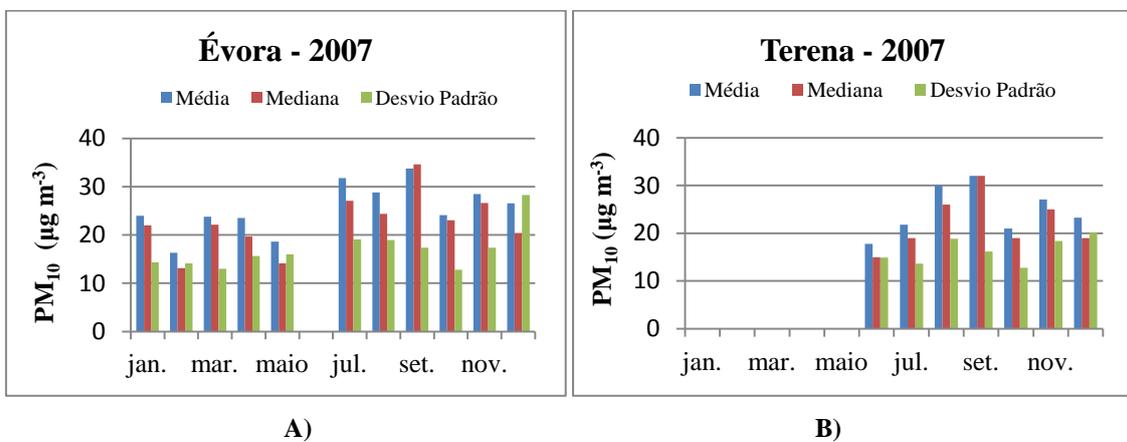
**Fig.4.7-** Média, mediana e desvio padrão mensal, da concentração mássica de  $PM_{10}$  no ano de 2006 nas estações: A) Évora; B) Terena; C) Monte Velho; D) Quebedo

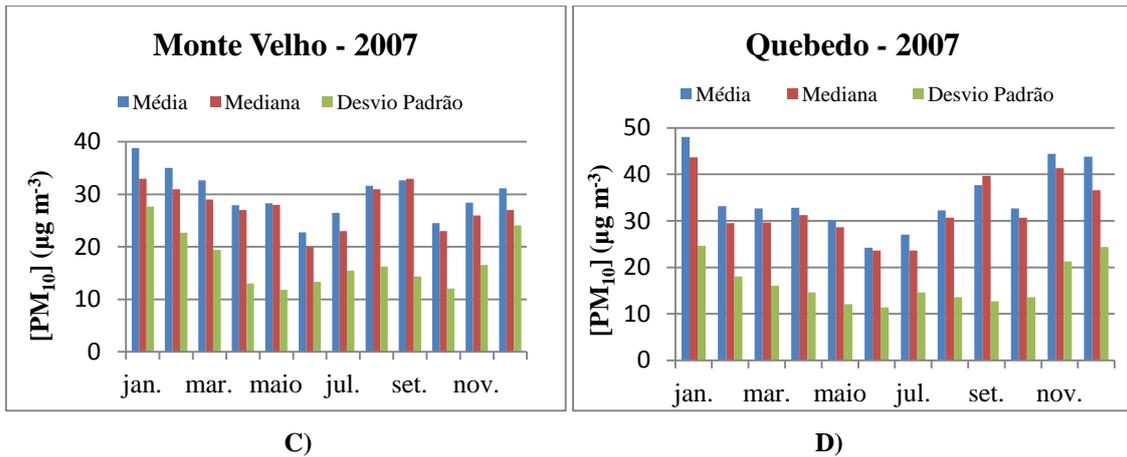
**Ano de 2007**

Analisando os gráficos (fig.4.8 A) e B)) constatamos que os valores médios mensais da concentração mássica de  $PM_{10}$  do ano de 2007, relativos a Terena são ligeiramente mais baixos do que os referentes a Évora, exceptua-se o mês de Agosto. Os valores registados no mês de Janeiro em Monte Velho são superiores aos registados nos restantes meses ao longo do ano conforme se pode observar na fig. 4.8 C).

As médias mensais da concentração mássica de  $PM_{10}$  na estação de Quebedo, relativas ao ano de 2007 (fig.4.8 D), continuam a apresentar os valores mais elevados face aos verificados nas outras três estações.

No ano de 2007, o desvio padrão apresentou o valor mais elevado na estação de Évora ( $28,3 \mu\text{g m}^{-3}$ ), no mês de Dezembro, seguida da estação de Monte Velho, ( $27,7 \mu\text{g m}^{-3}$ ), no mês de Janeiro. O valor do desvio padrão mais elevado, verificado em Évora, no ano de 2007 é referente ao mês de Dezembro, o mês em que foi registado o valor máximo do ano ( $268,7 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Este valor tão elevado poderá estar relacionado com o aumento da utilização de lareiras, devido ao registo de temperaturas baixas. Situação idêntica se verificou na estação de Monte Velho, pois foi no mesmo mês em que foi registado o valor máximo do ano ( $257 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e o valor mais elevado do desvio padrão. Este valor tão elevado ( $257 \mu\text{g m}^{-3}$ ) está relacionado com uma situação de episódio de poluição que decorreu entre 17 e 21 de Janeiro, em Monte Velho que será tratada na secção 4.3. Mais uma vez se constata que a dispersão de registos condiciona o valor do desvio padrão.





**Fig.4.8-** Média, mediana e desvio padrão mensal, da concentração mássica de PM<sub>10</sub> no ano de 2007 nas estações: A) Évora; B) Terena; C) Monte Velho; D) Quebedo

### Ano de 2008

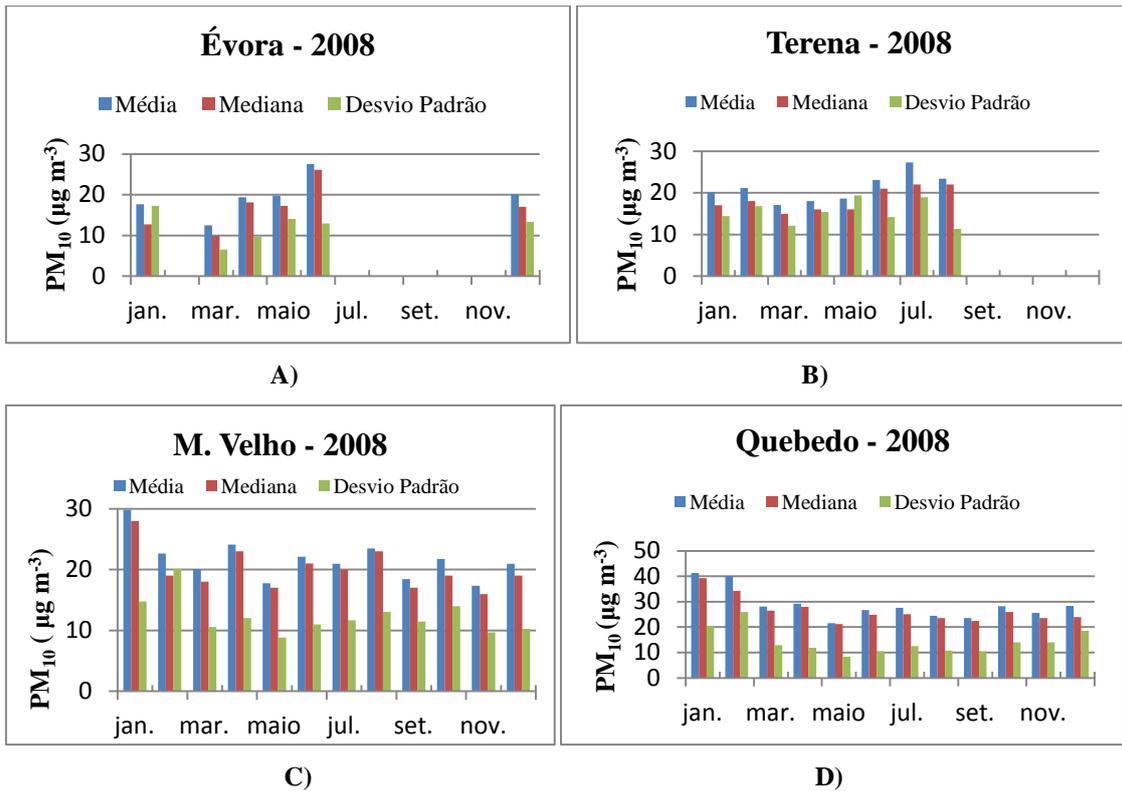
Analisando os gráficos elaborados (fig.4.9 A) B), C) e D)) com base nos registos disponíveis para cada uma das estações podemos concluir que é a estação de Quebedo que apresenta um valor médio mensal da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, mais elevado no ano de 2008.

Nas estações de Terena e Évora os valores médios mensais da concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais elevados foram registados no verão, mais especificamente nos meses de Julho e Junho respectivamente conforme pode ser observado na fig.4.9 A) e B). Refira-se que esta conclusão é muito limitativa devido às falhas de registos existentes nestas estações.

Com as estações de Monte Velho e de Quebedo passa-se algo diferente, constatamos que as médias mais elevadas se verificaram em meses de Inverno como se pode observar na fig. fig.4.9 C) e D).

A estação de Monte Velho, que apresenta registos de concentração mássica de PM<sub>10</sub>, referente a todo o ano tem sempre um valor médio mensal bastante inferior à estação de Quebedo. Esta situação era espectável atendendo às características de cada uma das estações.

O valor do desvio padrão mais elevado, no ano de 2008, foi registado na estação de Quebedo (26,0 µg m<sup>-3</sup>), no mês de Fevereiro. Este valor do desvio padrão deve-se ao facto de ter sido naquele mês em que se registou o valor mais elevado da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, (198,2 µg m<sup>-3</sup>), o que contribuiu para uma maior dispersão dos registos.



**Fig.4.9-** Média, mediana e desvio padrão mensal, da concentração mássica de PM<sub>10</sub> no ano de 2008 nas estações: A) Évora; B) Terena; C) Monte Velho; D) Quebedo

### Ano de 2009

Analisando os gráficos elaborados (fig.4.10 A) B), C) e D)) com base nos registos disponíveis para cada uma das estações, mais uma vez, podemos concluir que é a estação de Quebedo que apresenta um valor médio mensal da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, mais elevado no ano de 2009.

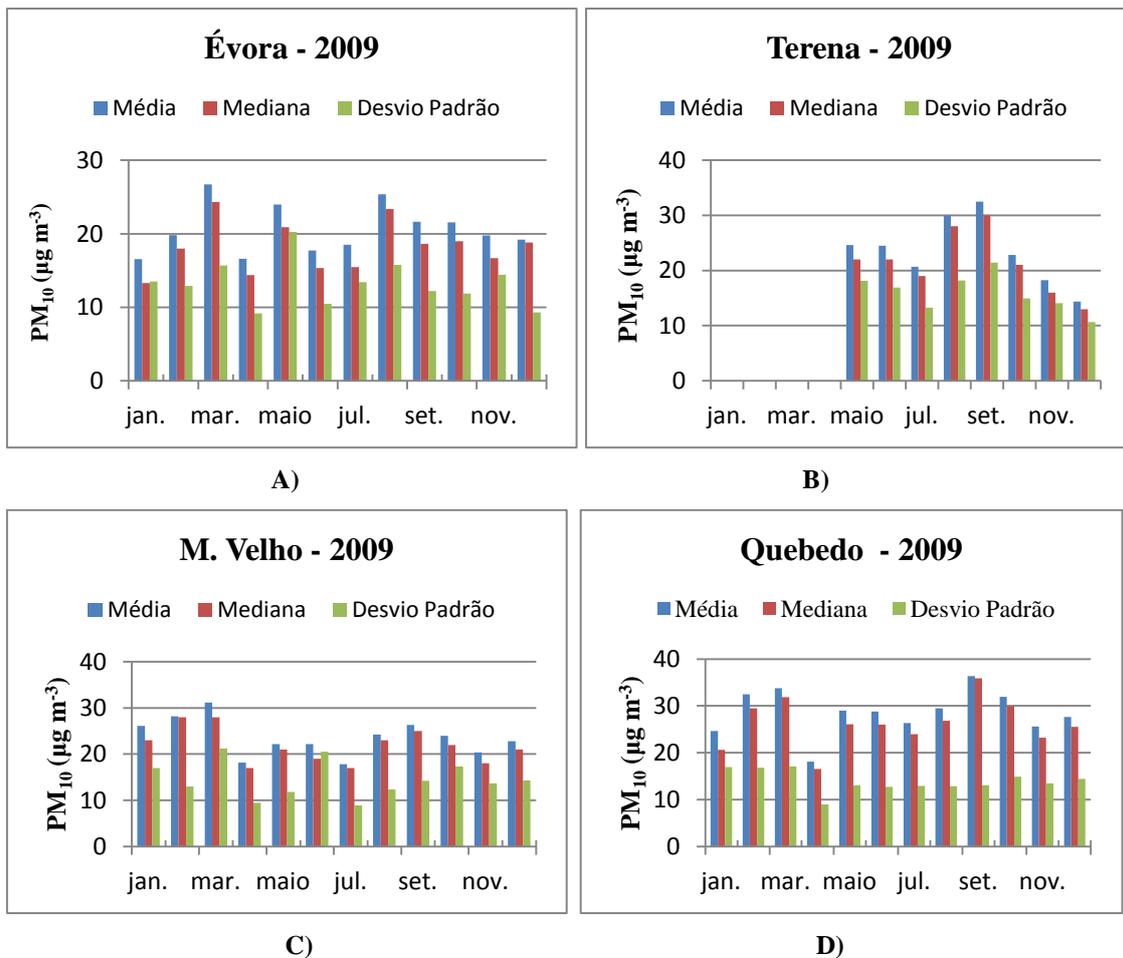
De um modo geral os valores médios mensais da concentração mássica de PM<sub>10</sub> relativos à estação de Terena são mais elevados do que os referentes à estação de Évora conforme pode ser observado na fig.4.10 A) e B). Refira-se que esta conclusão é muito limitativa devido às falhas de registos existentes nas referidas estações.

As estações de Monte Velho e de Quebedo apresentam um padrão de evolução dos valores médios mensais da concentração mássica de PM<sub>10</sub> muito idênticos, apenas diferindo na sua intensidade, como se pode observar na fig.4.10 C) e D).

No ano de 2009 o desvio padrão apresentou valores mais baixos do que os verificados nos outros anos a que respeita o presente estudo, consequência de uma maior homogeneidade dos valores dos registos. O valor do desvio padrão mais elevado no ano de 2009 foi registado na estação de Monte Velho ( $20,5 \mu\text{g m}^{-3}$ ), no mês de

Junho, seguido do registado em Évora ( $20,2 \mu\text{g m}^{-3}$ ), no mês de Maio. O registo da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  mais elevado em Monte Velho ocorreu também em Junho ( $314 \mu\text{g m}^{-3}$ ), enquanto o registado em Évora foi verificado também em Maio ( $319 \mu\text{g m}^{-3}$ ), tal como aconteceu com os valores do desvio padrão respectivos. O valor da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$ , de  $314 \mu\text{g m}^{-3}$  registado em Monte Velho, está relacionado com uma situação de incêndio agrícola que ocorreu relativamente próximo, no concelho de Santiago de Cacém. O valor  $319 \mu\text{g m}^{-3}$  registado em Évora está relacionado com uma situação de episódio de poluição que ocorreu nos dias 19 e 20 de maio nesta estação apenas (apresentado na secção 4.3) e em que os aerossóis são do tipo continental, marinho e local.

Novamente se constata que o valor do desvio padrão máximo respeita ao mês em que se verificou o registo da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  mais elevado.



**Fig.4.10-** Média, mediana e desvio padrão mensal, da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  no ano de 2009 nas estações: A) Évora; B) Terena; C) Monte Velho; D) Quebedo

## Variabilidade sazonal

Esta secção pretende analisar a variabilidade inter - sazonal das emissões em cada um dos locais; por outro lado analisar se para cada uma das estações do ano a qualidade do ar em termos de aerossóis  $PM_{10}$  é semelhante ou se os padrões são totalmente distintos.

No sentido de analisar a variação da concentração mássica de  $PM_{10}$  em cada uma das estações do ano, para os diferentes locais, no período a que respeita o presente estudo foram elaborados gráficos com a representação da média e do desvio padrão (em cada um dos anos e globalmente) para as quatro estações do ano, relativamente a cada um dos locais.

Os valores utilizados para o estudo da variabilidade sazonal foram os valores horários por considerar que assim os resultados obtidos representariam melhor os registos que foram efectuados.

### Estação de Évora

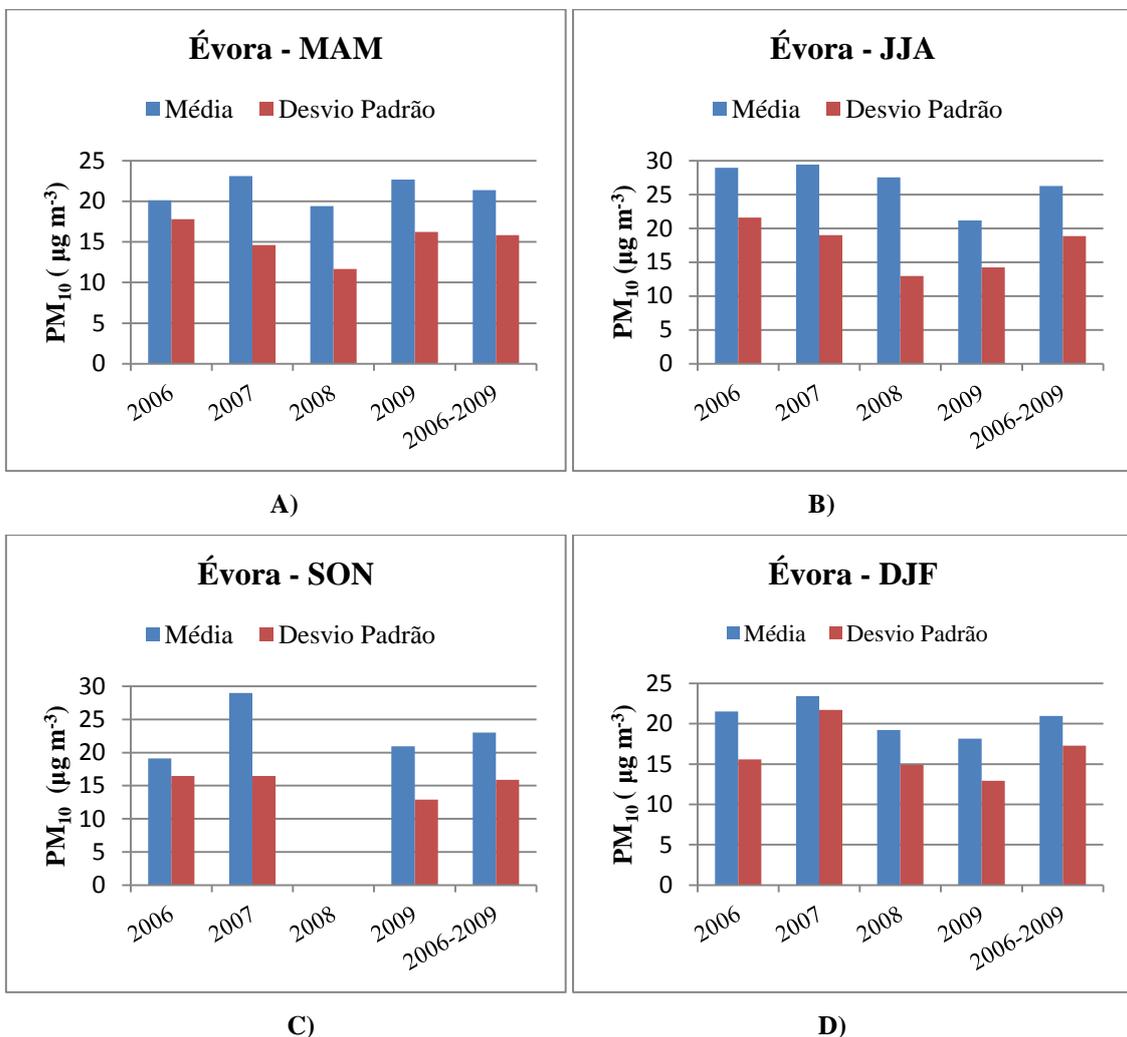
Analisando os gráficos (fig.4.11 A); B), C) e D) podemos concluir que na estação de Évora, a média sazonal da concentração mássica de  $PM_{10}$  é maior nos meses de Verão ou seja em Junho, Julho e Agosto, ultrapassando os  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  em três dos anos a que respeita este estudo. O verão de 2009 foi onde se verificou a média mais baixa, próximo de  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Nas outras estações do ano, os valores da média sazonal da concentração mássica de  $PM_{10}$  são muito idênticos entre si, a rondar os  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ , com excepção do Outono de 2007 em que atingiu o valor médio de  $29 \mu\text{g m}^{-3}$ . Neste ano de 2007, os meses de Outono vieram quentes, registando-se temperaturas mais altas do que é habitual conforme se pode ver na fig. 3.1 A) (Capítulo 3, secção 3.1), condição propícia à existência de maior concentração de aerossóis. Na secção 4.3 irão ser apresentados dois episódios de aerossóis que se verificaram no mês de Setembro de 2007, nesta estação.

O desvio padrão, em qualquer uma das estações do ano, é mais alto do que o que seria desejável mas isso só nos leva a concluir que os valores da concentração mássica de aerossóis são muito variáveis, podem tomar valores bastante baixos mas também poderão tomar valores muito elevados. Tal situação é bastante compreensível atendendo

à frequente variabilidade de alguns dos factores que influenciam os mesmos, como é o caso da direcção e do valor da velocidade do vento, ou mesmo da temperatura e da humidade relativa do ar. De entre os factores acima referenciados os que têm maior peso na variabilidade da concentração mássica de aerossóis são a direcção e a intensidade do vento.

O valor mais baixo do desvio padrão nas estações da Primavera e do Verão no ano de 2008 é dos mais baixos devido aos valores da concentração mássica de aerossóis registados nessas estações serem mais homogéneos ou seja pertencem a um intervalo menor quando comparados com os dos outros anos.



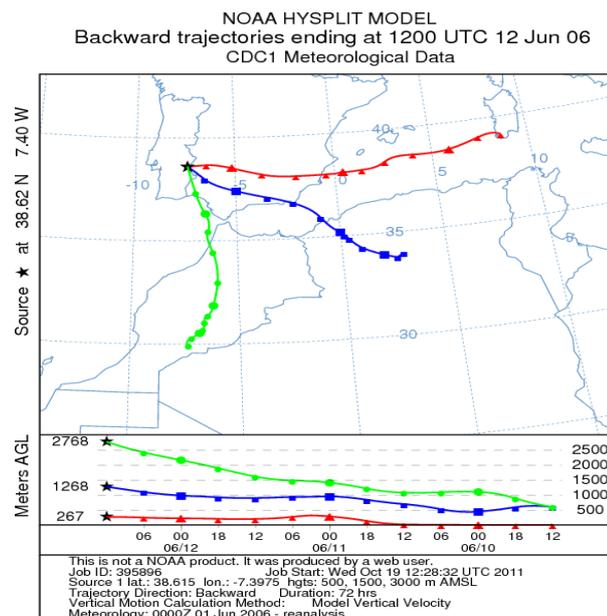
**Fig.4.11-** Média e desvio padrão sazonal, da concentração mássica de PM<sub>10</sub> na Estação de Évora: A) Primavera (MAM); B) Verão (JJA); C) Outono (SON); D) Inverno (DJF)

### **Estação de Terena**

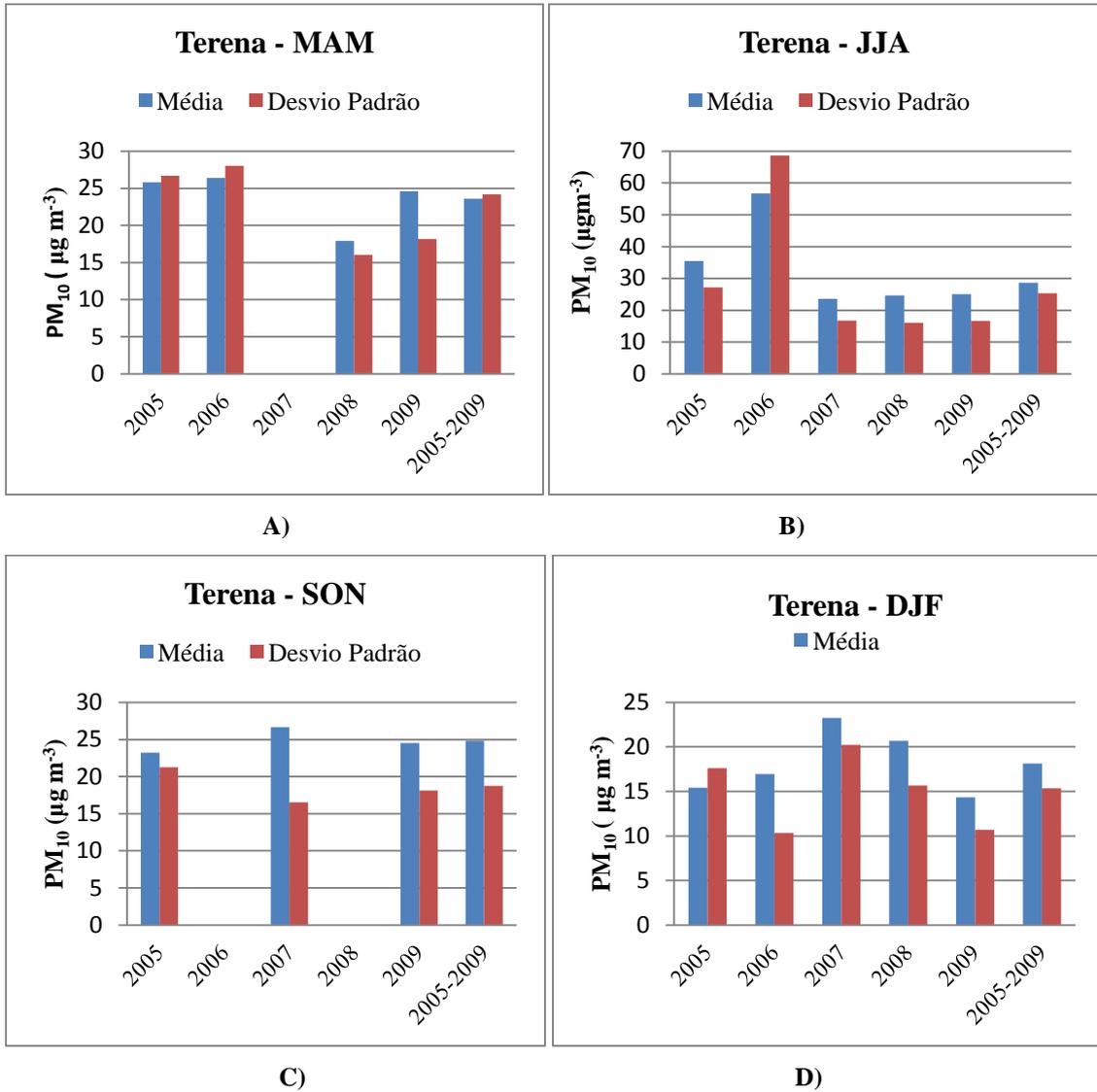
Analisando os gráficos (fig.4.13 A); B), C) e D) podemos concluir que na estação de Terena, a média sazonal da concentração mássica de  $PM_{10}$  é maior nos anos de 2005 e 2006, nos meses de Verão e nos meses de Primavera. Os valores médios da concentração mássica de aerossóis são menores nos meses de Inverno em todos os anos em que dispomos de registos e nos meses de Primavera do ano de 2008. Como já referido anteriormente, no ano de 2007 existe muitas falhas nos registos de Terena o que de certo modo compromete a análise que se pretende fazer. Talvez por esse facto, a média da concentração mássica de  $PM_{10}$  foi maior nos meses de Outono e de Inverno, algo que vem contra o que se verificou nos outros anos do estudo. Durante os meses de Outono de dois anos (2006 e 2008) não foram efectuados quaisquer registos da concentração mássica de aerossóis. Em Terena, foi na estação do Outono que a concentração mássica sofreu menor variação ao longo dos anos. O Inverno é a estação do ano onde se verifica uma menor concentração mássica de aerossóis. Na realidade durante o ano de 2009, nas estações do Outono e do Inverno, o valor da temperatura média foi de um modo geral, ligeiramente superior à registada nos outros anos do nosso estudo. A menor utilização de lareiras e a utilização mais criteriosa do automóvel principalmente em percursos pequenos devida à crise económica que se começou a fazer sentir em Portugal, poderá ter conduzido a uma menor formação e conseqüente menor emissão de aerossóis. Também durante este ano choveu consideravelmente nos meses de Outono e Inverno, o que contribuiu para a deposição húmida do material particulado e por isso o seu arrastamento da atmosfera, tornando-a mais limpa.

A estação de Terena, de certo modo, apresenta sempre valores mais elevados da média sazonal da concentração mássica de  $PM_{10}$  do que a estação de Évora, com excepção das estações: do Inverno de 2006, do Verão e do Outono de 2007, da Primavera e do Verão de 2008 e do Inverno de 2009. Estas conclusões apresentam algumas reservas atendendo ao facto de não dispormos de registos referentes à estação da Primavera do ano de 2007, e da estação do Outono do ano de 2006 e 2008 para Terena e não dispormos de registos da estação do Outono do ano de 2008 para Évora. Trata-se de uma zona interior e o meio é rural pelo que o tráfego automóvel é muito reduzido mas está situada na proximidade de uma zona onde se explora e transforma o mármore (Estremoz, Borba, Bencatel e Pardais) o que origina muito material particulado e que por acção dos ventos pode atingir Terena.

O desvio padrão apresenta em alguns casos valor superior ao da média, um valor muito superior ao que era espectável. Estes valores para o desvio padrão tão elevados evidenciam que os registos da concentração mássica são muito heterogéneos, uns são muito baixos e outros muito elevados. Tal situação pode ser justificada com a frequente variabilidade da direcção do vento. Na situação em que se registou uma média mais elevada de concentração mássica foi também na qual se registou um maior valor de desvio padrão bem como um maior afastamento do desvio padrão em relação à média. Esta situação deveu-se à ocorrência de vários episódios intensos, que serão tratados na secção 4.3. Foi neste período, Primavera e Verão do ano de 2006, que ocorreu um dos episódios de aerossóis (entre 25 de Maio e 13 de Junho) e por exemplo um dos valores horários registados no dia 12 de Junho de 2006 foi de  $640 \mu\text{g m}^{-3}$ . Este valor tão elevado condicionou o valor da média e consequentemente o desvio padrão. Este episódio é resultado essencialmente de aerossóis libertados por incêndios florestais que ocorreram nas proximidades de Terena. Analisando as retrotrajectórias com chegada a Terena às 12 h do dia 12 de Junho de 2006 (fig.4.12) podemos verificar que as mesmas tiveram origem sobre o mar Mediterrâneo a baixa altitude, prosseguindo em direcção ao sul de Espanha antes de chegar a Portugal. Assim chegaram a Terena, junto à superfície, aerossóis do deserto e muito provavelmente aerossóis resultantes de fogos florestais com origem nas proximidades. Pelo acima exposto os aerossóis registados em Terena embora maioritariamente resultantes de fogos florestais, também possuía uma mistura de aerossol marinho com continental.



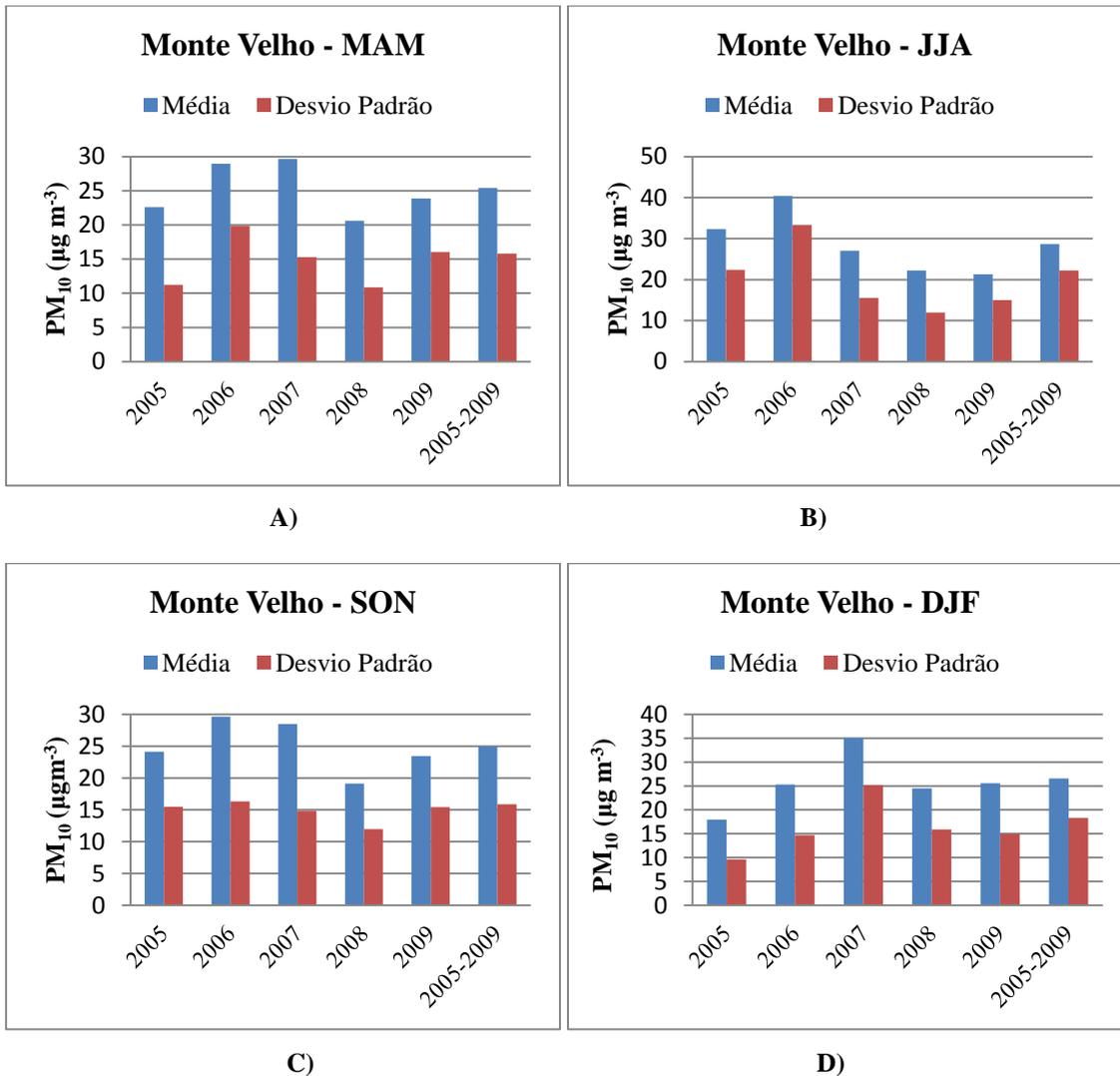
**Fig.4.12-** Retrotrajectórias de 72 h para a estação de Terena, com chegada às 12 h, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície



**Fig.4.13** - Média e desvio padrão sazonal, da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  na Estação de Terena: A) Primavera (MAM); B) Verão (JJA); C) Outono (SON); D) Inverno (DJF)

### Estação de Monte Velho

Analisando os gráficos (fig.4.14 A); B), C) e D) podemos concluir que na estação de Monte Velho, a média sazonal da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  nos anos de 2005 e 2006 é maior durante o Verão. Nos três anos seguintes (2007, 2008 e 2009) a situação inverteu-se e a estação do ano em que se verificou uma média sazonal maior foi na estação do Inverno. No ano de 2008 o menor valor médio ocorreu no Outono enquanto nos outros dois anos (2007 e 2009) ocorreu no Verão.



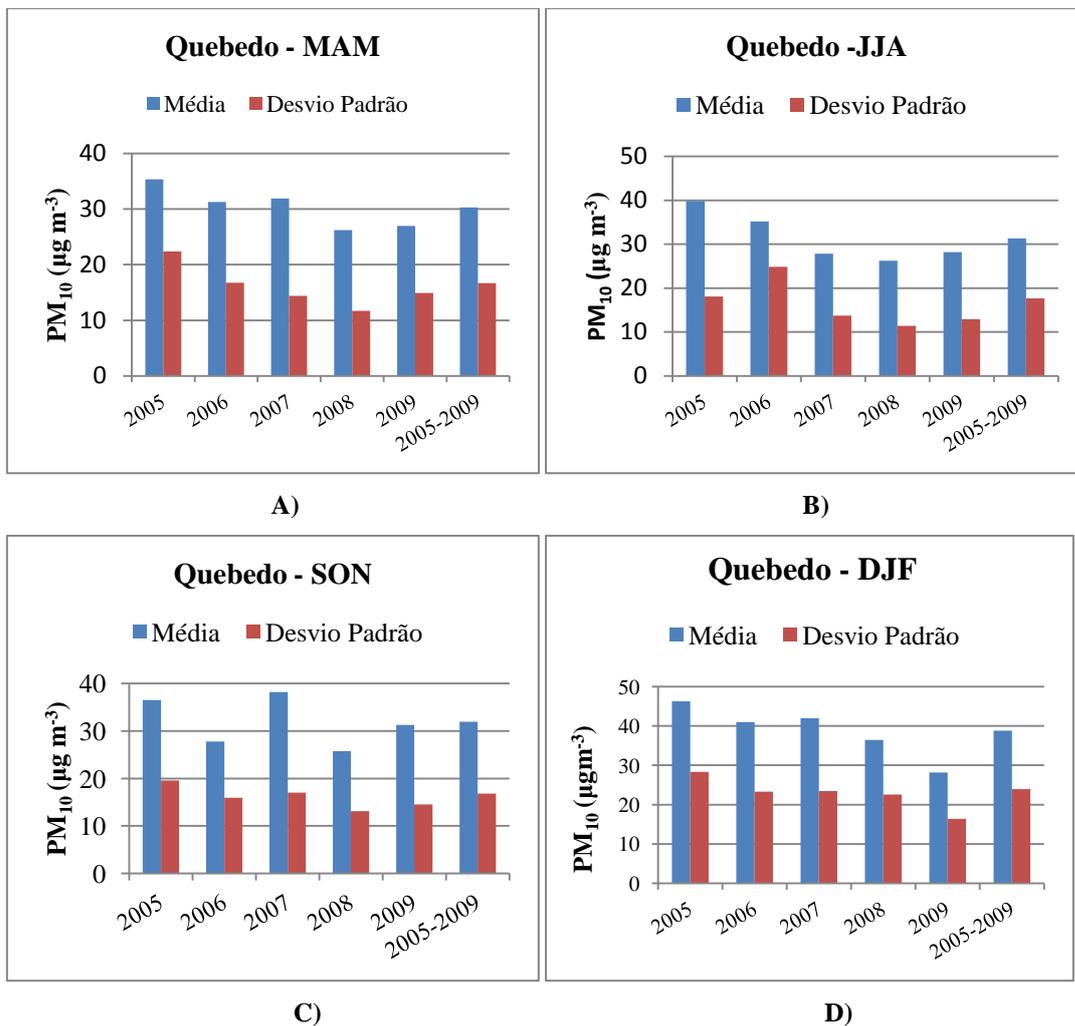
**Fig.4.14-** Média e desvio padrão sazonal, da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  na Estação de Monte Velho: **A)** Primavera (MAM); **B)** Verão (JJA); **C)** Outono (SON); **D)** Inverno (DJF)

### Estação de Quebedo

Analisando os gráficos (fig.4.15 A), B), C) e D) podemos concluir que na estação de Quebedo, a média sazonal da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  é maior durante o Inverno, seguida da que se obtém no Verão. A Primavera é a estação do ano onde se verifica uma menor concentração mássica de aerossóis. Na estação de Quebedo, o Inverno em que se verificou uma existência de menor concentração mássica de aerossóis foi o respeitante ao ano de 2009. Relativamente às outras estações do ano, o valor mais baixo de concentração mássica de aerossóis foi registado no ano de 2008, tal como já tinha acontecido para as estações de Monte Velho e Évora para a Primavera. Na realidade no Inverno de 2009, o valor da temperatura média foi ligeiramente superior à registada nos outros anos do nosso estudo na cidade de Setúbal conforme se pode

observar na fig.3.1 (Capítulo 3, secção 3.1), logo para o aquecimento dos lares e locais de trabalho era necessário menos energia o que de certo modo, permitiu à central termoeléctrica laborar sem ser na máxima potência e consequentemente libertar menos material particulado para a atmosfera. A utilização de lareiras também podia ser menor, conduzindo a uma menor formação e emissão de aerossóis.

O desvio padrão apresenta um valor considerável. Os valores do desvio padrão indiciam a existência de valores de concentração mássica de aerossóis que não são muito díspares.

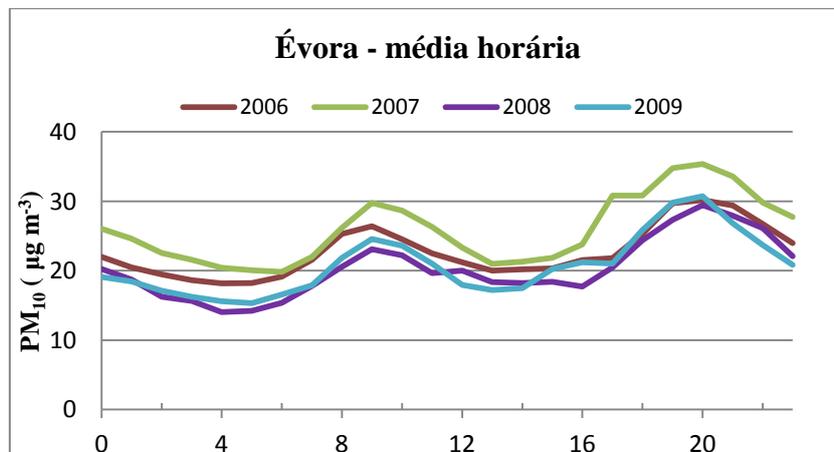


**Fig.4.15-** Média e desvio padrão sazonal, da concentração mássica de PM<sub>10</sub> na Estação de Quebedo: **A)** Primavera (MAM); **B)** Verão (JJA); **C)** Outono (SON); **D)** Inverno (DJF)

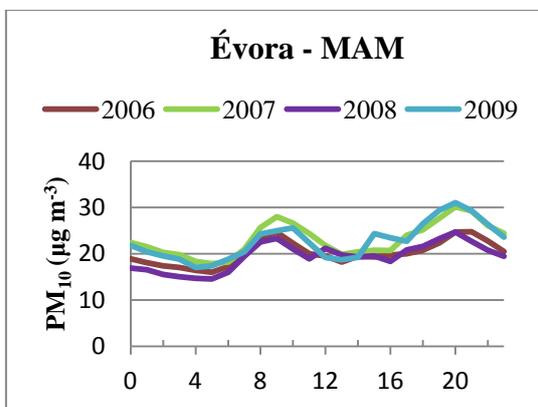
### Variação diária da concentração mássica em cada estação do ano

Com base nos valores horários da concentração mássica de  $PM_{10}$  foi calculado para cada um dos locais, para cada ano e para cada hora do dia, o valor médio horário da mesma, referente ao ano e a cada uma das estações do ano. Nas figuras 4.16 - 4.19 encontra-se representado a variação da concentração mássica média horária ao longo do dia para cada um dos locais.

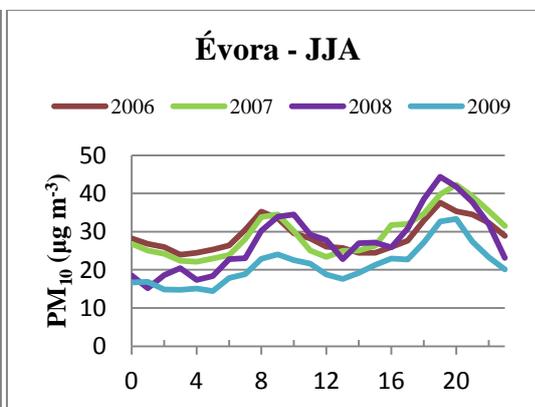
Analisando os gráficos da fig. 4.16, referente a Évora, podemos constatar que ao longo do dia, em Évora se verifica a existência de dois picos, um durante a manhã entre as nove e as onze horas e outro entre as 19 – 20 h. A ocorrência destes dois picos na cidade de Évora está relacionada com a maior intensidade de tráfego automóvel registados naquele horário da manhã e ao final do dia. O ano de 2007 foi o ano em que se verificaram valores de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados e a maior diferença com os outros anos é mais visível no Outono (fig. 4.16.D)). Os valores mínimos da concentração mássica de  $PM_{10}$  registaram-se entre as 5 e as 6 h da manhã e os valores mais elevados foram registados perto das 20 h.



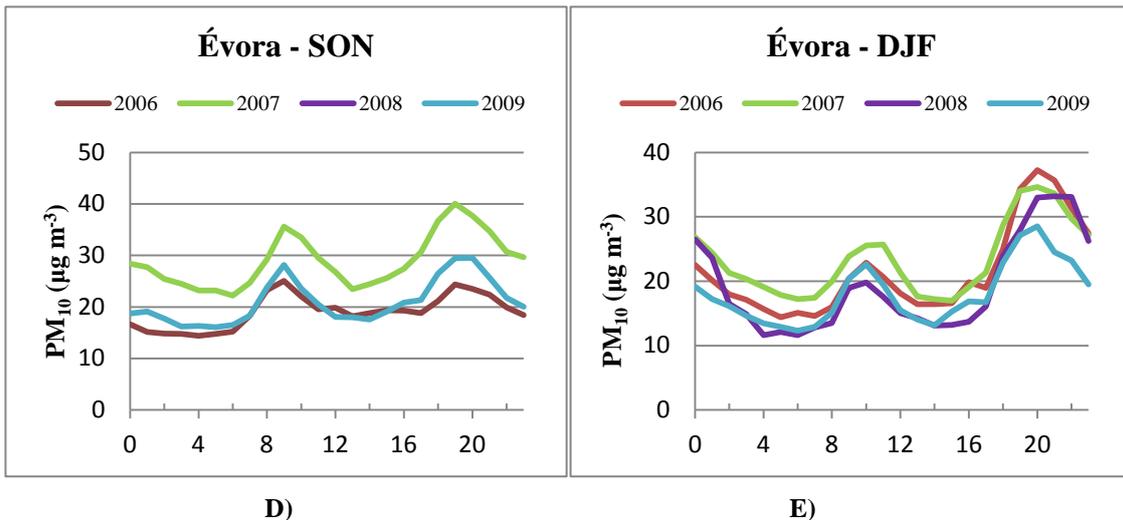
A)



B)



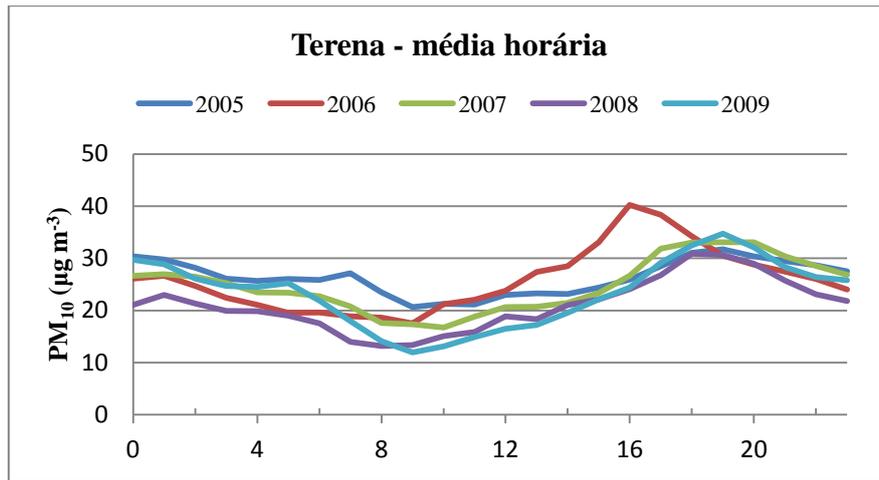
C)



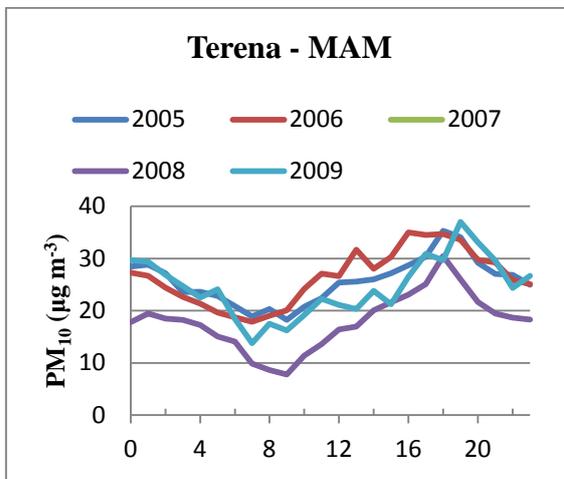
**Fig.4.16-** Variação da concentração mássica média horária ao longo do dia, em Évora, nos diferentes anos: A) anual; B) Primavera (MAM); C) Verão (JJA); D) Outono (SON); E) Inverno (DJF)

Analisando os gráficos da fig. 4.17, referente a Terena, podemos constatar que ao longo do dia, de um modo geral se verifica a existência apenas de um pico, durante a tarde (19 h – 20 h) com excepção do ano de 2006 em que se verifica um pico próximo das 16 h. Esta excepção resulta de uma situação de episódio ocorrido em Junho mais precisamente no dia 12 de Junho. O pico que se verifica ao final da tarde (19 h – 20 h) é mais evidente no Inverno embora seja visível também no Outono e na Primavera, devendo-se essencialmente ao funcionamento das lareiras ao final do dia depois das pessoas regressarem a casa, após o dia de trabalho. No Verão os ventos dominantes são predominantemente de Noroeste (Salgado, 1996), e com ventos de Noroeste, Terena sofre a influência dos poluentes provenientes dos concelhos limítrofes como Estremoz, Borba e Vila Viçosa (resultantes da exploração e transformação de mármore) além de poeiras, pólenes e restos de plantas resultantes dos trabalhos agrícolas. Serão estas as causas principais do pico na concentração mássica de PM<sub>10</sub>, que se faz sentir mais no final da tarde em Terena ( Primavera e Verão).

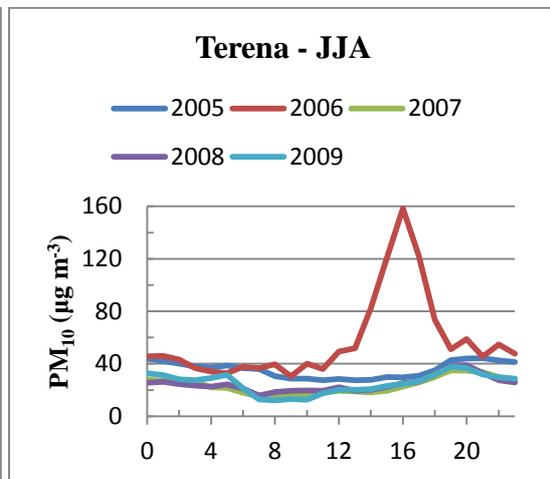
Os dados referentes ao Verão de 2006 apresentam algumas limitações pois respeitam apenas a dezasseis dias do mês de Junho. Neste mesmo ano dispomos apenas de registos até ao dia 16 de Junho. No dia 12 de Junho de 2006 às 16 h foi registada a concentração mássica de 640 µg m<sup>-3</sup>. O reduzido número de dias com registos na estação do Verão de 2006 e o valor tão elevado registado pelas 16 h no dia 12 de Junho desse ano contribuíram para que a média horária da estação do Verão, nesse mesmo ano, relativa às 16 h, seja tão elevada, conforme se pode observar na fig. 4.17 C). É no Verão que se verifica uma maior concentração mássica de PM<sub>10</sub>, acima de 30 µg m<sup>-3</sup>.



A)

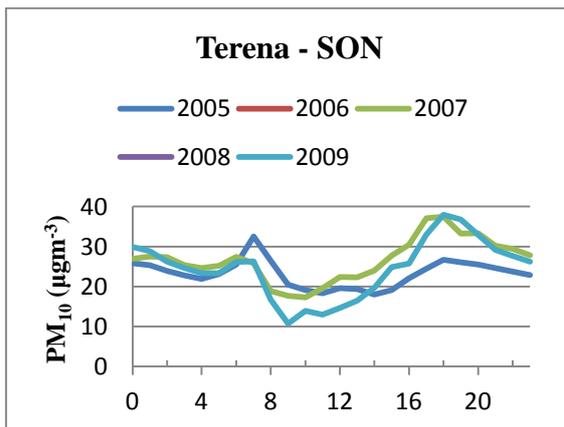


B)

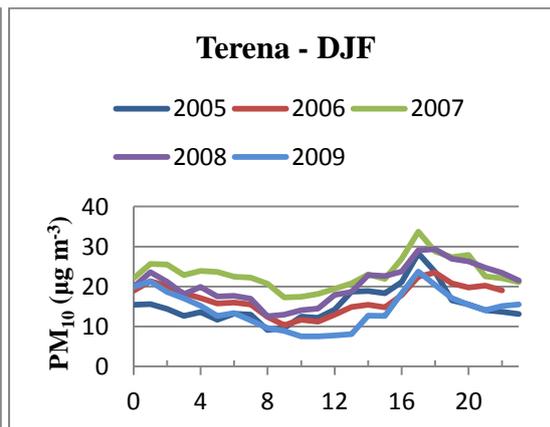


C)

**Nota:** Terena tem uma escala diferente devido aos valores elevados registados para a média da concentração mássica a partir do início da tarde no ano de 2006



D)

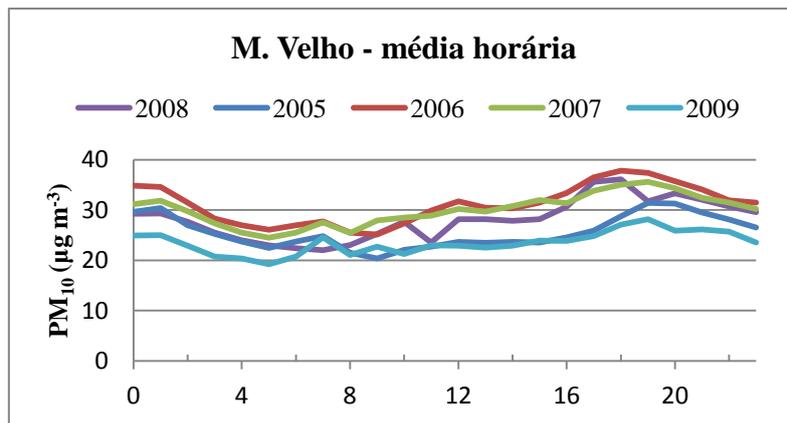


E)

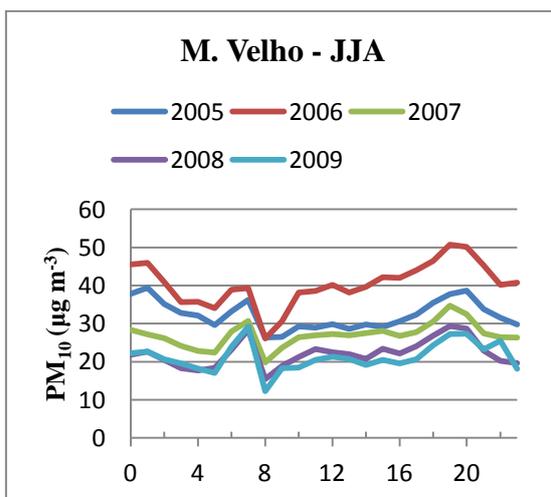
**Fig.4.17-** Variação da concentração mássica média horária ao longo do dia, em Terena, nos diferentes anos: **A)** anual; **B)** Primavera (MAM); **C)** Verão (JJA); **D)** Outono (SON); **E)** Inverno (DJF)

Analisando o gráfico da fig. 4.18, referente a Monte Velho, podemos constatar que ao longo do dia, de um modo geral se verifica a existência de dois picos, um

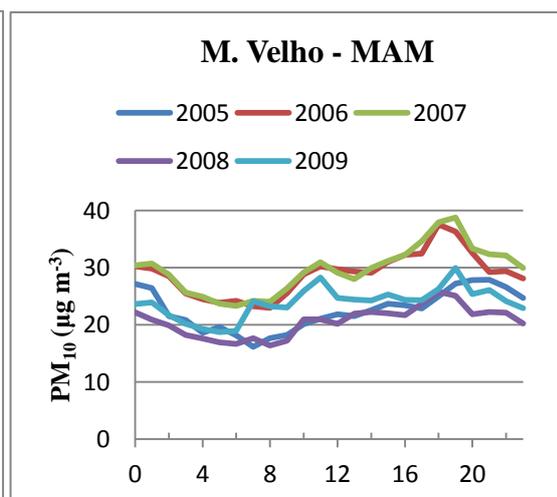
durante a manhã entre as dez e o meio-dia e outro durante a tarde cerca das 18 h. O ano de 2007 foi o ano que apresentou maior variabilidade com um padrão algo diferente do registado para os restantes anos. O valor mínimo da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registou-se às 8 h e a partir desta hora até cerca das 18 h verifica-se um aumento mas que não é linear. Após as 19 h os valores vão baixando ligeiramente e é depois da 1 h da manhã que as concentrações mássicas de PM<sub>10</sub> registam os valores mais baixos. O pico que se verifica ao final da tarde (cerca das 18 h) é mais evidente na Primavera e no Verão. Os ventos dominantes na Primavera e no Verão são predominantemente ventos de Noroeste (Salgado, 1996) e Monte Velho, com ventos de Noroeste sofre a influência dos poluentes provenientes das zonas de Lisboa e Setúbal além do aerossol marinho proveniente do oceano Atlântico. Serão estas as causas principais do pico registado, na concentração mássica de PM<sub>10</sub>, ao final da tarde na estação de Monte Velho.



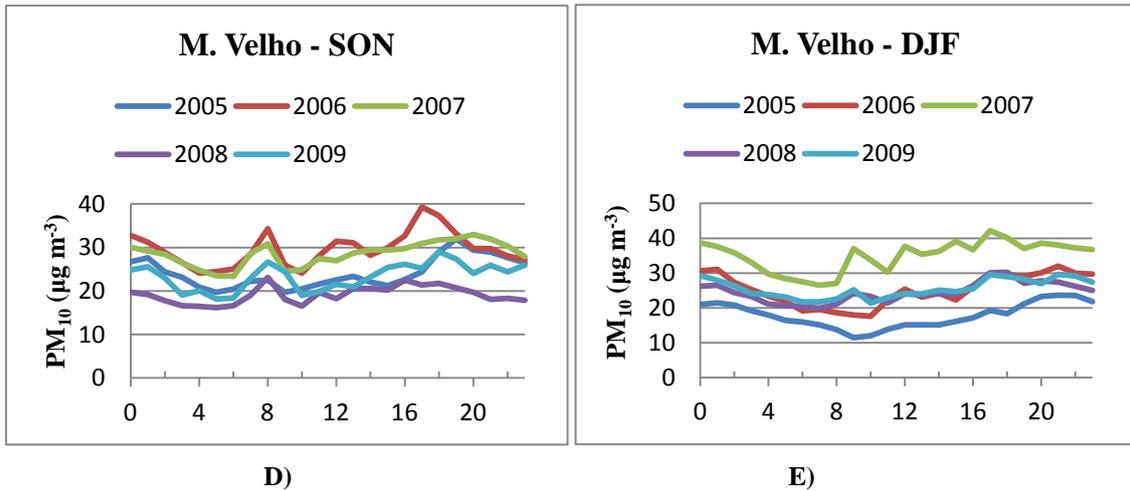
A)



B)



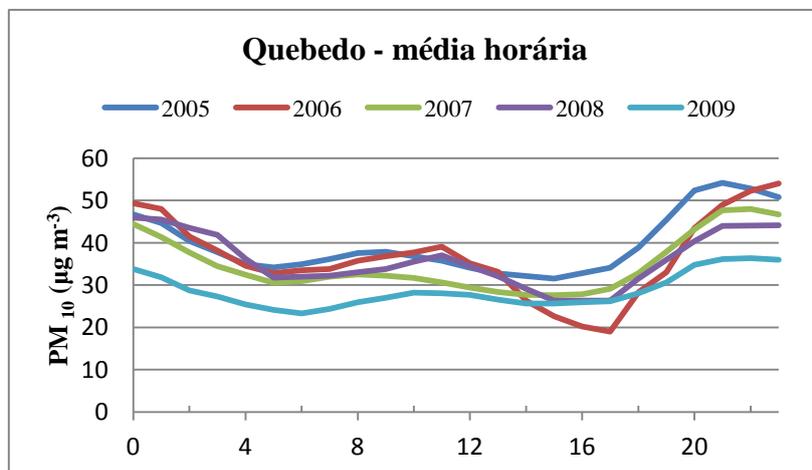
C)

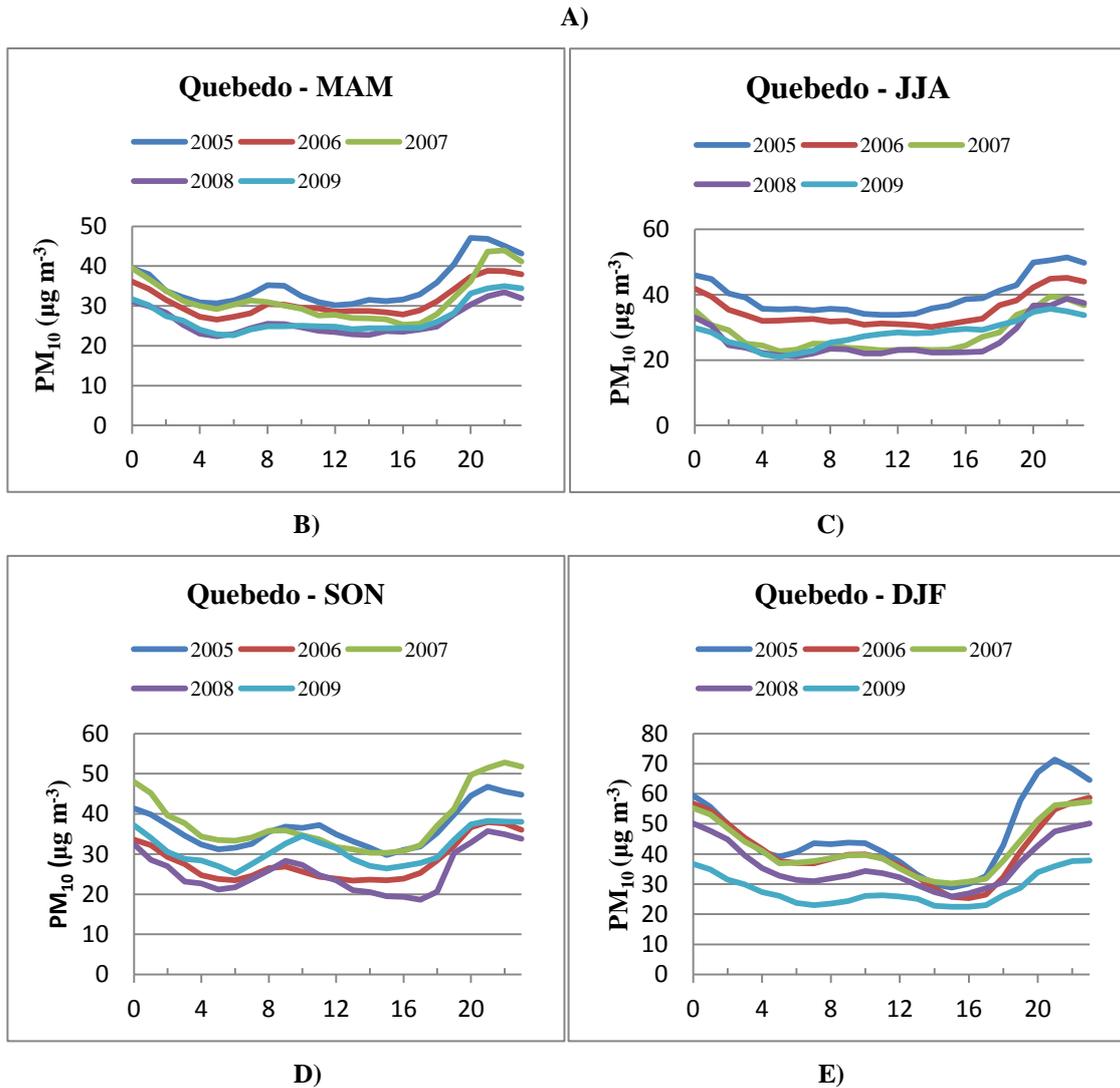


**Fig.4.18** - Variação da concentração mássica média horária ao longo do dia, em Monte Velho, nos diferentes anos: A) anual; B) Primavera (MAM); C) Verão (JJA); **D)** Outono (SON); **E)** Inverno (DJF)

Analisando o gráfico da fig. 4.19, referente a Quebedo, podemos constatar que ao longo do dia e para todo o ano se verifica a existência de dois picos nos valores da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, um durante a manhã pelas dez horas e outro pelas 20 h – 22 h. Este último pico é o mais extenso no tempo mas também é o mais intenso, atingindo valores médios acima de 40 µg m<sup>-3</sup> nos primeiros quatro anos a que respeita o presente estudo. O ano de 2009 foi o ano em que se verificaram valores de concentração mássica de PM<sub>10</sub> mais baixos em relação aos restantes anos, com maior evidência na estação do Inverno (fig. 4.19.E). Os valores mínimos da concentração mássica de PM<sub>10</sub> registaram-se entre as 4 e as 6 h da manhã e entre as 14 e as 16 h. Os valores mais elevados foram registados na estação de Inverno no ano de 2005 como já anteriormente mencionado (secção 4.1.3).

Os picos registados ao final do dia estão relacionados com o aumento do tráfego e a laboração em contínuo das centrais térmicas e das cimenteiras da cintura industrial de Lisboa e de Setúbal.





**Fig.4.19** - Variação da concentração mássica média horária ao longo do dia, em Quebedo, nos diferentes anos: A) anual; B) Primavera (MAM); C) Verão (JJA); D) Outono (SON); E) Inverno (DJF)

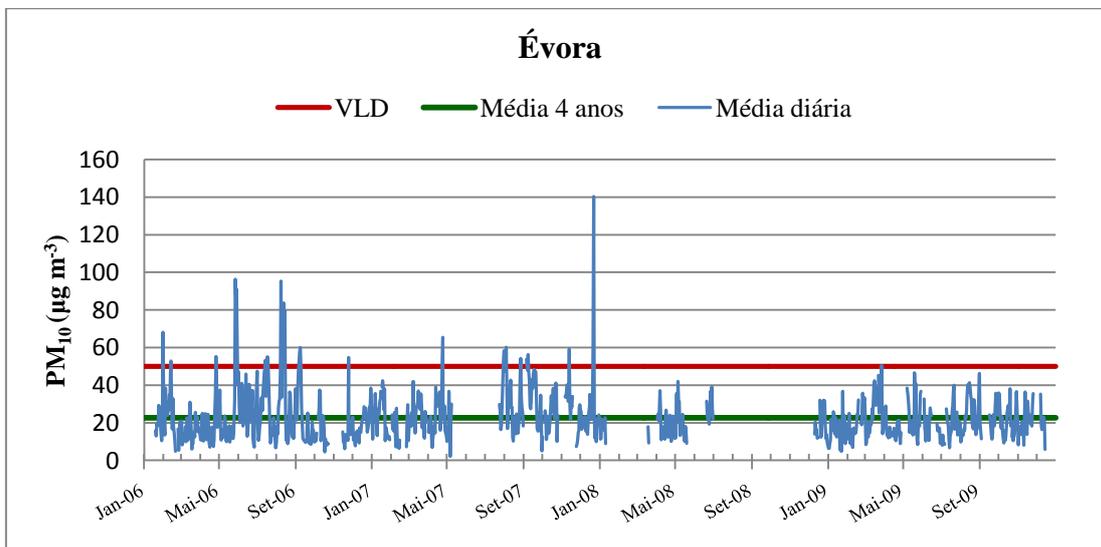
### Evolução temporal da concentração mássica média diária de $PM_{10}$

Esta secção pretende analisar a variabilidade temporal da concentração mássica de  $PM_{10}$  para cada uma das estações e identificar um possível padrão anual médio associado.

No sentido de analisar a evolução da concentração mássica de  $PM_{10}$  ao longo do tempo, para os diferentes locais, no período a que respeita o presente estudo foram elaborados gráficos com a representação da média diária e da média relativa ao período do presente estudo relativamente a cada uma das estações. Em cada um dos gráficos foi também representado o Valor Limite Diário da concentração mássica de  $PM_{10}$ .

Os valores utilizados para o estudo da evolução temporal da concentração mássica de  $PM_{10}$  foram os valores horários e a partir deles calculou-se o valor médio diário para posteriormente representar os gráficos que constam das fig.4.20 – 4.23.

Analisando a fig.4. 20 verifica-se a existência de “quase ciclos” com valores máximos nas diferentes estações do ano, dependendo do ano em causa. No ano de 2006 os picos mais altos ocorreram nos meses de Janeiro, Maio e Agosto; no ano de 2007, ocorreram nos meses de Agosto e Dezembro; no ano de 2008 ocorreram apenas no mês de Maio enquanto no ano de 2009 ocorreram nos meses de Março, Maio e Agosto. Face ao acima exposto podemos concluir que de um modo geral são registados valores médios diários muito altos de concentração mássica de aerossóis na estação de Évora, em meses de Primavera e Verão podendo acontecer ser apenas na Primavera ou Verão e Inverno. Os meses de Primavera, especialmente Março e Maio são os eleitos. Conforme pode ser observado pelo gráfico, em todas estas situações, se verifica um nítido afastamento dos valores médios diários (mais elevados) aí registados relativamente ao valor da média da concentração mássica de aerossóis do período a que respeita o presente estudo assim como do Valor Limite Diário (também representado no gráfico).

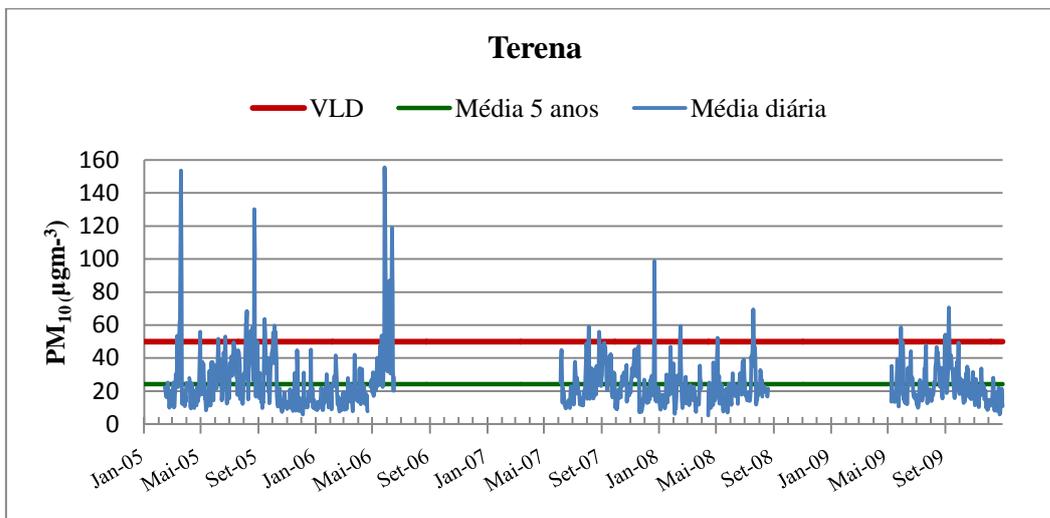


**Fig.4.20** - Variação da concentração mássica média diária, em Évora, entre Jan. de 2006 e Dez. de 2009, a média interanual e o VLD

Analisando o gráfico da fig.4. 21, referente à estação de Terena, verifica-se a existência de “ciclos” com valores máximos nas mesmas estações do ano, independentemente do ano em causa. Recorde-se que esta estação apresenta muitas falhas (também visíveis no gráfico) e por esse motivo as conclusões apresentadas têm

algumas reservas. Também por esse motivo durante o período em que se verificaram as falhas não podemos saber como decorreu a evolução temporal dos valores de concentração mássica de aerossóis.

Podemos concluir que de um modo geral são registados valores médios diários muito altos de concentração mássica de aerossóis na estação de Terena, em meses de Primavera, Verão e mesmo no Outono podendo acontecer ser apenas na Primavera ou ser no Verão e Inverno. Também na estação de Terena há uma grande tendência para os registos mais elevados ocorrerem no mês de Maio ou eventualmente em Março (este com menor frequência). Os meses de Verão em que se registaram médias diárias mais elevados são Julho e Agosto e na estação de Inverno, é o mês de Dezembro (ano de 2007). Conforme pode ser observado pelo gráfico, em todas estas situações se verifica um nítido afastamento dos valores médios diários (mais elevados) registados relativamente ao valor da média da concentração mássica de aerossóis do período a que respeita o presente estudo assim como do Valor Limite Diário.

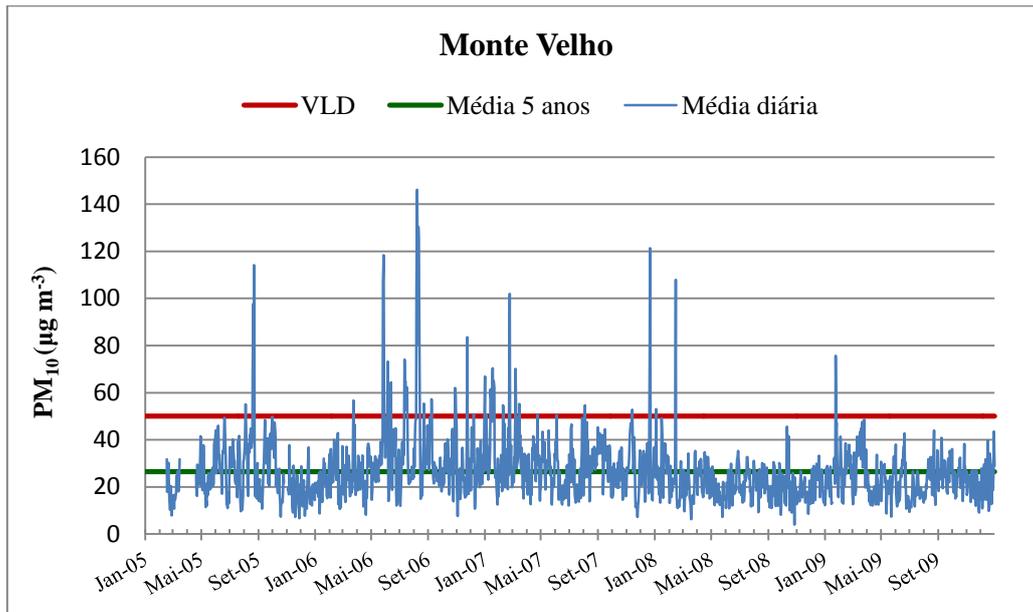


**Fig.4.21** - Variação da concentração mássica média diária, em Terena, entre Jan. de 2005 e Dez. de 2009, a média interanual e o VLD

Analisando o gráfico da fig. 4. 22, referente à estação de Monte Velho, verifica-se também a existência de “ciclos” com valores máximos nas mesmas estações do ano, independentemente do ano em causa.

Através da análise da fig.4.22 podemos concluir que de um modo geral são registados valores médios diários muito altos de concentração mássica de aerossóis na estação de Monte Velho, na Primavera, no Outono e Inverno, mais precisamente nos

meses de Maio, Setembro e Janeiro. Verifica-se que há uma grande tendência para os registos mais elevados ocorrerem no mês de Maio e /ou Setembro em todos os anos com excepção do ano de 2008 em que o valor mais elevado foi registado em Janeiro. Conforme pode ser observado pelo gráfico, todos os picos se encontram muito afastados dos valores médios diários (mais elevados) registados relativamente ao valor da média da concentração mássica de aerossóis do período a que respeita o presente estudo assim como do Valor Limite Diário.

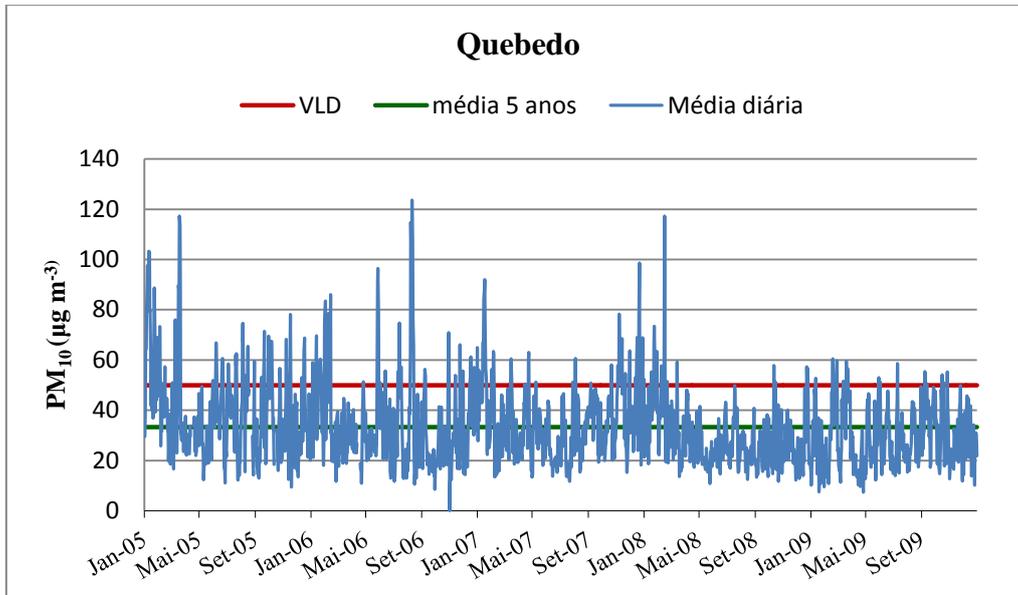


**Fig.4.22** -Variação da concentração mássica média diária, em Monte Velho, entre Jan. de 2005 e Dez. de 2009, a média interanual e o VLD

Analisando o gráfico da fig.4. 23, referente à estação de Quebedo, verifica-se a também a existência de “ciclos” com valores máximos nas mesmas estações do ano, independentemente do ano em causa.

Através da análise efectuada podemos concluir que de um modo geral são registados valores médios diários muito altos de concentração mássica de aerossóis na estação de Quebedo, no Inverno e no Outono, mais precisamente nos meses de Janeiro e Fevereiro e Setembro. Os valores da concentração mássica de aerossóis registados em Quebedo nos meses da Primavera, de um modo geral são os mais baixos em cada um dos anos a que respeita o presente estudo. Conforme pode ser observado pelo gráfico, todos os picos se encontram muito afastados dos valores médios diários (mais elevados) registados relativamente ao valor da média da concentração mássica de aerossóis do período a que respeita o presente estudo assim como do Valor Limite Diário. Quebedo é

sem dúvida a estação onde são registados os valores médios mais altos da concentração mássica de  $PM_{10}$  e também aquela que apresenta uma média mais elevada para o período a que respeita o presente estudo, e conseqüentemente um maior número de dias em que o Valor Limite Diário foi ultrapassado, quando comparada com as outras três estações.



**Fig.4.23-** Variação da concentração mássica média diária, em Quebedo, entre Jan. de 2005 e Dez. de 2009, a média interanual e o VLD

## Variabilidade interanual

Nesta secção pretende-se analisar a variabilidade da concentração mássica anual de  $PM_{10}$  para cada uma das estações, relativa ao período em estudo (2005 – 2009). Pretende-se ainda identificar se houve excedências ao Valor Limite Anual, cujo valor estipulado por lei em vigor nesse período é de  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Para a referida análise foi calculada a média anual, o desvio padrão referente a cada um dos anos e a todo o período, para cada uma das estações. Foi ainda calculado a soma da média com o desvio padrão ( $M + D.P.$ ) referente a cada um dos anos e a todo o período, para cada estação, com o propósito de servir de valor referência para identificação de episódios de poluição. Como já anteriormente apresentado, foi considerado episódio de poluição a persistência de dois ou mais dias com valores médios diários de concentração mássica de  $PM_{10}$  superiores à soma da média com o desvio padrão referente à totalidade do período em estudo da referida estação. Foram

ainda identificados os valores mínimo e máximo da concentração mássica diária de  $PM_{10}$  referente a cada ano, para cada uma das estações.

Com base nos cálculos efectuados (anteriormente mencionados) foi elaborado uma tabela (tabela 4.3) que agrega todos esses dados. Considerando o período comum a todas as estações, que corresponde ao período que vai desde 2006 a 2009 foram também efectuados os cálculos correspondentes e que constam igualmente na tabela 4.3.

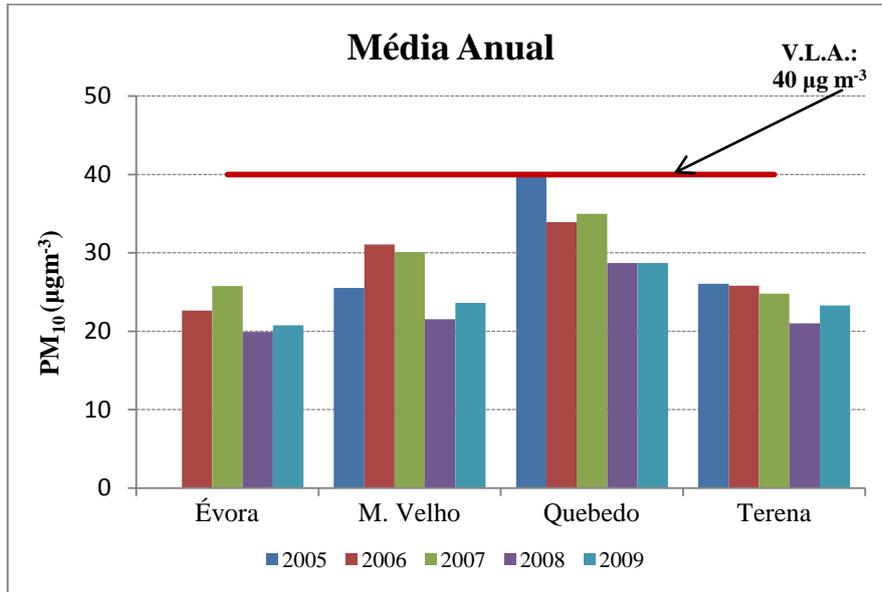
**Tabela 4.3-** Média, desvio padrão, média + desvio padrão, anual e global; valor máximo e mínimo diário da concentração mássica de  $PM_{10}$ , relativo a cada estação.

Concentração mássica $PM_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )								
Estação	Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2005-2009	2006-2009
Évora	Média		22,7	25,8	19,9	20,8		22,6
	D.P.		15,5	13,8	7,7	9,1		12,9
	M+ D.P.		38,1	39,6	27,6	29,9		35,5
	Máximo		96,3	140,3	41,9	50,5		140,3
	Mínimo		4,5	2,1	8,9	4,8		2,1
Terena	Média	26,1	25,8	24,8	21,0	23,3	24,3	23,6
	D.P.	18,3	21,9	12,0	10,2	10,7	15,3	13,9
	M+ D.P.	44,3	47,8	36,8	31,2	34,0	39,6	37,5
	Máximo	153,6	155,6	98,8	69,5	70,7	155,6	155,6
	Mínimo	5,8	7,5	7,2	5,3	5,9	5,3	5,3
M. Velho	Média	25,5	31,1	30,1	21,5	23,6	26,4	26,6
	D.P.	12,8	18,1	12,9	8,4	8,5	13,2	13,3
	M+ D.P.	38,4	49,2	43,0	30,0	32,1	39,6	39,8
	Máximo	114,2	146,2	121,4	107,9	75,7	146,2	146,2
	Mínimo	6,7	7,6	7,2	4,0	7,3	4,0	4,0
Quebedo	Média	39,8	33,9	35,0	28,7	28,7	33,2	31,6
	D.P.	18,5	17,8	14,3	11,8	11,7	15,6	14,4
	M+ D.P.	58,3	51,7	49,3	40,5	40,4	48,8	46,0
	Máximo	117,3	123,7	98,6	117,3	60,5	123,7	123,7
	Mínimo	9,4	8,5	11,6	10,9	7,3	7,3	7,3

Analisando o gráfico da fig. 4.24 podemos constatar que ao longo do período a que respeita o presente estudo, nenhuma das estações, em qualquer dos anos, ultrapassou o Valor Limite Anual estipulado por lei e de acordo com a legislação em vigor nesse período. Apenas a estação de Quebedo, no ano de 2005 registou uma média anual de concentração mássica de  $PM_{10}$  de  $39,82 \mu\text{g m}^{-3}$ , aproximadamente  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ . Nos outros anos a estação de Quebedo registou valores anuais de concentração mássica

de  $PM_{10}$  mais baixos, sendo que os dois últimos anos de estudo (2008 e 2009) os valores médios anuais foram inferiores a  $30 \mu g m^{-3}$ .

Relativamente às outras estações, em todas os anos se verificou uma média anual de concentração mássica de  $PM_{10}$  inferior a  $30 \mu g m^{-3}$ , com excepção da estação de Monte Velho nos anos de 2006 e 2007 onde se registou os valores anuais de  $31,1 \mu g m^{-3}$  e  $30,1 \mu g m^{-3}$ , respectivamente.



**Fig.4.24-** Concentração mássica média, anual, para cada uma das Estações, nos diferentes anos e o VLA

Com base nos valores médios diários da concentração mássica de  $PM_{10}$  foi calculado o valor médio e o desvio padrão assim como a soma da média com o desvio padrão e a diferença entre a média e o desvio padrão. Com os valores obtidos e o valor máximo calculado para cada uma das estações foi representado o respectivo gráfico (Fig.4. 25).

Analisando o gráfico da fig.4.25 verificamos que, de entre as quatro estações, Quebedo é aquela em que se verifica uma média interanual de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevada conforme já tinha sido referenciado anteriormente mas é também a estação onde o valor médio diário máximo é inferior comparativamente às outras três estações.

A estação onde se verifica uma média interanual de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais baixa é a estação de Évora, como já havia sido referido anteriormente.

Relativamente às outras duas estações, Monte Velho e Terena, apresenta um valor de uma média interanual de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais alto a estação de Monte Velho.

A estação onde se registou o valor médio diário máximo de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevado foi a estação de Terena. Este valor foi registado no dia 12 de Junho de 2006, resultante de um episódio de poluição, já referenciado anteriormente e em que o registo horário das 16 h desse dia foi de  $640 \mu g m^{-3}$ , contribuindo para que a média diária desse dia fosse muitíssimo elevado ( $155,6 \mu g m^{-3}$ ), conforme pode ser observado na tabela 4.3 e na fig. 4.25.

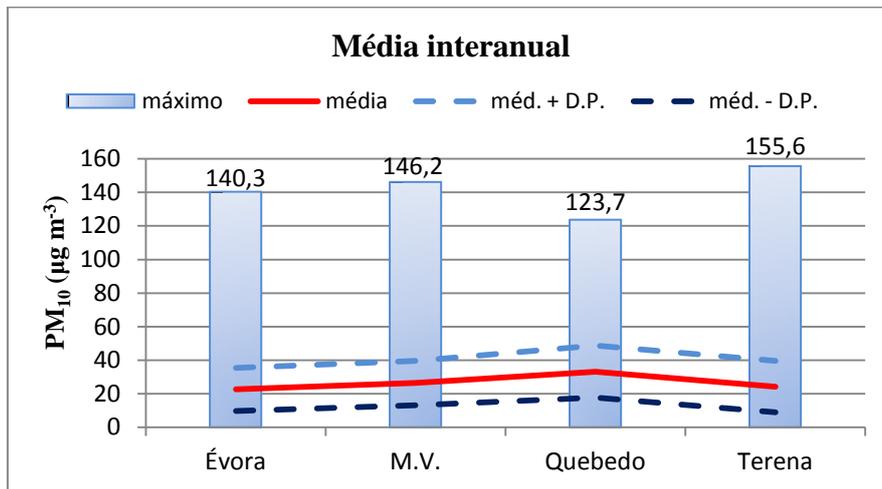


Fig.4.25 - Concentração mássica média, média + desvio padrão, média – desvio padrão e valor máximo registado, relativo a cada estação.

## 4.2- Caracterização espaço-temporal

**Variabilidade percentual do número de dias de excedências relativos ao Valor Limite Diário, de  $50 \mu g m^{-3}$  de  $PM_{10}$ .**

Relativamente ao período a que respeita o presente estudo e com base nos registos disponíveis em cada uma das estações, constatamos que foi em Quebedo que se verificou uma maior número de dias com a concentração mássica média superior a  $50 \mu g m^{-3}$ , Valor Limite Diário, estipulado e que não deve ser excedido mais do que 35 dias por ano. Segue-se a estação de Monte Velho e Terena e por fim encontramos Évora.

Recorde-se que as estações de Terena e Évora apresentam falhas consideráveis nos registos da concentração mássica média pelo que estas conclusões apresentam algumas reservas.

Pela análise da tabela 4.4, podemos constatar que a estação de Quebedo ultrapassou o número limite de dias permitido por lei com a concentração mássica média superior a  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , Valor Limite Diário, estipulado (e que não deve ser excedido mais do que 35 dias por ano), nos anos de 2005, 2006 e 2007. Foi nestes anos que se verificou o valor da média anual da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  mais elevada, conforme referido anteriormente.

**Tabela 4.4-** Excedências ao Valor Limite Diário

Estação	Nº de dias com $c_m(\text{PM}_{10}) > 50 \mu\text{g m}^{-3}$					
	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Évora		20	12	0	1	33
Monte Velho	5	29	21	2	1	58
Quebedo	80	63	52	18	18	231
Terena	24	15	4	5	5	53

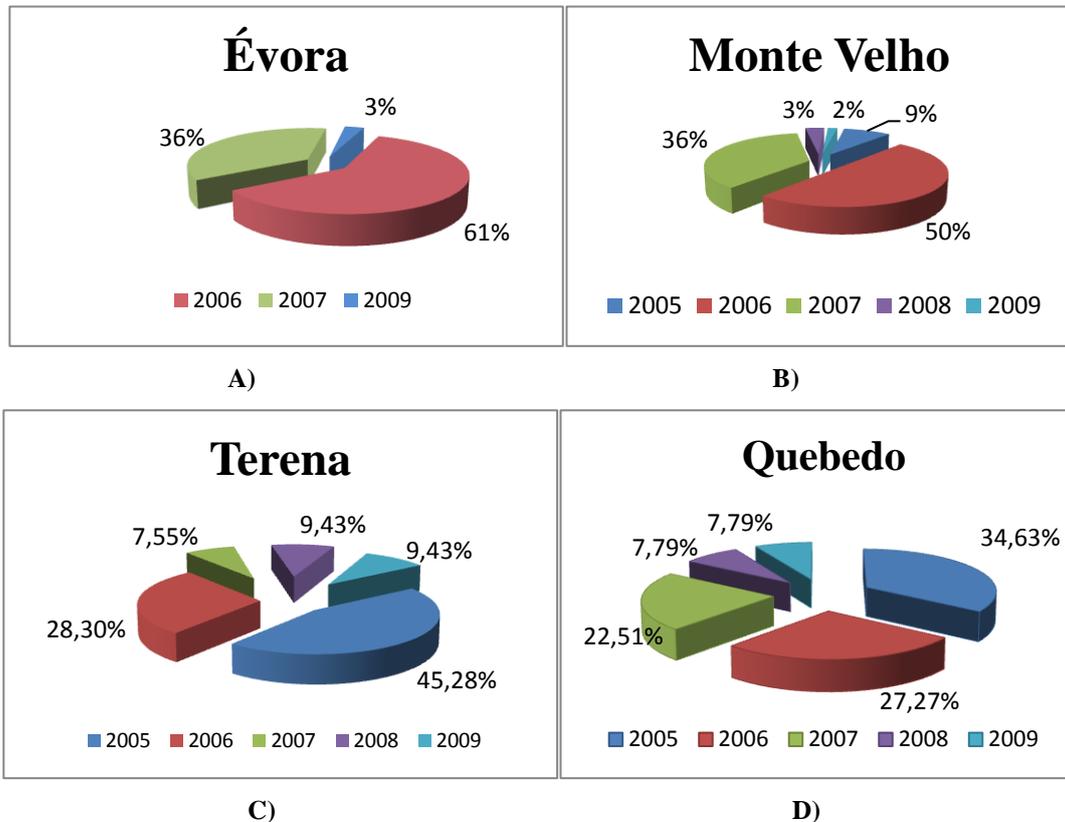
Com base no número de dias em que se verificaram excedências ao Valor Limite Diário em cada um dos anos e para todo o período a que respeita o presente estudo, para cada uma das estações, foi representado o gráfico da figura 4.26.

Na fig. 4.26, o gráfico relativo a cada uma das estações foi representado considerando o número total de dias com excedências (ocorrido no período do estudo, em cada estação) correspondente a 100% e depois foi calculado a percentagem de dias com excedências em cada um dos anos.

Através da análise da fig.4.26, podemos constatar que Quebedo foi a estação em que se verificou uma maior percentagem de excedências em qualquer um dos anos a que respeita o presente estudo, relativamente ao VLD, de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , valor que não deverá ser ultrapassado em mais de 35 dias em cada ano civil. No entanto, os anos de 2005, 2006 e 2007 foram aqueles em que se verificou a excedência ao VLD, de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , num número de dias bastante superior (tabela 4.4) ao estipulado por lei (35 dias em cada ano civil).

Embora as restantes estações tenham ultrapassado o valor de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , em alguns dos anos, esse valor foi registado em menos de 35 dias, em cada um dos anos, pelo que respeitaram a legislação em vigor. A estação que apresenta menos excedências ao VLD foi a estação de Évora. Na estação de Évora durante o ano de 2008 não se

registaram excedências ao Valor Limite Diário. Nas estações de Monte Velho e de Terena verificaram-se duas e cinco excedências, respectivamente.



**Fig.4.26** - Variabilidade percentual do número de dias de excedências ao Valor Limite Diário para protecção da saúde humana, de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  de  $\text{PM}_{10}$  para as estações: A) Évora; B) Monte Velho; C) Terena e D) Quebedo

### Percentagem de dias com excedências em relação ao nº de dias com registos

Com o propósito de conhecer a percentagem de dias com excedências em relação ao número de dias com registo foi elaborada a tabela 4.5.

Se calcularmos a percentagem de dias com excedências relativamente ao número de dias em que dispomos de registos em cada uma das estações constatamos que mais uma vez é a estação de Quebedo a que apresenta maior valor nos anos de 2005, 2006 e 2007. Analisando a tabela 4.5, podemos assim concluir que é a estação de Quebedo onde são registados com maior frequência temporal valores de concentração mássica mais elevada, acima do VLD permitido, colocando a cidade de Setúbal como a mais poluída de aerossóis  $\text{PM}_{10}$  comparativamente a Évora, Terena e Monte Velho. Podemos também verificar que, de um modo geral, a partir de 2007 a percentagem de dias com excedências ao VLD permitido, diminuiu face aos anos anteriores em todas as estações, excepção feita no ano de 2008 e 2009 em Évora. Esta excepção surge porque devido ao

número reduzido de dias com registos (90) no ano de 2008 não foram registadas quaisquer excedências e por isso as conclusões que se poderão tirar, apresentam muitas reservas (o número de dias com registo é menor do que 25% do número que era suposto (366), comprometendo qualquer conclusão).

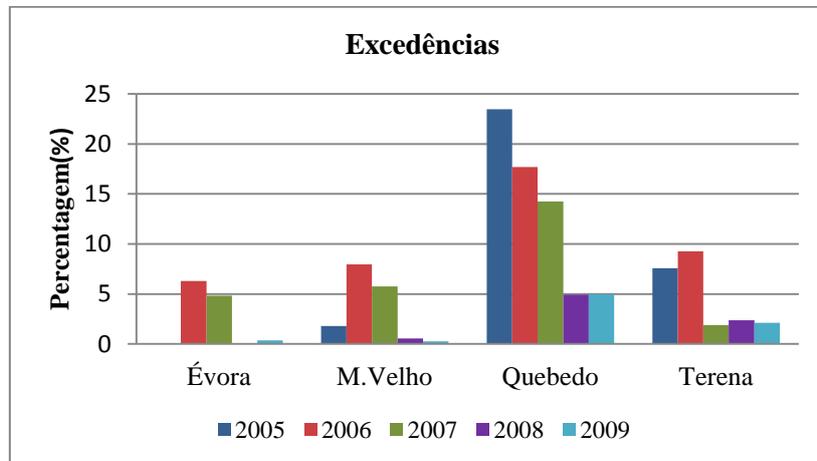
**Tabela 4.5-** Percentagem de dias com excedências em relação ao número de dias com registo

Estação	Dias c/ Reg.	2005	2006	2007	2008	2009
<b>M.Velho</b>	Efetutados	<b>278</b>	<b>364</b>	<b>365</b>	<b>366</b>	<b>362</b>
	>50 $\mu\text{g m}^{-3}$	5	29	21	2	1
	% Exc.	1,80	7,97	5,75	0,55	0,28
<b>Évora</b>	Efetutados		<b>317</b>	<b>249</b>	<b>90</b>	<b>289</b>
	>50 $\mu\text{g m}^{-3}$		20	12	0	1
	% Exc.		6,31	4,82	0,00	0,35
<b>Terena</b>	Efetutados	<b>317</b>	<b>162</b>	<b>210</b>	<b>210</b>	<b>238</b>
	>50 $\mu\text{g m}^{-3}$	24	15	4	5	5
	% Exc.	7,6	9,3	1,9	2,4	2,1
<b>Quebedo</b>	Efetutados	<b>341</b>	<b>356</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>364</b>
	>50 $\mu\text{g m}^{-3}$	80	63	52	18	18
	% Exc.	23,5	17,7	14,2	4,9	4,9

Para resumir a informação que consta da tabela 4.5 foi representado o gráfico da fig.4.27, no qual é apresentado a percentagem de excedências ao VLD para todas as estações relativamente ao período a que respeita o presente estudo.

Analisando o gráfico da fig.4.27 constatamos que a estação de Quebedo (urbana/tráfego) foi sem qualquer dúvida e como seria de esperar a estação onde se verificou um maior número de excedências ao VLD em qualquer um dos anos do estudo, comparativamente às estações de Évora, Monte Velho e Terena. No entanto, ao contrário do que seria de esperar Évora, também com ambiente urbano e influência tráfego, foi onde se verificou uma menor percentagem de excedências ao VLD, o que está de acordo com a conclusão de que é a estação que apresenta uma média interanual de concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  de menor valor como já anteriormente mencionado. Relativamente às outras duas estações, Terena (rural/fundo) apresentou surpreendentemente maior percentagem de excedências do que Évora (urbana/tráfego) e do que Monte Velho (rural/fundo), em todos os anos, com excepção do ano de 2007. No ano de 2007 a estação de Monte Velho apresentou maior percentagem de excedências

ao VLD legislado. Esta constatação deverá, em estudos posteriores, merecer uma análise mais aprofundada e abrangendo mais anos.



**Fig.4.27-** Excedências ao Valor Limite Diário, de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  de  $\text{PM}_{10}$  para todas as estações entre Jan. de 2005 e Dez. de 2009

### 4.3- Episódios de elevada concentração de $\text{PM}_{10}$

Com esta secção pretende-se identificar eventuais episódios de poluição e a sua relação com as respectivas condições meteorológicas e com as fontes de aerossóis localizados fora desses locais.

Para a identificação de eventuais episódios de poluição foi necessário em primeiro lugar definir o próprio conceito de episódio de poluição (definição apresentada no Capítulo 3, secção 3.3). De acordo com aquela definição é considerado episódio de poluição a persistência de dois ou mais dias com valores médios diários de concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  superiores à soma da média com o desvio padrão referente à totalidade do período em estudo da referida estação.

Pelo acima exposto, foi necessário calcular o valor da média da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  anual e o desvio padrão referente a cada um dos anos e os relativos a todo o período em estudo, para cada uma das estações. Foi ainda calculado a soma da média com o desvio padrão ( $M + D.P.$ ) referente a todo o período, para cada estação. Em seguida foram comparados os dados disponíveis da média diária da concentração mássica de  $\text{PM}_{10}$  (já anteriormente calculados) relativos a cada ano para cada uma das estações com o valor da soma da média com o desvio padrão ( $M + D.P.$ ) referente a

todo o período, para a referida estação (este valor consta da tabela 4.1, apresentada na secção 4.1.2). Após essa comparação foram identificados os episódios em cada um dos anos a que respeita o presente estudo, para cada uma das estações. O passo seguinte foi analisar as datas da ocorrência dos episódios e identificar os que eram: 1º - comuns às quatro estações de amostragem; 2º - comuns a três estações; 3º - comuns a duas estações e por fim os verificados apenas numa das estações.

De seguida foram calculadas as médias diárias das variáveis meteorológicas, nomeadamente, a temperatura, humidade relativa, direcção e intensidade do vento, para os períodos de ocorrência dos episódios (normalmente, começando dois dias antes do início do episódio e terminando dois dias após o término do mesmo) e representou-se os respectivos gráficos. Procedeu-se depois à análise dos gráficos referentes às variáveis meteorológicas acima referenciadas. Foi ainda efectuada a análise das retrotrajectórias de 72 h, a várias altitudes (1500 m, 3000 m e à superfície) com chegada às 12 h, em cada uma das estações para identificar a origem local ou de longo curso dos aerossóis que chegaram a cada uma das estações e com isso, o tipo de aerossóis predominantes em cada um dos episódios.

Os gráficos relativos às variáveis meteorológicas, nomeadamente, a temperatura, humidade relativa, direcção e intensidade do vento, para os períodos de ocorrência dos episódios constam do anexo, assim como algumas das retrotrajectórias de 72 utilizadas para identificação da origem local ou de longo curso dos aerossóis que chegaram a cada uma das estações e do tipo de aerossóis predominantes em cada um dos episódios.

Apenas será apresentada nesta secção a análise completa para quatro situações de ocorrência de episódios, a saber, a situação de episódio comum às quatro estações, a de episódio comum em três das estações, outra de episódio que ocorreu apenas em duas das estações e por fim a de episódio que ocorreu apenas numa das estações.

#### **4.3.1- Episódios comuns a quatro estações**

No período a que respeita o presente estudo ocorreram apenas dois episódios comuns às quatro estações, no entanto há algumas diferenças entre a sua duração bem como o início e o término de cada um deles, como se pode observar na tabela 4.6. A

tabela 4.6 é uma tabela síntese dos episódios comuns às estações de Évora, Monte Velho, Quebedo e Terena.

**Tabela 4.6-** Episódios comuns às quatro estações

Nº	Episódio	Estação	Nº dias	Máximo ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Tipo de aerossol
1	25 – 05 a 13-06 – 2006	Évora	6	96,3	c+ m+dd+ local
		M. Velho	7	118,4	c+ m+dd+ local
		Quebedo	7	96,5	c+ m+dd+ local
		Terena	8+5+4	155,6	c+m+dd+local
2	28-07 a 08-08-2007	Évora	2+3	60,2	c+m+local
		M. Velho	2+2+2	54,6	c+m+local
		Quebedo	2+2	60,6	c+m+local
		Terena	2+2	59,0	c+m+dd+local

c- aerossol continental; m- aerossol marinho; dd- aerossol do deserto; local- aerossol local

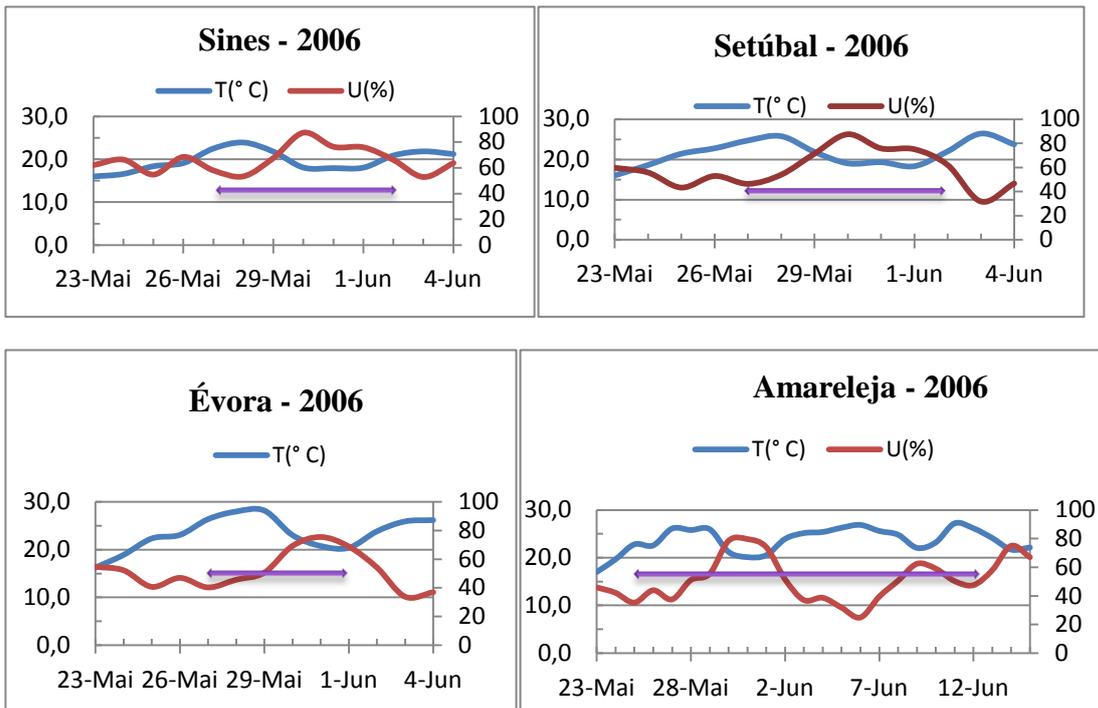
O sinal + entre os valores dos dias significa que o episódio não foi contínuo e por isso aparece o número de dias em cada uma das fases do episódio.

A classificação dos aerossóis foi feita com base na análise das retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h em cada uma das estações em que se verificou o episódio e que constam em anexo, como anteriormente referido.

Analisando a tabela 4.6 constatamos que o episódio que decorreu entre 25 de Maio e 13 de Junho de 2006 é um episódio de aerossol do deserto em todas as estações, enquanto o que ocorreu entre 28 de Julho e 8 de Agosto apenas é um episódio de aerossol do deserto para a estação de Terena. Para as estações de Évora, M. Velho e Quebedo trata-se de um episódio de aerossol continental e marinho.

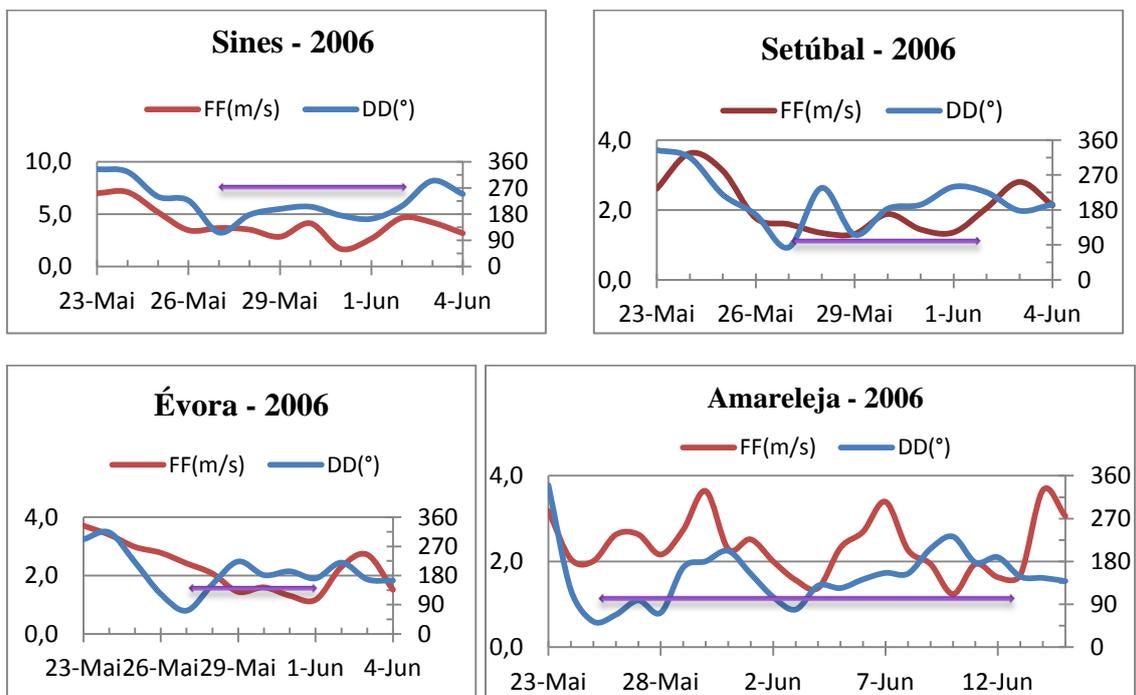
#### **Análise do Episódio de 25 de Maio a 13 de Junho de 2006**

Este episódio teve a duração de sete dias em Monte Velho e Quebedo e seis dias em Évora. Em Terena o episódio foi mais longo, ocorrendo durante dezassete dias. Os gráficos da temperatura e humidade relativa, representados na fig. 4.28 iniciam-se todos a 23 de Maio, ou seja dois dias antes do início do episódio e terminam dois dias depois do término do mesmo; os gráficos referentes à estação de Terena terminam mais tarde pois o episódio neste local terminou mais tarde.



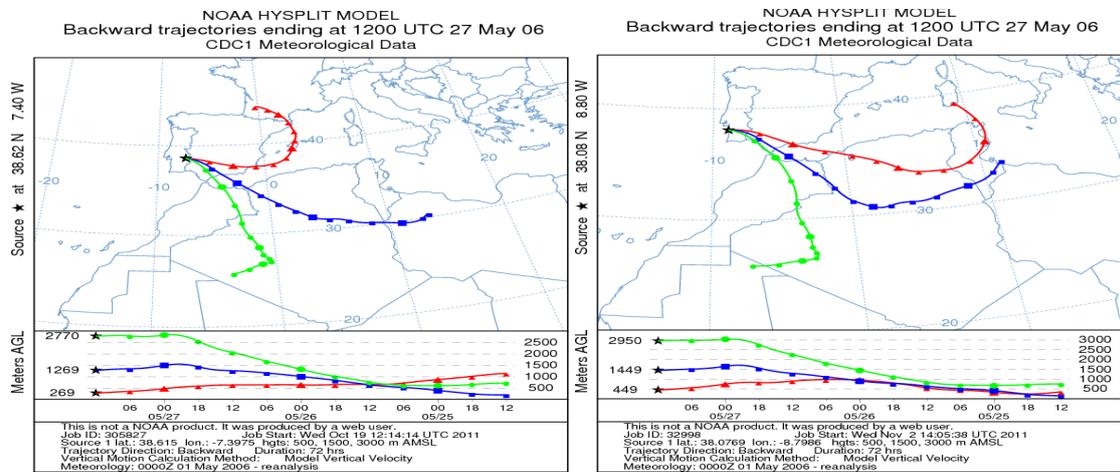
**Fig. 4.28-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

A temperatura registada nas diferentes estações sofreu um aumento no início do episódio, atinge um pico e em seguida diminui. Na Amareleja verificou-se que depois desse ciclo de variação da temperatura ocorreram mais dois ciclos. Relativamente à evolução dos valores da Humidade relativa passou-se precisamente o inverso da evolução da temperatura.

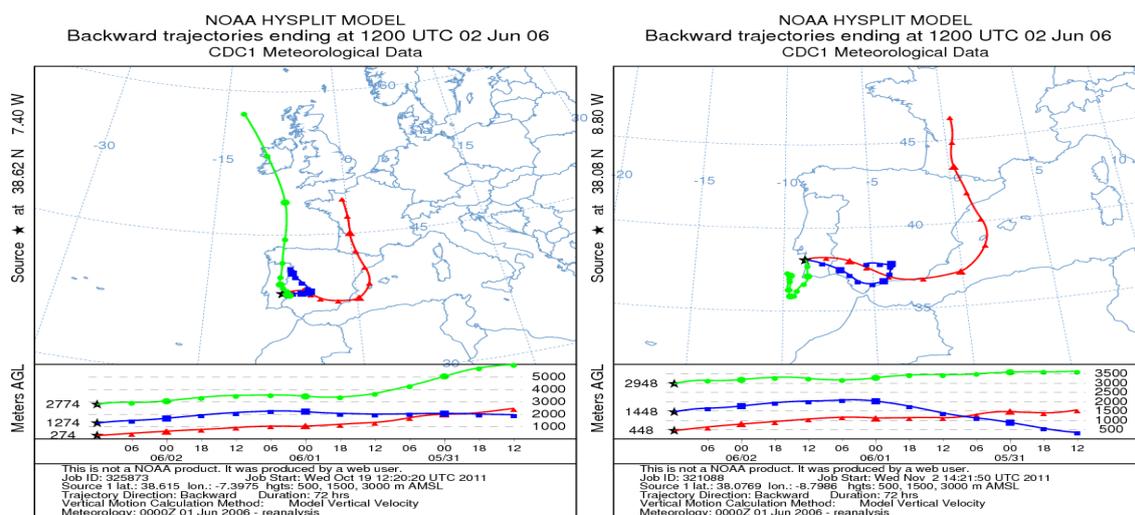


**Fig. 4.29-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

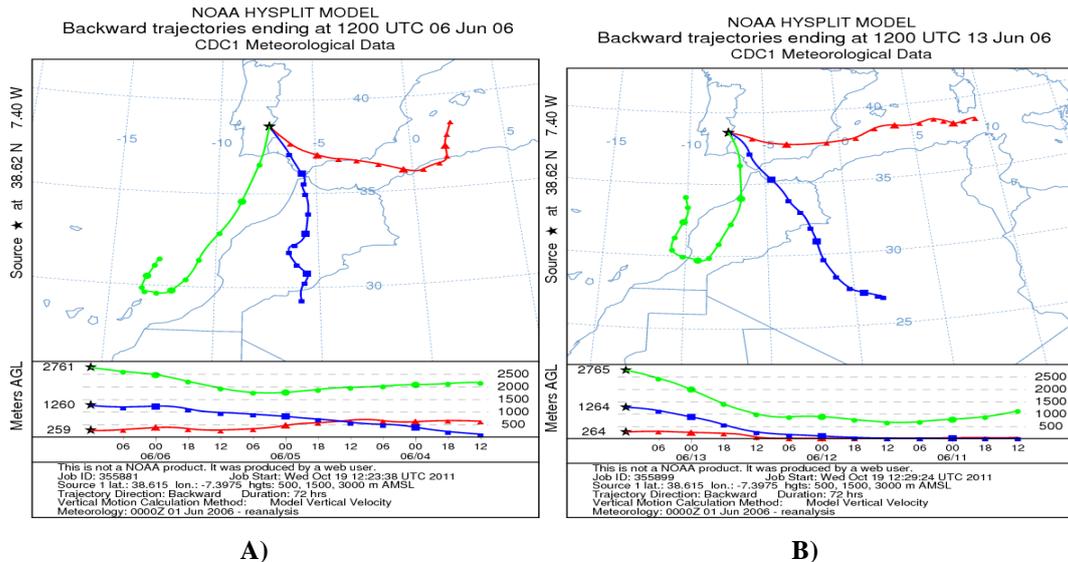
Relativamente à direção do vento, o padrão é idêntico para as estações de Monte Velho e Setúbal. A direção do vento sofreu variação no início do episódio, desde o Este até Sudoeste, tendo-se verificado a maior parte do tempo uma direção média próxima do Sul, nomeadamente em Sines entre 28 de Maio e o dia 2 de Junho e em Évora de 30 de Maio a 1 de Junho. Com exceção de Monte Velho, a variação da direção do vento teve várias oscilações ao longo do episódio. No respeitante à intensidade do vento esta também foi variável ao longo do episódio. No entanto também se verificou que foi durante o episódio mais longo que se registaram os valores médios diários da intensidade do vento mais baixos, pois a dispersão dos poluentes é inferior, ficando assim mais concentrados nos locais.



**Fig.4.30.1-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, de 27 /Maio / 2006 à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície para as estações de: A) de Terena, B) Monte Velho;



**Fig.4.30.2-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, de 2 /Junho / 2006 à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície para as estações de: A) de Terena, B) Monte Velho



**Fig.4.30.3-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície para a estação de Terena: A) dia 6 /Junho / 2006, B) dia de 13 /Junho / 2006

Analisando as retrotrajectórias à superfície para o início deste período constatamos que nas estações de Évora, Monte Velho e Quebedo (fig.4.30.1 **B**)) aquelas têm origem sobre o Mediterrâneo fazendo percurso sobre o Norte de África, novamente o Mediterrâneo, Sul de Espanha, antes de se dirigirem para Portugal e finalmente para cada uma das respectivas estações. As retrotrajectórias à superfície que chegam a Terena (fig.4.30.1 **A**)) têm origem a cerca de 1000 m de altitude, na zona sudoeste de França dirigindo-se depois para o Mediterrâneo, atravessam o sul de Espanha, dirigindo-se finalmente para Portugal mais precisamente Terena, na direcção próxima de Este, ou seja a direcção média do vento nesta estação (fig.4.29).

Podemos assim concluir que nas quatro estações se verificou além dos aerossóis locais, a junção de aerossóis marinhos com aerossóis continentais. Com excepção de Terena, verificamos nas outras três estações, além dessa mistura de aerossóis marinhos e continentais, a presença de areias e pó provenientes do deserto de África, já que uma parte do percurso é efectuada sobre o norte de África como se pode constatar na fig. 4.30.1 **B**).

Na parte final (2/6/2006) deste mesmo período podemos observar na fig.4.30.2 **A**) e **B**) que em todas as estações, as retrotrajectórias tiveram origem na mesma zona e fazendo percursos idênticos o que nos leva a concluir que os aerossóis são do mesmo tipo, aerossóis continentais com uma mistura de aerossóis marinhos. As retrotrajectórias tiveram origem entre 1500 e 2000 m de altitude sobre a zona sudoeste de França passam sobre Espanha, dirigindo-se para o Mediterrâneo depois entram pelo Sul de Espanha atravessando-o e só depois entram em Portugal. Como as retrotrajectórias tiveram

origem em altitudes de 1500 e 2000 m, podemos concluir que podem resultar da mistura de aerossóis com diferentes origens.

Analisando a fig.4.30.3 A), podemos constatar que as retrotrajectórias com chegada, à superfície, às 12 h do dia 6 de Junho de 2006 tiveram origem a cerca de 500 m de altitude, sobre o Mediterrâneo e fizeram percurso sobre uma parte da costa do Norte de África e atravessaram o Sul de Espanha antes de se dirigirem para Terena, na direcção próxima de sudeste, a mesma direcção média que o vento apresentava nesse mesmo dia (fig.4.29). No último dia do episódio em Terena (13/06/ 2006) as retrotrajectórias com chegada, à superfície, às 12 h tiveram origem à superfície, sobre o Mediterrâneo e atravessaram o Sul de Espanha antes de se dirigirem para Terena (fig. 4.30.3 B)), na direcção próxima de sudeste, a direcção média do vento nesse mesmo dia (fig.4.29). Podemos assim concluir que em Terena se verificou a presença de uma mistura de aerossóis marinhos com aerossóis continentais, além dos locais. Podemos assim concluir que em Terena se verificou a presença de uma mistura de aerossóis marinhos com aerossóis continentais e do deserto, além dos locais, entre os quais merece destaque os aerossóis resultantes dos fogos florestais que ocorreram nas proximidades de Terena.

Durante o período em que decorreu este episódio, ocorreram fogos em Évora assim como noutros locais do Alto Alentejo, nomeadamente no concelho de Portalegre. Aliás, no final de Maio e durante o mês de Junho ocorreram muitos incêndios em toda a zona do Alentejo. Provavelmente em Évora e em Terena fez-se sentir também a presença de aerossóis resultantes dos fogos florestais que ocorreram no final do mês de Maio e durante o mês de Junho.

### **Episódios comuns a três estações**

No período a que respeita o presente estudo ocorreram nove episódios comuns a três das estações, no entanto verificam-se algumas diferenças na sua duração e consequentemente no início e término de cada um deles, como se pode observar na tabela 4.7. A tabela 4.7 é uma tabela síntese dos episódios comuns a três das estações.

**Tabela 4.7-** Episódios comuns a três estações

Nº	Episódio	Estação	Nº dias	Máximo ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Tipo de aerossol
1	04-08 a 24-08-2005	M. Velho	3+3+5	114,2	c+m+dd+local
		Quebedo	3+2+3	74,6	c+m+local
		Terena	4+1+10	130,2	c+m+local
2	27-09 a 08-10-2005	M. Velho	2+9	49,8	c+m+dd+local
		Quebedo	2+4	69,5	c+m+dd+local
		Terena	9	55,9	c+m+dd+local
3	10-07 a 19-07-2006	Évora	9	55,1	c+m+dd+local
		M. Velho	7	74,1	c+m+dd+local
		Quebedo	5	74,7	c+m+dd+local
4	04-09 a 09-09-2006	Évora	6	59,9	c+m+local
		M. Velho	6	57,2	c+m+local
		Quebedo	3	56,3	c+m+local
5	04-11 a 18-11-2007	M. Velho	7	52,8	c+m+local
		Quebedo	9	78,3	c+m+local
		Terena	3+1+3	47,5	c+m+local
6	14-02 a 16-02-2008	M. Velho	1	107,9	c+m+dd+local
		Quebedo	2	117,3	c+m+dd+local
		Terena	2	59,3	c+m+dd+local
7	15-03 a 27-03-2009	Évora	3+2+1+3	50,5	c+m+dd+local
		M. Velho	2+1+1	47,5	c+m+dd+local
		Quebedo	1+1	59,5	c+m+dd+local
8	28-05 a 02-06-2009	Évora	1	36,7	c+m+local
		Quebedo	2+2	53,0	c+m+local
		Terena	6	58,6	c+m+local
9	07-09 a 12-09-2009	M. Velho	1	40,8	c+m+local
		Quebedo	2+1	55,4	c+m+local
		Terena	6	70,7	c+m+local

c- aerossol continental; m- aerossol marinho; dd- aerossol do deserto; local- aerossol local

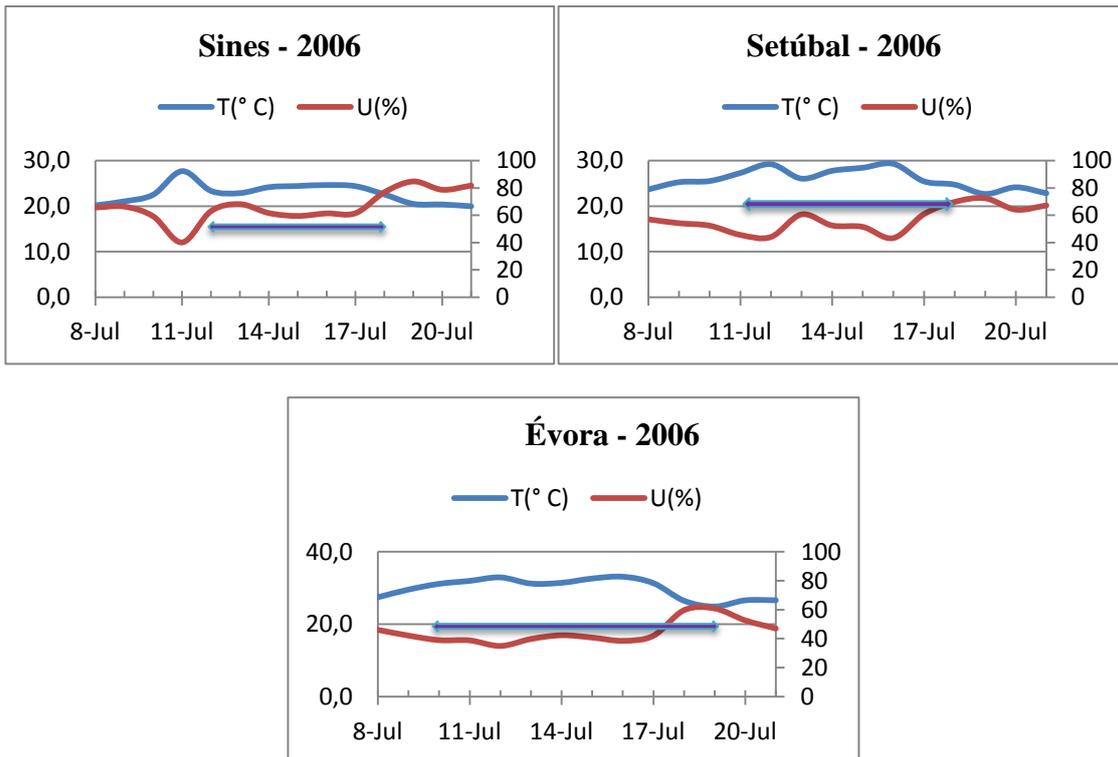
O sinal + entre os valores dos dias significa que o episódio não foi contínuo e por isso aparece o número de dias em cada uma das fases do episódio.

A classificação dos aerossóis foi feita com base na análise das retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h em cada uma das estações em que se verificou o episódio e que constam em anexo, como anteriormente referido.

Analisando a tabela 4.7 verificamos que de entre os nove episódios que ocorreram em três das estações, cinco são episódios do deserto. Isto é mais uma prova de que a região Sul de Portugal sofre a influência das poeiras provenientes do Norte de África. A região Sul de Portugal é também influenciada por aerossóis provenientes do norte e centro da Europa, além do sal marinho.

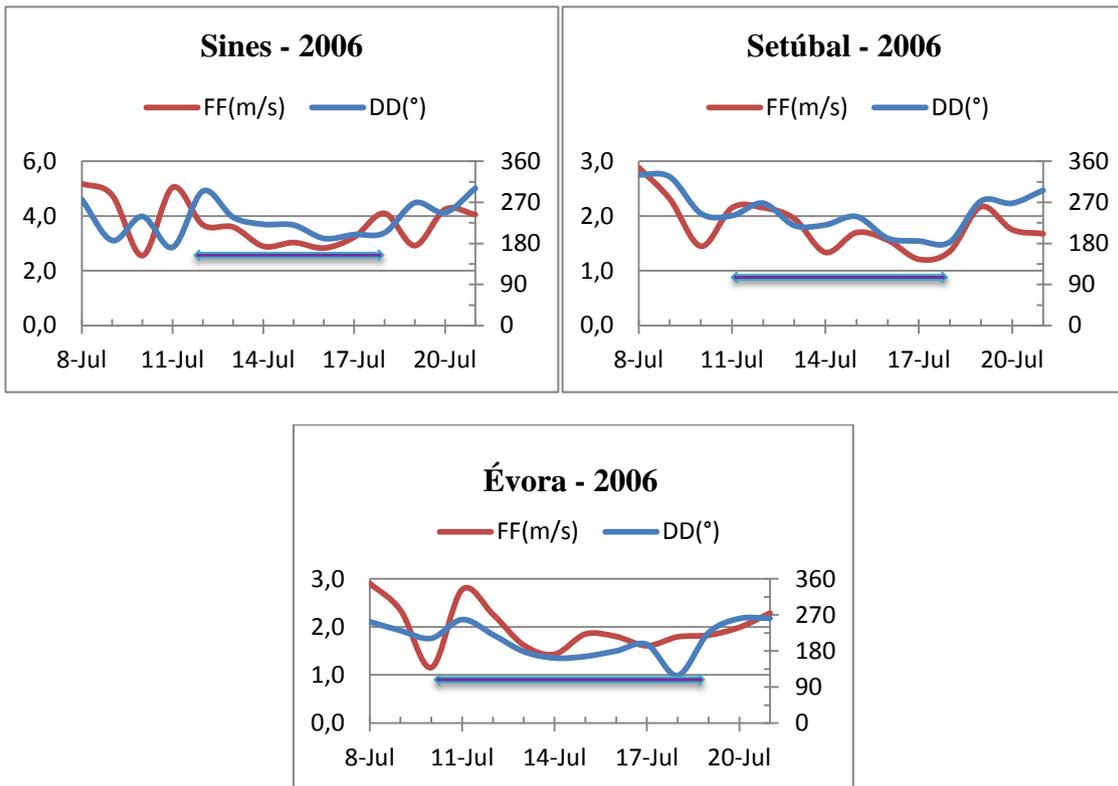
### Análise do Episódio de 10 de Julho a 19 de Julho de 2006

Este episódio foi contínuo no tempo, nas três estações, porém com diferente duração. Em Monte Velho teve a duração de sete dias, em Quebedo seis dias e em Évora dez dias. Os gráficos que constam na fig. 4.31, respeitam ao período entre 8 de Julho (dois dias antes do início do episódio) e 21 de Julho de 2006 (dois dias depois do episódio que terminou em último lugar).



**Fig. 4.31-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

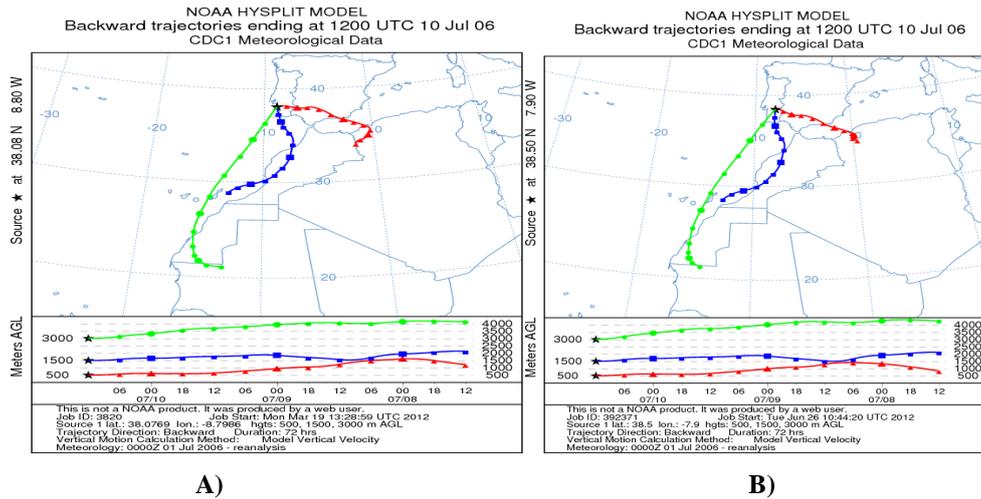
No respeitante à temperatura (fig.4.31), em Monte Velho, verificou-se que o episódio começou a seguir a uma ligeira diminuição da temperatura média, manteve-se mais ou menos constante ao longo do episódio e diminuindo em seguida. Em Setúbal e Évora o episódio teve início quando a temperatura média estava a aumentar. Enquanto decorreu o episódio, a temperatura apresentou algumas oscilações embora pequenas e no final do episódio a temperatura média atingiu os valores mais baixos. Situação oposta se verificou relativamente à humidade relativa, como é de prever. No decurso do episódio a humidade relativa apresentou os valores mais baixos e terminou quando aumentou o seu valor para cerca de 60%.



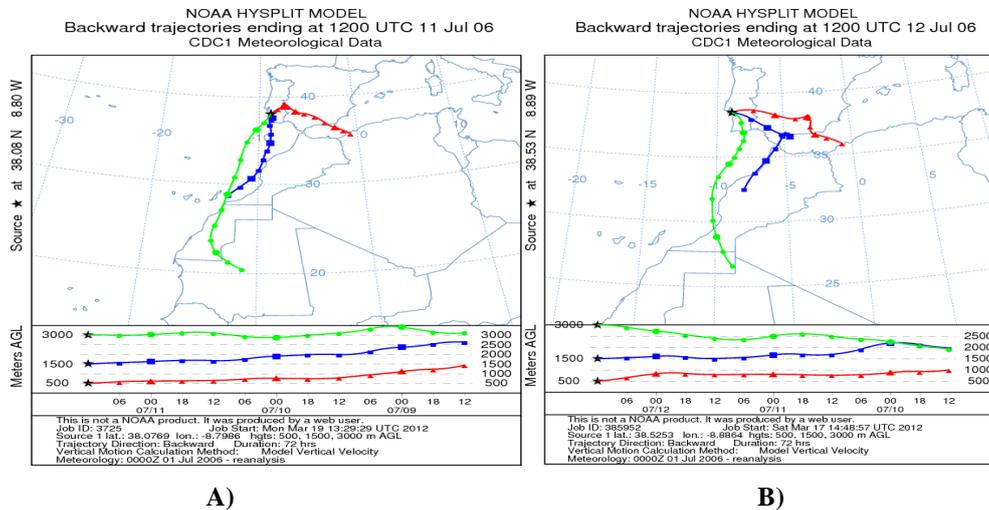
**Fig. 4.32-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

Analisando as condições atmosféricas registadas em Monte Velho (fig.4.32), podemos concluir que o episódio começou quando a direcção do vento mudou para sudoeste (antes tinha direcção Sul). O vento foi variando de direcção, chegou a ser Oeste, Sul e quando o episódio terminou adquiriu a mesma que possuía aquando do início (Sudoeste). Em Setúbal, a direcção média da velocidade do vento no início era próxima do Sudoeste, mas variou ao longo do episódio, chegou a ser próximo do Oeste e no final, a direcção era próxima do Sul. Em Évora, quando o episódio começou, a direcção média do vento que era Sudoeste foi variando até próximo de Oeste, próximo do Sul, Sudeste e no final variou para uma direcção próxima do Sudoeste. As três estações aquando do início do episódio apresentavam uma direcção média da velocidade do vento próxima do sudoeste, o mesmo acontecendo quando o episódio terminou. Relativamente à intensidade do vento podemos constatar que nas estações de Évora e de Quebedo, o início do episódio coincidiu com o aumento da intensidade do vento. Na estação de Monte Velho passou-se algo oposto, o episódio começou quando a intensidade do vento, ao diminuir atingiu um valor médio de 4 m/s. No decurso do episódio a intensidade do vento diminuiu até cerca de 2,5 m/s e quando terminou, a intensidade média do vento apresentava o mesmo valor inicial.

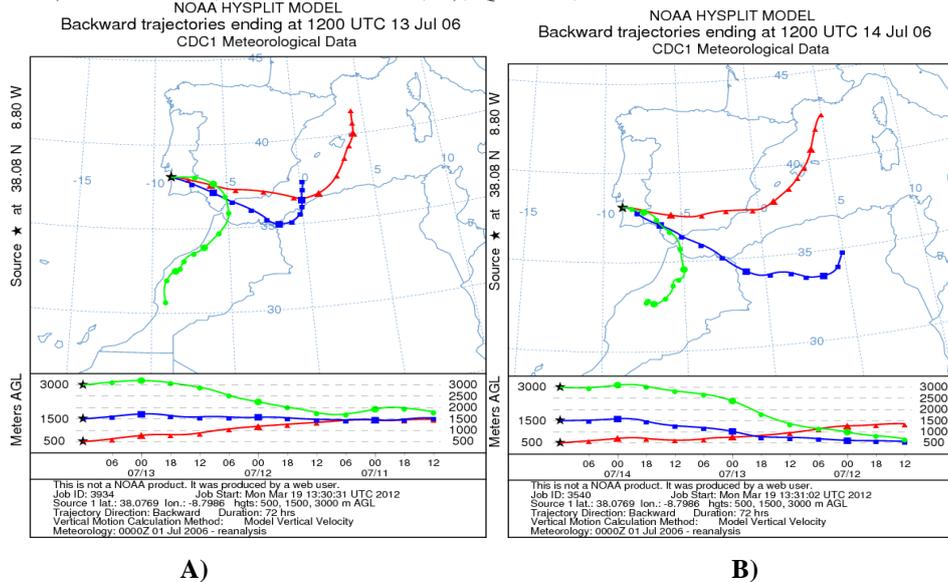
Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo



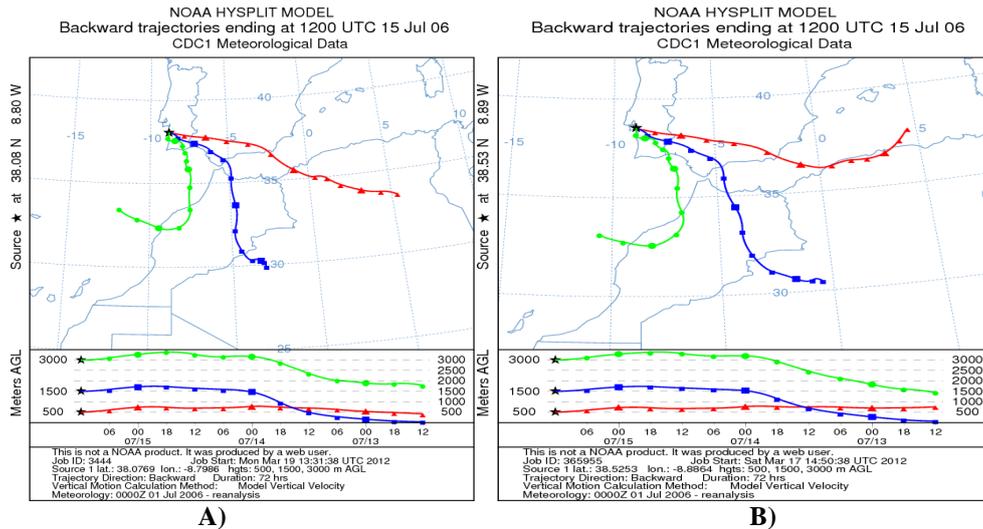
**Fig.4.33.1-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 10/Julho/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: A) Monte Velho; B) Évora



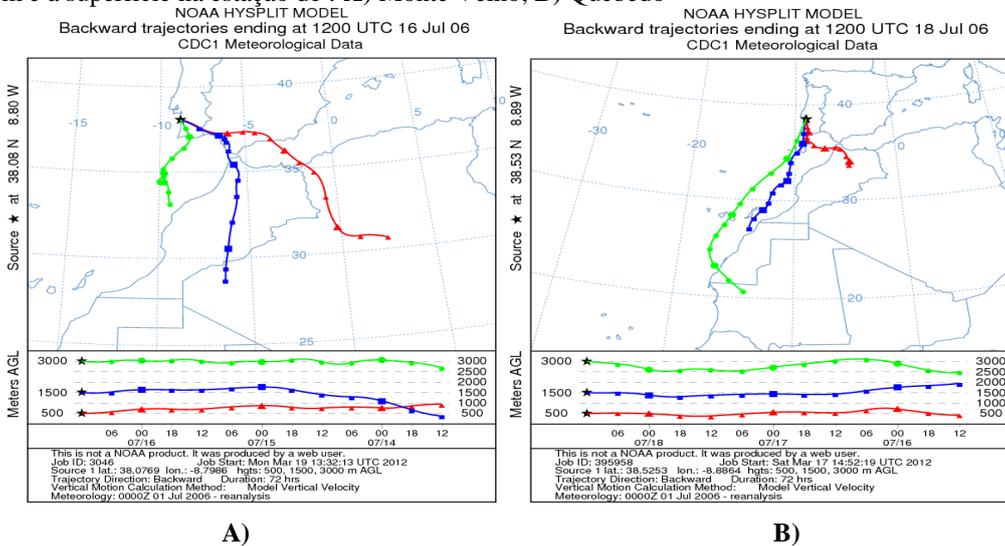
**Fig.4.33.2-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: A) Monte Velho, dia 11/Julho/2006; B) Quebedo, dia 12/Julho/2006



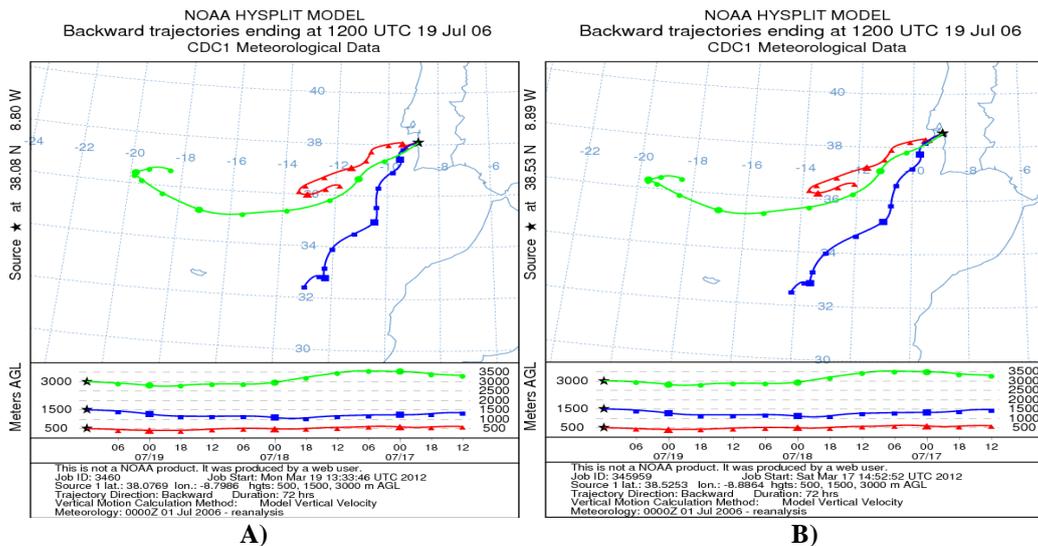
**Fig.4.33.3-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de Monte Velho, dia : A) 13/Julho/2006; B) 14/Julho/2006

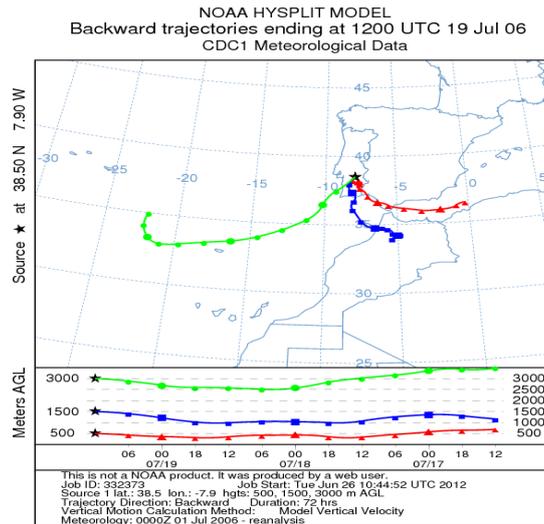


**Fig.4.33.4-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia dia 15/Julho/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de : **A)** Monte Velho; **B)** Quebedo



**Fig.4.33.5-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 16/Julho/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de : **A)** Monte Velho, dia 16/Julho/2006; **B)** Quebedo, dia 18/Julho/2006





C)

**Fig.4.33.6-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 19/Julho/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: **A)** Monte Velho; **B)** Quebedo; **C)** Évora

Analisando as fig.4.33.1 – 6, constatamos que as retrotrajectórias com chegadas às estações de Monte Velho, Quebedo e Évora, às 12 h, nos dias 10, 11 e 12 de Julho de 2007 (fig.4.33.1 - 2), tiveram origem em altitude e à superfície sobre o Norte de África.

As retrotrajectórias com chegadas às 12 h, nos dias 13 e 14, nas três estações de Quebedo, Monte Velho e Évora, tiveram origem a uma altitude de cerca de 1500 m sobre o Mediterrâneo, um pouco a sul da costa francesa, passam depois ao largo da costa de Argélia, seguindo em direção a Espanha e por fim Portugal. As retrotrajectórias com chegadas às 12 h, no dia 19 de Julho, a Quebedo e a Monte Velho tiveram origem a uma altitude de aproximadamente 500 m, sobre o Oceano Atlântico, a sudoeste da Costa Vicentina, seguindo depois em direção às duas estações referidas. As retrotrajectórias com chegada às 12 h, no dia 19 de Julho, a Évora são provenientes de uma altitude de cerca de 500 m, sobre o Mar Mediterrâneo, junto à costa de Argélia, seguindo em direção a Portugal, fazendo percurso sobre o Sul de Espanha. Os aerossóis aqui referidos são uma mistura de aerossóis continentais com aerossóis marinhos. A direção com que chegaram a cada uma das estações foi a direção Nordeste (NE) no dia 11, mas no dia seguinte alterou-se para entre Nordeste e Este mas mais próxima desta última. No dia 19 a direção chegada dos aerossóis dos aerossóis com chegada a Monte Velho e Quebedo era próxima de sudoeste, a mesma direção média do vento, nesse dia, naquelas estações. Na estação de Évora a direção de chegada dos aerossóis era próxima de sudeste, a mesma direção média que o vento apresentava nesta estação. Nos restantes dias prevaleceu a direção Sudeste como a direção do movimento dos aerossóis.

Podemos concluir que ao longo do episódio se verificou a existência de aerossóis provenientes de África indiciando que alguns deles são aerossóis do deserto. Na maioria dos dias os aerossóis são provenientes do norte de África ou fazem por lá parte do seu percurso. Estamos assim perante uma mistura de aerossóis constituída essencialmente por aerossóis oriundos do deserto com outros (locais, continentais e marinhos).

### **Episódios comuns a duas estações**

No período a que respeita o presente estudo ocorreram catorze episódios comuns a duas das quatro estações. À semelhança dos outros episódios (comuns às quatro estações e a três estações), a duração de cada episódio não teve igual duração em todas elas, o que pode ser observado na tabela 4.8. A tabela 4.8 é uma tabela síntese dos episódios comuns a duas estações.

**Tabela 4.8-** Episódios comuns a duas estações

Nº	Episódio	Estação	Nº dias	Máximo	Tipo de aerossol
1	09-03 a 21-03-2005	Quebedo	4+6	117,3	c+m+dd+local
		Terena	6	153,6	c+m+dd+local
2	31-05 a 9-06-2005	M. Velho	2+3	46,0	c+m+dd+local
		Quebedo	2+4	66,9	c+m+dd+local
3	31-01 a 13-02-2006	Évora	2+3	68,2	c+m+dd+local
		Quebedo	3+7	86,1	c+m+dd+local
4	29-10 a 31-10-2006	M. Velho	3	61,9	c+m+dd+local
		Quebedo	3	70,9	c+m+dd+local
5	13-01 a 21-01-2007	M. Velho	5	70,4	c+m+local
		Quebedo	9	92,0	c+m+local
6	14-03 a 18-03-2007	M. Velho	5	55,2	c+m+dd+local
		Quebedo	3	60,5	c+m+dd+local
7	04-09 a 10-09-2007	Évora	6	56,3	c+m+local
		Terena	6	49,4	c+m+local
8	23-01 a 26-01-2008	Quebedo	4	73,4	c+m+local
		Terena	1	46,9	c+m+local
9	03-04 a 06-04-2008	Évora	1	37,0	c+m+dd+local
		Quebedo	4	48,9	c+m+dd+local
10	03-05 a 05-05-2008	Évora	3	52,2	c+m+dd+local
		Terena	2	41,9	c+m+dd+local
11	11-10 a 15-10-2008	M. Velho	3	45,6	c+m+dd+local
		Quebedo	2	57,8	c+m+dd+local
12	20-07 a 21-07-2009	Évora	2	40,0	c+m+local
		Terena	1	47,6	c+m+local
13	12-08 a 16-08-2009	Évora	5	41,3	c+m+local
		Terena	3	46,7	c+m+local
14	30-08 a 31-08-2009	Évora	2	36,7	c+m+dd+local
		Terena	2	58,6	c+m+dd+local

c- aerossol continental; m- aerossol marinho; dd- aerossol do deserto; local- aerossol local

O sinal + entre os valores dos dias significa que o episódio não foi contínuo e por isso aparece o número de dias em cada uma das fases do episódio.

A classificação dos aerossóis foi feita com base na análise das retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h em cada uma das estações em que se verificou o episódio e que constam em anexo, como anteriormente referido.

Analisando a tabela 4.8 constatamos que apenas cinco dos catorze episódios que ocorreram em duas estações, não são episódios do deserto. Mais uma vez se confirma que a região Sul de Portugal sofre a influência das poeiras provenientes do Norte de África., o que contribui para aumentar os valores da concentração mássica de PM<sub>10</sub>. A

região Sul de Portugal é também afectada pela poluição transportada desde o norte e centro da Europa, além do sal marinho (vindo do Oceano Atlântico e/ou do Mediterrâneo).

### Análise do Episódio de 31 de Janeiro a 13 de Fevereiro de 2006

Este episódio apenas ocorreu durante dez (3+7) dias na estação de Quebedo e durante cinco (2+3) dias em Évora. Como o episódio não foi contínuo, podemos considerar que o mesmo ocorreu em duas fases nas duas estações.

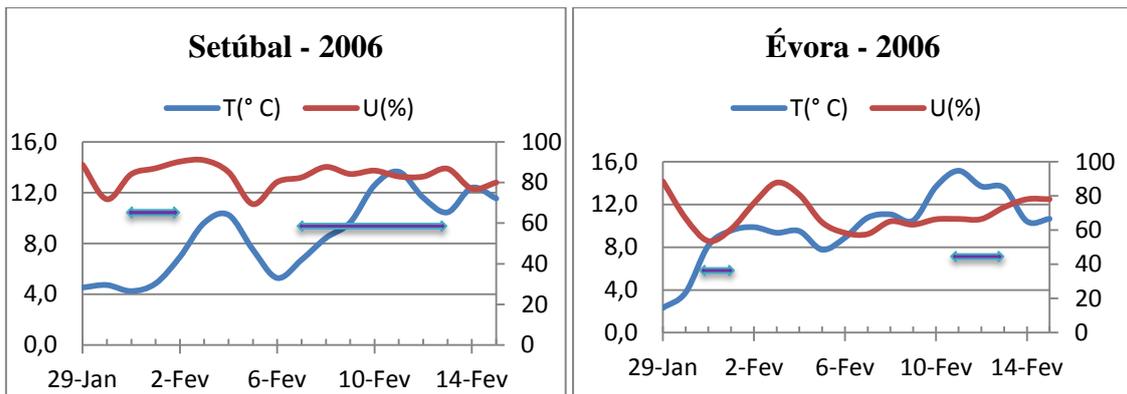


Fig. 4.34- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

Analisando os gráficos da fig. 4.34, constatamos que a temperatura média diária aumentou, durante a primeira fase nas duas estações. Na segunda fase do episódio, verificou-se um aumento da temperatura média (atingiu o valor mais alto) seguida de uma diminuição. Durante o episódio a Humidade relativa apresentou os valores mais altos, com excepção da primeira fase, na estação de Évora em que apresentou os valores mais baixos.

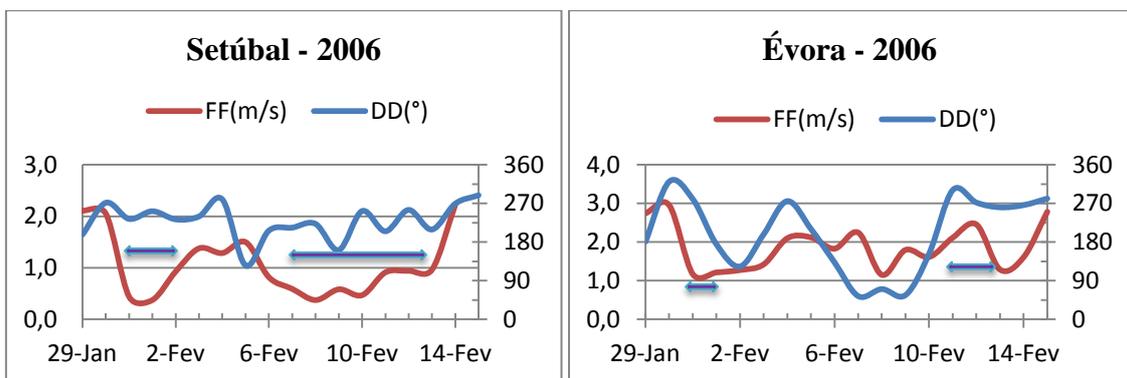
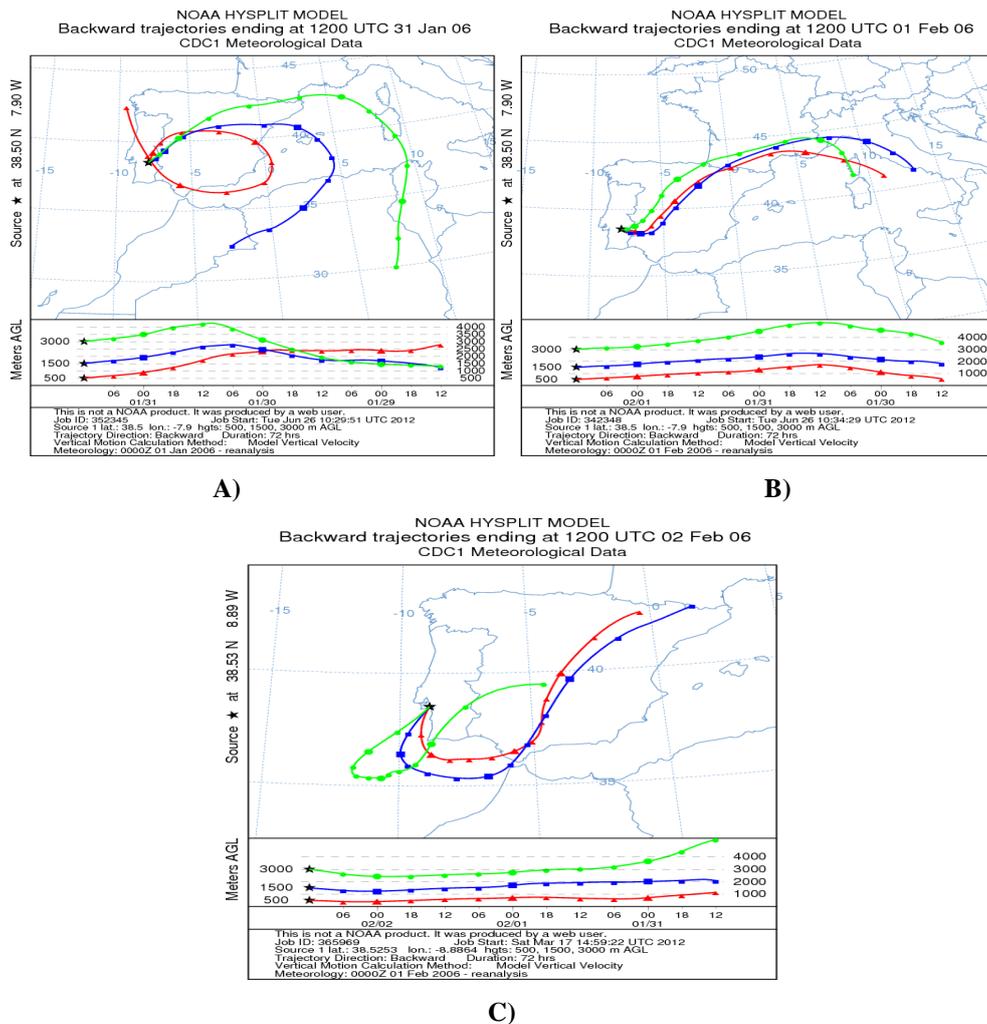


Fig. 4.35 - Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

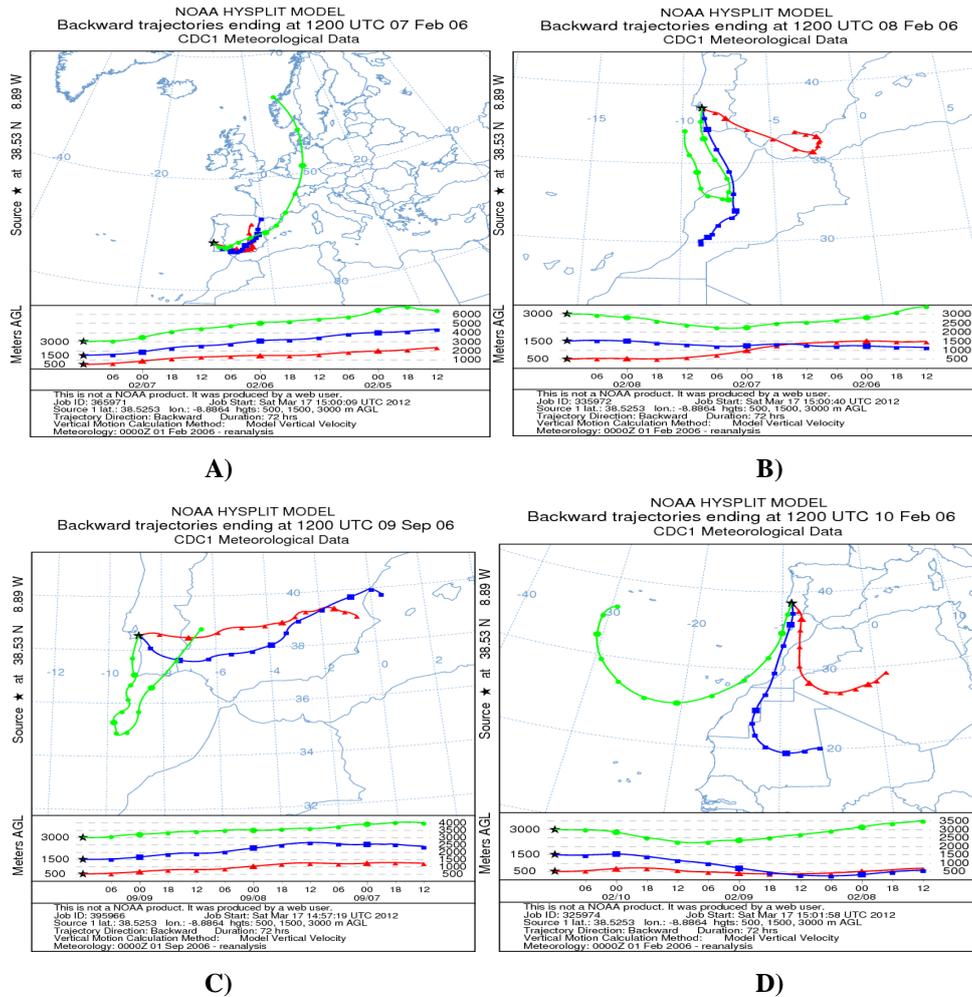
Analisando os gráficos da fig. 4.35, verificamos que em Quebedo, na primeira fase deste episódio, a direcção média do vento inicialmente próximo de Sudoeste, variou

um pouco até próximo de Este e no final voltou à direcção inicial (para próximo de Sudoeste). Durante a segunda fase, a direcção média do vento era Sudoeste, variou um pouco mas não chegou à direcção Oeste, no dia seguinte voltou a modificar a direcção até próximo do Sul, depois para próximo de Oeste, Sudoeste, novamente Oeste e no último dia do episódio a direcção média era próximo de Sudoeste. Em Évora, na primeira fase a direcção média do vento, inicialmente próximo de Oeste variou para Sul. Durante a segunda fase, a direcção média do vento era Oeste, variou para Noroeste e no último dia do episódio era próximo de Oeste. A intensidade média do vento, na estação de Quebedo, durante as duas fases do episódio registava uma diminuição do seu valor (atingiu o valor mais baixo ( $< 0,5 \text{ ms}^{-1}$ ), mas depois aumentou ligeiramente. Situação análoga se verificou em Évora mas apenas na primeira fase. Durante a segunda fase, a intensidade média do vento que registava um aumento, manteve essa tendência mais um dia e no último dia do episódio diminuiu o seu valor.

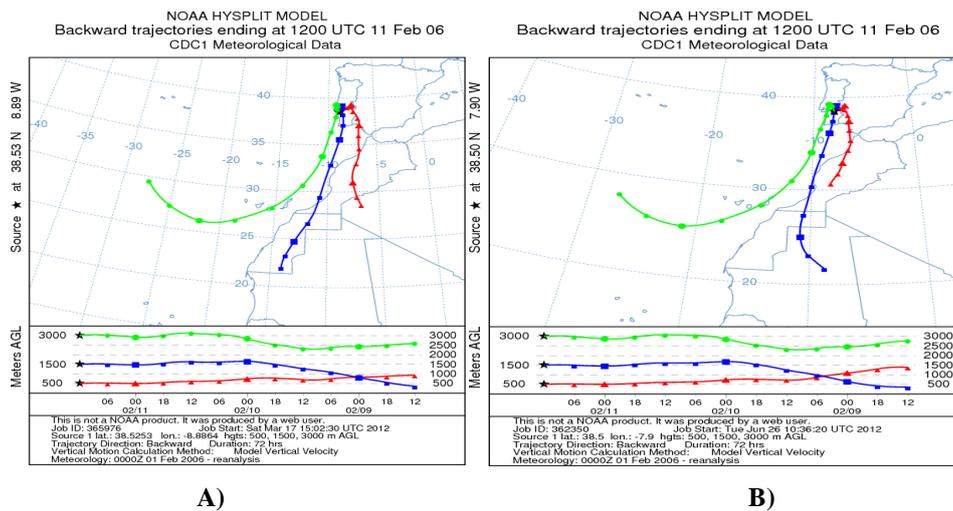


**Fig.4.36.1-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: **A)** Évora, 31/Janeiro/2006; **B)** Évora, 1/Fevereiro/2006; **C)** Quebedo, 2/Fevereiro/2006

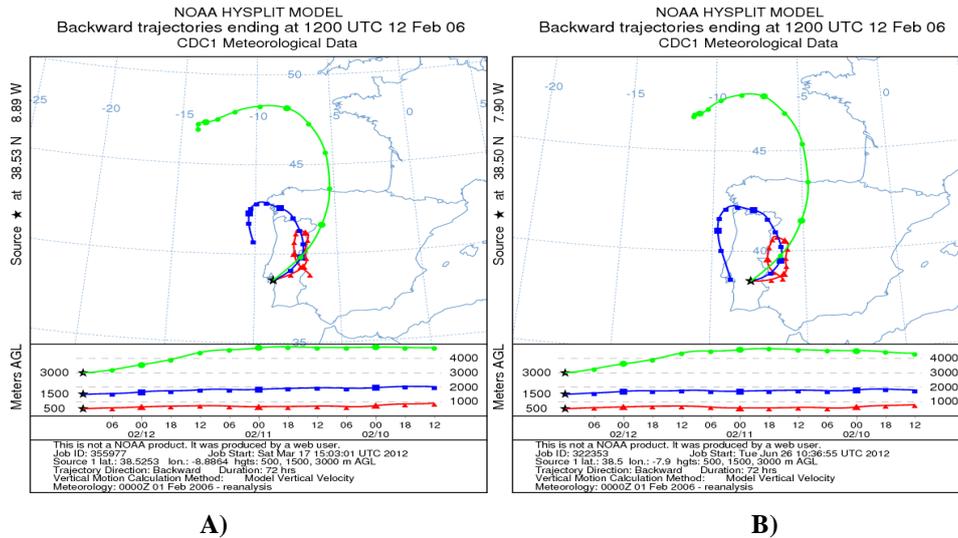
Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo



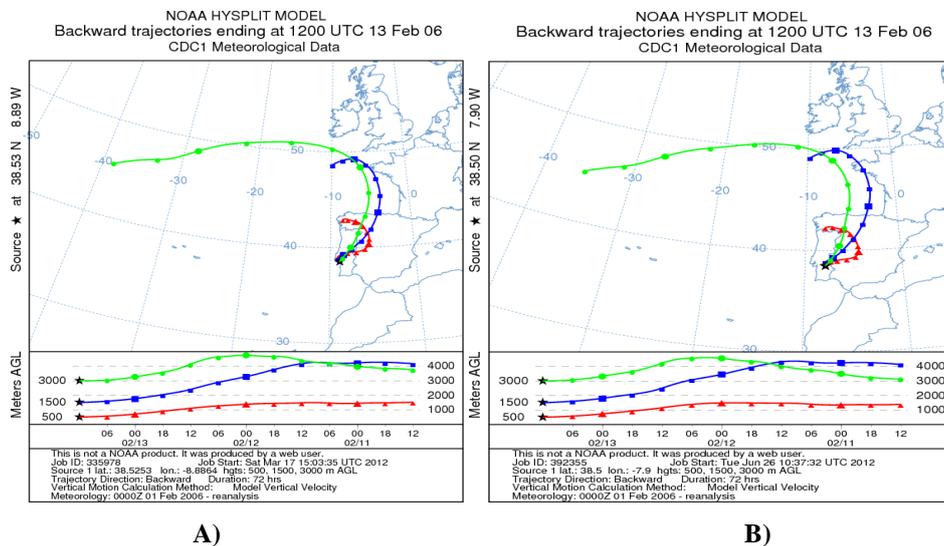
**Fig.4.36.2-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, na estação de Quebedo do dia dia 19/Julho/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície, no dia: **A)** 7/Fevereiro/2006; **B)** 8/Fevereiro/2006; **C)** 9/Fevereiro/2006; **D)** 10/Fevereiro/2006



**Fig.4.36.3-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 11/Fevereiro/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: **A)** Quebedo; **B)** Évora



**Fig.4.36.4-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 12/Fevereiro/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: A) Quebedo; B) Évora



**Fig.4.36.5-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 13/Fevereiro/2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de: A) Quebedo; B) Évora

Analisando as fig. 4.36.1 – 5, constatamos que as retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 31 de Janeiro, nas duas estações, tiveram origem a mais de 2500 m de altitude sobre o Atlântico (próximo da costa oeste da Galiza) fazendo percurso sobre Portugal, Sul de Espanha, Mediterrâneo, centro de Espanha e finalmente Portugal em direcção a Quebedo e Évora. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 1 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a cerca de 1000 m, sobre o Mediterrâneo e atravessaram Espanha até chegarem a Portugal. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h do mesmo dia na estação de Évora tiveram origem no mesmo local que as de Quebedo diferindo apenas numa parte do percurso, pois antes de passarem sobre Espanha, atravessaram o sul de França. As

retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 2 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a cerca de 1000 m, sobre o Nordeste da Península Ibérica e atravessaram Espanha até ao sul, em direcção ao Atlântico e continuando o percurso sobre o Atlântico, próximo da costa sudoeste de Portugal até chegarem a Quebedo. A direcção de chegada das retrotrajectórias é a mesma da direcção média do vento registada nesse dia (fig. 4.35). As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 7 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a cerca de 2000 m, sobre o Nordeste da Península Ibérica e atravessaram Espanha, (passando junto à costa da Andaluzia) antes de chegar a Portugal. Poderemos concluir que os aerossóis registados são aerossóis continentais mas com alguma percentagem de aerossóis marinhos devido a passaram junto ao Mediterrâneo. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 8 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a cerca de 1500 m, sobre o Sul de Espanha (junto ao Mediterrâneo) e prosseguiram até próximo da costa de Marrocos e em seguida atravessaram o Sul de Espanha antes de entrarem em Portugal. Poderemos concluir que os aerossóis registados são uma mistura de aerossóis continentais com aerossóis marinhos e possivelmente com alguma amostra de aerossóis do deserto. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 9 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a cerca de 1000 m, sobre Espanha (região de Valência) e prosseguiram até chegarem a Portugal pela direcção Este. Poderemos assim inferir que os aerossóis registados são do tipo continental. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 10 de Fevereiro, na estação de Quebedo, tiveram origem a baixa altitude, sobre a Argélia, fazendo percurso sobre Marrocos, o Atlântico, Sul de Portugal. Pelo acima exposto, Quebedo esteve sujeita a uma mistura de aerossóis que além dos aerossóis locais era constituída por aerossóis do deserto, aerossóis continentais e marinhos. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 11 de Fevereiro, na estação de Quebedo e Évora, tiveram origem a uma altitude entre 1000 m e 1500 m sobre o norte de África (Argélia e Marrocos respectivamente), fizeram percurso sobre Marrocos, o Atlântico, Sul de Espanha e entraram em Portugal numa direcção próxima de sudeste antes de atingirem as estações de Quebedo e Évora. Poderemos assim concluir que ambas as estações estiveram sujeitas a uma mistura de aerossóis do deserto com aerossóis continentais e marinhos. As retrotrajectórias das  $PM_{10}$ , com chegada às 12 h, do dia 12 de Fevereiro, nas duas estações tiveram origem a uma altitude próxima de 1000 m sobre a região da Estremadura Espanhola e dirigiram-se para o interior norte de Portugal e em seguida para sul (aqui o percurso é sobre a zona de fronteira entre os

dois países ou então sobre território espanhol antes de se dirigirem para a estação de Évora na direção Este e para a estação de Quebedo numa direção próxima de Nordeste). As retrotrajectórias das PM<sub>10</sub>, com chegada às 12 h, do dia 13 de Fevereiro, nas duas estações tiveram origem a uma altitude próxima de 1000 m, sobre a região da Galiza, próximo da fronteira com Portugal, dirigiram-se para a região da Estremadura espanhola e entrando em Portugal pela direcção Nordeste. As duas estações, nos dias 12 e 13 de Fevereiro, estiveram sobre a influência dos aerossóis locais mas também de aerossóis continentais, vindos de outros locais.

### Episódios ocorridos apenas numa estação

No período a que respeita o presente estudo foram dezoito os episódios que ocorreram apenas numa única estação. A tabela 4.9 é uma tabela síntese dos episódios ocorridos apenas em uma das estações.

**Tabela 4.9-** Episódios ocorridos apenas numa estação

Nº	Episódio	Estação	Nº dias	Máximo	Tipo de aerossol
1	04-01 a 05-02-2005	Quebedo	29	103,3	c+m+dd+local
2	26-04- a 27-04-2006	Évora	2	55,3	c+m+local
3	17-05 a 18-05-2006	Terena	2	47,6	c+m+local
4	30-11 a 01-12-2006	Quebedo	2	55,6	c+m+dd+local
5	07-01 a 9-01-2007	Quebedo	3	54,9	c+m+dd+local
6	05-02 a 06-02-2007	Quebedo	3	63,4	c+m+local
7	22-02 a 24-02-2007	M. Velho	3	101,9	c+m+local
8	05-03 a 09-03-2007	M. Velho	3	70,1	c+m+local
9	23-04 a 24-04-2007	Quebedo	2	63,1	c+m+local
10	10-08 a 11-08-2007	Évora	2	42,7	c+m+local
11	26-08 a 27-08-2007	Évora	2	54,2	c+m+dd+local
12	14-09 a 20-09-2007	Évora	7	48,3	c+m+local
13	16-01 a 17-01-2008	M. Velho	2	49,0	c+m+local
14	23-12 a 26-12-2008	Quebedo	4	57,4	c+m+dd+local
15	24-01 a 26-01-2009	M. Velho	3	75,7	c+m+local
16	26-02 a 27-02-2009	Quebedo	2	59,8	c+m+dd+local
17	19-05 a 21-05-2009	Évora	2	46,6	c+m+local
18	18-06 a 19-06-2009	Terena	2	44,2	c+m+dd+local

c- aerossol continental; m- aerossol marinho; dd- aerossol do deserto; local- aerossol local

A classificação dos aerossóis foi feita com base na análise das retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h em cada uma das estações em que se verificou o episódio e que constam em anexo, como anteriormente referido.

Analisando a tabela 4.9 constatamos que sete dos dezoito episódios que ocorreram numa única estação, são episódios do deserto. Também aqui se verifica a influência das poeiras provenientes do Norte de África na região Sul de Portugal, contribuindo para aumentar os valores da concentração mássica de  $PM_{10}$ . A região Sul de Portugal é também afectada pela poluição transportada desde o norte e centro da Europa, além do sal marinho (vindo do Oceano Atlântico e/ou do Mediterrâneo).

#### Análise do Episódio de 26 a 27 de Agosto de 2007

Este episódio teve a duração de dois dias.

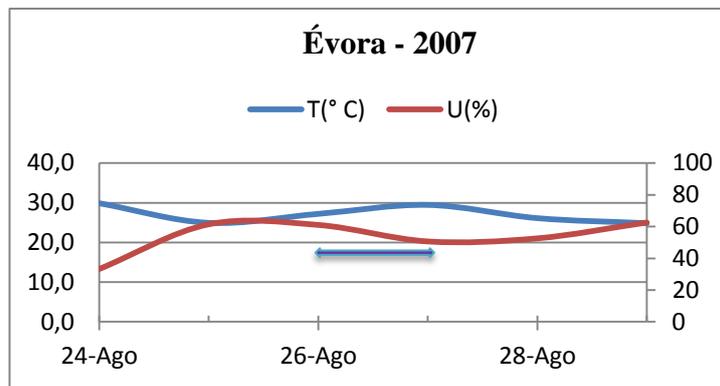


Fig. 4.37- Temperatura e humidade relativa na estação meteorológica de Évora

A temperatura média, no primeiro dia do episódio era próxima de 27 °C e aumentou cerca de 3°C no dia seguinte. A Humidade relativa inicialmente próxima de 61 % diminuiu para cerca de 51%. Registou-se assim um tempo considerado normal durante este episódio, (fig. 4.37).

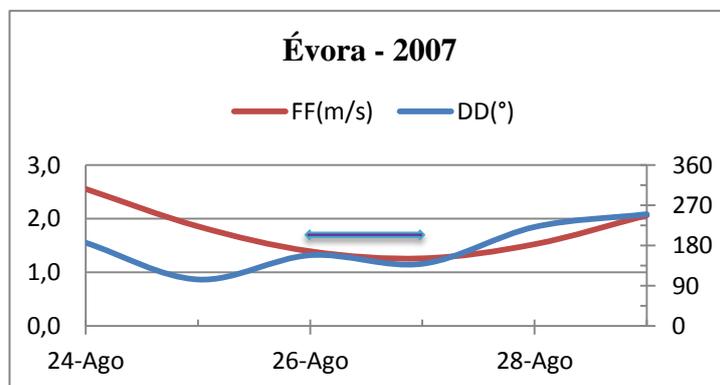
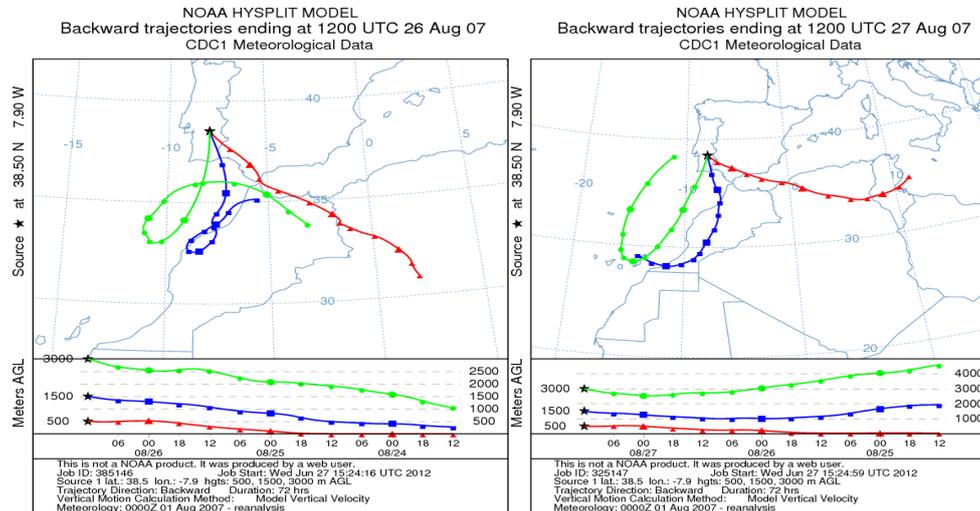


Fig. 4.38- Intensidade e direcção do vento na estação meteorológica de Évora

Analisando os gráficos da fig. 4.38, verificamos que, na estação de Évora, no primeiro dia do episódio (26 de Agosto), a direcção média do vento era entre o Este e Sudeste e no dia seguinte (último dia do episódio) variou para próximo de sudeste. Nos dois dias de episódio, a velocidade média do vento manteve-se praticamente constante, registando os valores mais baixos (inferiores a  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ ). Quando a intensidade do vento é baixa, a dispersão de poluentes é inferior, contribuindo para um aumento da sua concentração nos locais.



**Fig.4.39-** Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, do dia 26 e 27/Agosto/2007, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de Évora

Atendendo às retrotrajectórias (fig. 4.39) constatamos que os aerossóis registados na estação de Évora, no dia 26 de Agosto de 2007 são provenientes de baixa altitude e tiveram origem sobre a Argélia, passaram sobre Marrocos, Mar Mediterrâneo, Sul de Espanha, e seguiram até Portugal, mais precisamente Évora. Os aerossóis atingiram Évora, numa direcção próxima do Sudeste. Os aerossóis registados no dia 27 de Agosto de 2007 são provenientes de baixa altitude e tiveram origem sobre o Mediterrâneo, passaram sobre Tunísia, Argélia, Mar Mediterrâneo, Sul de Espanha, e seguiram até Portugal, mais precisamente Évora, numa direcção entre Este e Sudeste. A direcção de chegada das retrotrajectórias é muito idêntica à direcção média do vento que se fez sentir em Évora nesses dois dias em que se verificou o episódio.

A mistura dos aerossóis registados neste episódio em Évora era constituída essencialmente por aerossóis do deserto e ainda de aerossóis de origem local, aerossóis continentais e marinhos. Os aerossóis locais são mais especificamente aerossóis urbanos resultantes essencialmente de tráfego automóvel. A região de Évora, durante o Verão é também afectada por grande quantidade de aerossóis resultantes dos fogos florestais que ocorrem, na sua maioria, no norte e centro do País, e que são transportados até ao Sul

nas massas de ar com direcção de Norte ou Nordeste (muito frequentes nesta época do ano). Assim, também não é de excluir a existência de aerossóis provenientes de fogos florestais, durante a ocorrência deste episódio.

## 5- Conclusão

De entre as estações analisadas no presente estudo, apresentaram um melhor desempenho nos registos horários da concentração mássica de  $PM_{10}$ , Quebedo e Monte Velho, com falhas nos registos inferiores a 10%, o que é bastante aceitável. Nestas estações verificou-se o estabelecido na EN12341. Segundo esta norma europeia as partículas são medidas activamente em analisadores em contínuo, com uma taxa mínima de recolha de dados de 90 % para a determinação do índice diário das partículas. As estações de Évora e Terena tiveram um desempenho nos registos horários da concentração mássica de  $PM_{10}$ , bastante inferior, cerca de 60%, o que de certo modo compromete as conclusões do presente estudo. Por outro lado o presente estudo analisa apenas 5 anos de dados de concentração mássica de aerossóis (excepto a estação de Évora que apenas detinha 4 anos de dados), o que não é suficiente para se tirarem conclusões de longo prazo, relativas a um estudo de climatologia de aerossóis referente à poluição (concentração mássica) característica em cada um dos locais analisados. Os dados destas duas estações, à semelhança do que aconteceu com Monte Velho e Quebedo, foram devidamente analisados mas as suas conclusões apresentam portanto algumas reservas.

Relativamente ao Valor Limite Anual (VLA), de  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ , não se verificou qualquer excedência a esse valor em qualquer das estações analisadas, porém a estação de Quebedo registou, no ano de 2005, aproximadamente  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  como valor médio anual de concentração mássica de  $PM_{10}$ . As estações de Évora, Terena e Monte Velho, registaram médias anuais de concentração mássica de  $PM_{10}$  muito longe de atingir o VLA. Évora apresentou uma média anual que variou entre  $19,9 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2008 e  $25,8 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2007. A estação de Terena apresentou uma média anual a variar entre  $21,0 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2008 e  $26,1 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2005, qualquer destas mais elevada que as obtidas em Évora, apesar de Évora estar classificada como uma estação urbana influenciada por poluição de "tráfego" e Terena estar classificada como uma estação rural com influência de poluição de "fundo". A estação de Monte Velho apresentou uma média anual a variar entre  $21,5 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2008 e  $31,1 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2006. A estação de Quebedo apresentou uma média anual a variar entre  $28,7 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2008 e 2009 e  $39,8 \mu\text{g m}^{-3}$  no ano de 2005.

As estações de Quebedo e Terena apresentaram a média anual de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevada no ano de 2005, enquanto as estações de Évora e Monte

Velho registaram a média anual mais elevada no ano de 2006. Refira-se que não dispomos de registos da estação de Évora referente ao ano de 2005, e foi neste ano em que se registou mais falhas na estação de Monte Velho, o que contribuiu para que a média anual mais elevada naquelas estações ocorresse num outro ano.

A estação de Quebedo, localizada no centro da cidade de Setúbal, é uma estação urbana e como tal está sujeita a elevadas emissões de gases e partículas entre as quais  $PM_{10}$  provenientes dos escapes dos veículos motorizados. Também a central termoelétrica de Setúbal e a cimenteira têm um peso bastante significativo no balanço da concentração de  $PM_{10}$  naquela cidade. A época do ano em que se verifica maior laboração na central termoelétrica é o Inverno e como tal foi em dois meses do Inverno (Janeiro e Fevereiro) de 2005, que se registaram as médias mais elevadas na concentração mássica de  $PM_{10}$ , o que é bastante compreensível. O ano de 2005 foi um ano em que choveu pouco, pelo que as barragens dispunham de pouca água e houve necessidade de produzir energia eléctrica recorrendo a outra fonte sem ser a hídrica, por isso foram as centrais termoelétricas uma das alternativas a que se recorreu.

A média anual mais baixa de qualquer das estações foi a registada no ano de 2008. Este ano foi um ano em que choveu consideravelmente designadamente no início do Verão, pelo que também não se registou o habitual número de incêndios normalmente verificados nesta estação do ano, o que contribuiu para que a concentração mássica de  $PM_{10}$  no ano de 2008 não fosse muito elevada.

No referente ao valor médio diário verificado em cada estação, foi a estação de Terena que apresentou durante todo o período de estudo o valor mais elevado, seguida de Monte Velho, Évora e Quebedo. Esta situação está relacionada com um episódio extremo de poluição que ocorreu nas proximidades de Terena resultado da associação de aerossóis provenientes de incêndios florestais que se registaram nas proximidades, de aerossóis do deserto e do material particulado gerado na extração e transformação de mármore, em localidades relativamente próximas, como Estremoz, Vila Viçosa, Pardais, Bencatel e Borba, transportadas pelo vento.

O Valor Limite Diário (VLD), de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , foi excedido na estação de Quebedo em mais de 35 dias nos anos de 2005, 2006 e 2007. As estações de Évora, Terena e Monte Velho viram esse valor ser excedido no máximo em 29 dias (Monte Velho), 24 dias em Terena e 20 dias em Évora. De acordo com a legislação em vigor, o Valor Limite Diário (VLD), de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , não deve ser excedido mais do que 35 dias por ano civil, pelo que Quebedo foi a única estação a não respeitar esse limite nos primeiros três

anos do presente estudo. Também aqui é de salientar o valor mais elevado de excedências ocorrido em Terena, em contraste com o ocorrido em Évora, que como se disse anteriormente é considerado um local potencialmente mais gerador de aerossóis (cidade, capital do Alentejo, com tráfego automóvel relativamente intenso), mas com uma localização geográfica e climatológicas idênticas (interior do país, clima do tipo continental).

A estação de Quebedo é sem dúvida a que apresenta uma maior concentração mássica de PM<sub>10</sub> seguida de Monte Velho, Terena e por fim a estação de Évora. Monte Velho e Quebedo estão localizados a norte de Sines, e por esse facto, quando o vento tem a direcção Sul (180°), estão sujeitas às emissões de aerossóis de origem industrial produzidas no complexo industrial de Sines, o que contribui para um aumento da concentração mássica de PM<sub>10</sub>, afectando significativamente a qualidade do ar. Quebedo pode ainda estar sujeita por via dos ventos dominantes da circulação geral, às emissões de aerossóis de origem industrial oriundos da cintura industrial de Lisboa. Há ainda a contribuição significativa dos aerossóis locais produzidos nas centrais térmicas de electricidade e nas cimenteiras da região de Setúbal para além das emissões de aerossóis resultantes do tráfego urbano bem como a dos aerossóis marinhos.

Monte Velho, por intermédio dos ventos dominantes da circulação geral pode estar sujeita às emissões de aerossóis de origem industrial oriundos da cintura industrial de Lisboa, e também de Setúbal, em particular os produzidos nas centrais térmicas de electricidade e nas cimenteiras. Além disso, Monte Velho sendo uma estação de fundo e localizada junto ao mar além de inserida num parque natural, sofre também a influência de emissões florestais e aerossóis marinhos.

Évora sendo uma estação urbana possui um tráfego automóvel considerável, estando assim sujeita a emissões de aerossóis resultantes da queima incompleta dos combustíveis fósseis.

Terena sendo uma estação de fundo, localizada no interior do Alentejo, relativamente próxima da fronteira com Espanha e inserida numa zona onde sofre a influência de emissões de material particulado resultante da actividade agrícola dos campos e da extracção e transformação de mármore que tem lugar de forma contínua e intensa em localidades relativamente próximas, como Estremoz, Borba, Vila Viçosa, Bencatel e Pardais e que são transportados pelo vento.

Em qualquer das quatro estações, Évora, Monte Velho, Quebedo e Terena foi ainda observado que está esporadicamente sob a influência dos aerossóis do deserto

provenientes do norte de África. Uma prova destas ocorrências é a existência de episódios de poluição que ocorreram naquelas estações no período a que respeita o presente estudo. Entre 2005 e 2009, ocorreram quarenta e três episódios de poluição na região Sul de Portugal, sendo que vinte e três deles (53%), podem ser considerados como episódios de aerossóis do deserto.

A concentração mássica de  $PM_{10}$  no Alentejo, é relativamente baixa quando comparada com outros locais. Refira-se que a média interanual nas estações de Évora, Terena e Monte Velho foram respectivamente,  $22,6 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $24,3 \mu\text{g m}^{-3}$ , e  $26,4 \mu\text{g m}^{-3}$  enquanto a de Quebedo, localizada fora do Alentejo, registou o valor  $33,2 \mu\text{g m}^{-3}$ . Uma outra prova é a percentagem de dias com excedências (relativamente ao número de dias com registo) ao VLD registado em cada estação no período a que respeita o presente estudo. A estação de Évora apresenta uma percentagem de dias com excedências máxima de 6,3 %, no ano de 2006, Terena tem 9,3 % também em 2006 e Monte Velho 8,0% enquanto Quebedo surge com 17,7 % no ano de 2006 e 23,5 % em 2005. A estação utilizada no presente estudo, Quebedo e que já não pertence ao Alentejo (apesar de se localizar na região limítrofe exterior a norte/noroeste do Alentejo), é a que apresenta valores de concentração mássica de  $PM_{10}$  mais elevados, porem não é a que apresenta valores máximos mais elevados.

A região Alentejo, por diversas vezes no ano, sofre a influência de aerossóis transportados de outros lugares e que têm origem natural e/ou antropogénica. As concentrações elevadas de poluentes estão sempre associadas a intensidades do vento fracas, pois a dispersão dos poluentes é reduzida contribuindo para que a sua concentração na atmosfera seja maior. A direcção do vento é outro factor importante na dispersão dos poluentes. Na região Alentejo verifica-se com alguma frequência a existência de episódios de poluição. Como já anteriormente referido, cerca de 53% dos episódios registados na região Sul de Portugal, podem ser considerados episódios do deserto e a mistura de aerossóis transportados de outros locais são aerossóis do deserto, aerossóis marinhos e continentais. Nos restantes 47% dos episódios, a mistura de aerossóis transportados de outros locais são do tipo marinho e do tipo continental e eventualmente resultantes de incêndios florestais, o designado “carvão negro” que ocorrem maioritariamente no norte e centro do País, durante o Verão, e que são transportados até ao Sul nas massas de ar com direcção Norte ou Nordeste (muito frequentes nesta época do ano). Em qualquer destas situações de episódios referenciadas no presente estudo, estava presente para além dos aerossóis transportados a longas

distâncias, os produzidos pelas fontes locais. A região Alentejo sofre a influência de aerossóis de origem natural, nomeadamente, os sais marinhos, o pó originado pelo vento a partir do solo, poeiras do deserto, decomposição de resíduos nos solos, pólenes, esporos e bolores.

Como anteriormente referido, a emissão, dispersão e o transporte da maioria dos aerossóis é condicionada por variáveis meteorológicas, como vento, humidade e temperatura. Assim é de prever que as alterações climáticas, quer as induzidas pelo Homem quer as associadas à variabilidade natural tenham também influência na emissão e dispersão dos aerossóis e estes por seu turno promovam por si só, alterações climáticas, dada a sua interacção com a radiação, as nuvens e a precipitação.

## 6- Referências Bibliográficas

- Ackerman, A.S., et al., 2000: Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science*, 288, 1042–1047.
- Albrecht, A.A., 1989. Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, 245, 1227-1230.
- Almeida, S. (2004). “ Composição e origem do aerossol atmosférico em zona urbano-industrial”. Dissertação de doutoramento. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.
- Almeida, S. M., Pio, C.A., Freitas, M. C. (2005). “Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast.” *Atmospheric Environment*,: 3127- 3138
- AMAP (1997). *Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report*. Oslo, Arctic Monitoring and Assessment Programme.
- Artiñano, B., Querol, X., Salvador, P., Rodriguez, S., Alonso, D., Alastuey, A. (2001). Assessment of airborne particulate levels in Spain in relation to the new EU- Directive. *Atmospheric Environment*, 35, S43-S53.
- Baron, P.A, e Willeke, K., 2001. *Aerosol Measurement. Principles, techniques and applications*. John Willey and Sons, Inc. 2<sup>nd</sup> Edition. 1130 pp.
- Blanchard, D. C.; Woodcock, A. H. (1957). Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus*, 9, 145 – 152.
- Brink, H., 2004. Artefacts in measuring (the composition of) Particulate Matter Europe: introducing INTERCOMP 2000. *Atmospheric Environment*
- Buckley, Bruce; Hopkins, Edward J.; Whitaker, Richard (2006). *Clima*. Lisboa: Temas e Debates. ISBN 978-989-644-025-1.
- Carvalho, R.A.C., Lopes, M.A.V. (2000?) *Duas décadas de observações da concentração de partículas inaláveis à superfície em Portugal*. Instituto de Meteorologia- Portugal
- Carvalho, A. C., et al (2006). Influence of topography and land use on pollutants dispersion in the Atlantic coast of Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment*, 40, 3969 - 3982.

- Chadwick, O.A., et al., 1999: Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397(6719), 491.
- Charron, A., Harrison, R.M. Moorcroft, S., J., 2004. Quantitative interpretation of divergence between PM10 and PM2,5 mass measurement by TEOM and gravimetric (Partisol) instruments. *Atmospheric Environment*
- Coutinho, M. S. “As circulações atmosféricas de mesoscala na costa portuguesa. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do Grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.” 1995.
- Decreto-Lei N° 276/99 de 23 de Julho
- “Decreto-Lei N° 111/2002. Valores limite e gestão da qualidade do ar referentes a determinados poluentes.” DIÁRIO DA REPÚBLICA – I SÉRIE - A n° 89, 16 de Abril de 2002: 3711
- Decreto-Lei N° 102/2010 de 23 de Setembro
- Deepak, A.; Gali, G. (1991). *The International Global Aerosol Program (IGAP) Plan*. Deepak Publishing, Hampton, VA.
- de Freitas, C.C. M. L., 2006. Condições meteorológicas sinópticas e de mesoescala durante episódios de poluição atmosférica por matéria particulada na área da grande Lisboa. Tese de mestrado. Departamento de Física, Universidade de Évora. 172 pp.
- Dentener, F., et al., 1996: Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere. *J. Geophys. Res.*, 101, 22869–22889.
- Dentener, F., et al., 2006: The global atmospheric environment for the next generation. *Environ. Sci. Technol.*, 40 (11), 3586–3594.
- Directiva 96/62 /CE, de 27 de Setembro
- Directiva 1999/30/CE, de 22 de Abril
- Directiva 2000/69 /CE, de 16 de Novembro
- Directiva 2008/50 /CE, de 21 de Maio
- Dokery, D.W., et al. “An association between air pollution and mortality in six US cities.” *New England Journal of Medicine*, 1993: 1743-1759.
- Dokery, D., Pope, A., 1996. Epidemiology of acute health effects: summary of times-series studies. In: Wilson, R., J.D. (Eds.), *Particles in our Air: concentration and Health Effects*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, pp. 123-147.

- Draxler, R. R. (2011). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Model access via NOAA ARL's READY web site (<http://www.arl.noaa.gov/ready.php>), Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD
- EC Working Group on Particulate Matter, "Guidance to Member States on PM10 Monitoring and Intercomparisons with the Reference Method", 2002
- EMEP, 2005. Transboundary particulate matter in Europe. EMEP.
- EN 12341:1998, 1998 Air Quality – determination of the PM10 fraction of suspended particulate matter - reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalent of measurement methods, CEN 1998.
- Elias, T., Silva, A.M., Formenti P., Belo, N., Pereira S., Formenti P., G. Helas, and F. Wagner (2006): Aerosol extinction in a remote continental region of the Iberian Peninsula during summer, *Journal of Geophysical Research*, 111, D14204, doi:10.1029/2005JD006610.
- Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Ávila, M. Alarco'n, M.M., Viana, A., Alastuey, Cuevas, E. and S. Rodriguez (2005). Wet and dry African dust episodes over eastern Spain, *J. Geophys. Res.*, 110, D18S08. doi: 10.1029/2004JD004731.
- Escudero, M., Querol, X., Ávila, A., Cuevas, E. (2007) "Origin of the exceedances of the European daily PM limit value in regional background areas of Spain", 41, 730-744.
- Exercício de Intercomparação de PM<sub>10</sub> Atmosféricas, Monte Velho 2006; Amadora 2007.
- Freeman, A. Myrick (2002). Environmental Policy Since Earth Day I: What Have We Gained?. *Journal of Economic Perspectives*, 16/1.
- Geherig, R., Buchmann, B. "Characterising seasonal variations and special distribution of ambient PM10 and PM2,5 concentrations based on long-term Swiss monitoring data." *Atmospheric Environment*, 2003: 2571-2580.
- Gonzalez, S. R. (2002). "Source and processes affecting levels and composition of atmospheric particulate matter in the Western Mediterranean", Tese de Doutoramento. Institute of Earth Sciences "Jaume Almera" – CSIC, Universidade Politécnic da Catalunha, Espanha.

- Hoobs, P. V.; Bowdle, D. A.; Radke, L. F. (1985). Particles in the lower troposphere over the high plains of the United States. *Journal Climate Appl. Meteorol*, 24, 1344 – 1356.
- Husar, R.B., Husar, J.D., Martin, L. (2000). Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data. *Atmospheric Environment*, 34, 5067-5078.
- IPCC (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*; contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J.T.Houghton, Y. Ding, and D.J. Griggs, pp289-348, Cambridge Univ. Press, New York.
- Jaenicke, R. (1993). Tropospheric aerosols; in *Aerosol – Cloud – Climate Interactions*, Edited by P. V. Hobbs. San Diego: Academic Press, 1 – 31.
- Jickells, T.D., et al., 2005: Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*, **308**(5718), 67–71.
- Junge, C. 1963. *Air Chemistry and Radioactivity*. New York: Academic Press
- Kolstad, Charles D. (2010). *Environmental Economics*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0195-1195-41
- Lazridis, M., Semb, A., Larssen, S., Hjellbrekke, A.G., Hov, O., Hanssen, J. E., Schaug, J., Torseth, K. “Measurements of particulate matter within the framework of the European Monitoring and Evaluation (EMEP) I. First results.” *Sci Total Environment*, 2002: 209-235.
- Lenschow, P., H.J. Abraham, K. Kutzner, M. Lutz, J. D. Preuß, e W. Reichenbacher. “Some ideas about the sources of PM<sub>10</sub>” *Atmospheric Environment*, 2001 122-133.
- Marcazzan, G.M., Ceriani, M., Valli, G., Vecchi, R. “Source apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> in Milan (Italy) using receptor modeling”. *Sci Total Environ*, 2003, 137-147.
- MarK, David (1998). *Atmospheric Aerosol Sampling*. In Harrison, R.M., Grieken. *Atmospheric Particles*. John Willey & Sons, 5, 30-93.
- Matos, João; Quintino, Paula; Marques, Alvaro Bandeira. LRA; Agencia Portuguesa do Ambiente (2007). *Exercício de Intercomparação de PM<sub>10</sub> Atmosféricas - Monte Velho 2006*.

- Miranda, R. M. “Caracterização físico-química e propriedades ópticas do aerossol urbano na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, IAG-USP”, 2001.
- Miranda, P.; Santos, F.D. (2006). Alterações climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de adaptação – Projecto SIAM II- Gradiva. ISBN 989-616-081-3
- Monahan, E. C.; Fairall, C. W.; Davidson, K. L. Jones-Boyle, P. (1983). Observed inter-relationships amongst 10-m-elevation winds, oceanic whitecaps, and marine aerosols. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 109, 379 – 392.
- Neto, J. Estudo da circulação Atmosférica de Verão sobre a região de Lisboa. Interacção entre a brisa de Mar, os efeitos de Ilha Urbana, a Orografia e a Presença do Estuário. Dissertação submetida à Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico. Área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas, 2005.
- Nunes, C., (2008). Distribuição Espaço- Temporal das PM<sub>10</sub>, em Áreas Rurais de Portugal Continental. Tese de mestrado. Departamento de Física, Universidade de Trás os Montes.
- Okin, G.S., N. Mahowald, O.A. Chadwick, and P. Artaxo, 2004: Impact of desert dust on the biogeochemistry of phosphorus in terrestrial ecosystems. *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB2005, doi: 10.1029/2003GB002145.
- Ott, S. T.; Ott, A.; Martin, D. W.; Young, J. A. (1991). Analysis of trans-Atlantic Saharan dust outbreak based on satellite and GATE data. *Mon. Weather Rev.*, 119, 1832 – 1850.
- Pereira S., Formenti P., Silva, A.M. Medição de espessuras ópticas em Évora com um radiómetro MFRSR-7., 2003. Livro de Resumos do 1º Congresso de Pós- Graduação em Ciências da Terra, Clima e Espaço da Universidade de Évora.
- Pereira, Sérgio Nepomuceno (2006). Utilização de um monitor de Partículas para a Determinação da Concentração Mássica de Aerossóis à Superfície e Validação das Medições. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico.
- Pereira, Sérgio Nepomuceno (2011). Climate Relevant Characterization of different Aerosol types observed near the surface over Portugal. Dissertation

submitted to the University of Évora to obtain the Degree of Doctor in Earth and Spaces Sciences.

- Pio, C.A., Castro, L.M., Cerqueira, M.A., Santos, I. M, Belchior, F., Salgueiro, M.L. 1996 “Source assessment of particulate air pollutants measured at the southest European coast”. *Atmospheric Environment*, 30, 3309-3320.
- Pope, C. A., Dockery, D. W., Schwartz, J. (1995) Review of epidemiological evidence of health effects of particulate air pollution” *Inhalable Toxicology*, 7, pp. 1-18.
- Pope, C. A. e D. W. Dockery. “Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect.” *Journal of Air and Waste Management Association*, 56 (6), 2006: 709-742.
- Prior, V., O. Manso, e Y. Yoshihiro (2007). Estrutura Termomecânica da Baixa Troposfera Associada ao Regime de Brisas em Portugal. In *Comunicações ao 5.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica*, Peniche 5 a 8 de Fevereiro 2007.
- Prospero, J. M., Nees, R.T., and Uematsu, M. (1987). Deposition rate of particulate and dissolved aluminum derived from sahara dust in precipitation in Miami, Florida,. *J. Geophys. Res.*, 92, 14723 - 14731.
- Prospero, J. M. (1995). *The atmospheric transport of particles to the ocean, in SCOPE Report: Particle Flux in the Ocean*. Ittekkot, V., Honjo, S., Depetris, P. J. (Eds.), Wiley, New York, NY.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E.(2002), Environment Characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product, *Rev. Geophys.*, 40(1), 1002, doi:10.1029/2000RG000095.
- Putaud, J. P., et al., 2004: European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmos. Environ.*, **38**, 2579–2595.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S, Viana, M. M., Artiñano, B., Salvador, P. Mantilla, E., Garcia dos Santos, S., Fernandez Patier, R., de La Rosa, J., Sanchez de La Campa, A., Menéndez, M., Gil, J. J., 2004. Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain. *Science of the Total Environment*, 334-335, 359-376.

- Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliaou O.. “Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in southern and E. Spain. *Atmospheric Environment*, 2001: 2433-2447.
- Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Plana, F. . “Sources and process affecting levels and composition of atmospheric particulate matter in the Western Mediterranean” . *Journal of Geophysical Research*, 2002: 4777.
- Rodriguez, S., Querol, X., Alastruey, A. Viana, M., Alarcón, M., Mantilla, E., Ruiz, C. R. 2004. Comparative PM<sub>10</sub>-PM<sub>2,5</sub> source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. *Science of the Total Environment*, 328, 95-113.
- Rosenfeld, D., 1999. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, **26**(20), doi: 10.1029/1999GL006066.
- Rosenfeld, D., 2000. Supression of rainand snow by urban and industrial air pollution. *Science*, 287, 1793-1796.
- Salgado, Rui Paulo Vasco (1996). Modelação de circulações atmosféricas induzidas por heterogeneidades na superfície. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico.
- Salvador, P., Artiñano, B., Querol, X., Alastuey, “A combined analysis of backward trajectories and aerosol chemistry to characterise long-range transport episodes of particulate matter: The Madrid air basin, a case study.” *Science of the Total Environment*, 2008: 495-506.
- Santos, D.N., 2005b. Aerosol Radiative Forcing over the South of Portugal: a combination of surface and satellite measurements. *Proceedings of J. Aerosol Conference*, ISBN 9080915939, pp409, European Aerosol Conference, Ghent, Bélgica, 28 de Agosto a 2 de Setembro.
- Schwartz, J.; Dockery, D.W.; Neas, L.M (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles?. *J Air Waste Manage Assoc.*, 927-939.
- Schwartz, S.E., and M.O. Andreae, 1996: Uncertainty in climate change caused by aerosols. *Science*, **272**, 1121–1122.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998) “Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change”, John Wiley & Sons Inc. Wiley Interscience. USA.

- Sievering, H., et al., 1992: Removal of sulphur from the marine boundary layer by ozone oxidation in sea-salt aerosols. *Nature*, 360, 571–573.
- Silva, A.M., Costa, M. J., Elias, T., Formenti P., Belo,N., Pereira S., “Ground based aerossol monitoring at Évora, Portugal. *Global Change Newsletter*, Issue Nº 56 pp 6-9, December 2003
- Spengler, J., Wilson, R. (1996). “ Particles in our air: concentrations and health effects” Harvard University Press, USA.
- Stull, R. B. “An Introduction to Boundary Layer Meteorology”. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands*, 1991.
- Tente, H. (2005). “ Impacte das partículas em suspensão sobre a saúde humana: uma abordagem multidisciplinar para a cidade de Lisboa”. Tese de mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Twomey, S., 1974. Pollution and the planetary albedo. *Atmospheric Research*, 8 1251-1256.
- Umann, B., et al., 2005: Interaction of mineral dust with gas phase nitric acid and sulfur dioxide during the MINATROC II field campaign: First estimate of the uptake coefficient gamma ( $\text{HNO}_3$ ) from atmospheric data. *J. Geophys. Res.*, 110, D22306, doi:10.1029/2005JD005906.
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodriguez, S. (2002). Influence of African dust on the levels of atmospheric particulate in the canary Islands air quality network. *Atmospheric Environment*, 36, 5861-5875.
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Gangoiti, G., Menéndez, M. (2003). *Atmospheric Environment*, 37, 2879-2891.
- Wall, S. M.; John, W.; Ondo, J. L. (1988). Measurement of aerosol size distributions for nitrate and major ionic species, *Atmos. Environ.* 22, 1649 – 1656.
- Wall, S. M.; John, W.; Ondo, J. L. (2002). Measurement of aerosol size distribution for nitrate and major ionic species, *Atmos. Environ.* 22, 1649 – 1656.
- Whitby, k. T., and Cantrell, B. (1976) Fines particles, in International Conference on Environmental Sensing and Assessment, Las Vegas, NV, Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- Whitby, k. T., 1978. The physical characteristics of sulfur aerosol. *Atmospheric Environment*, 12, 135-159.

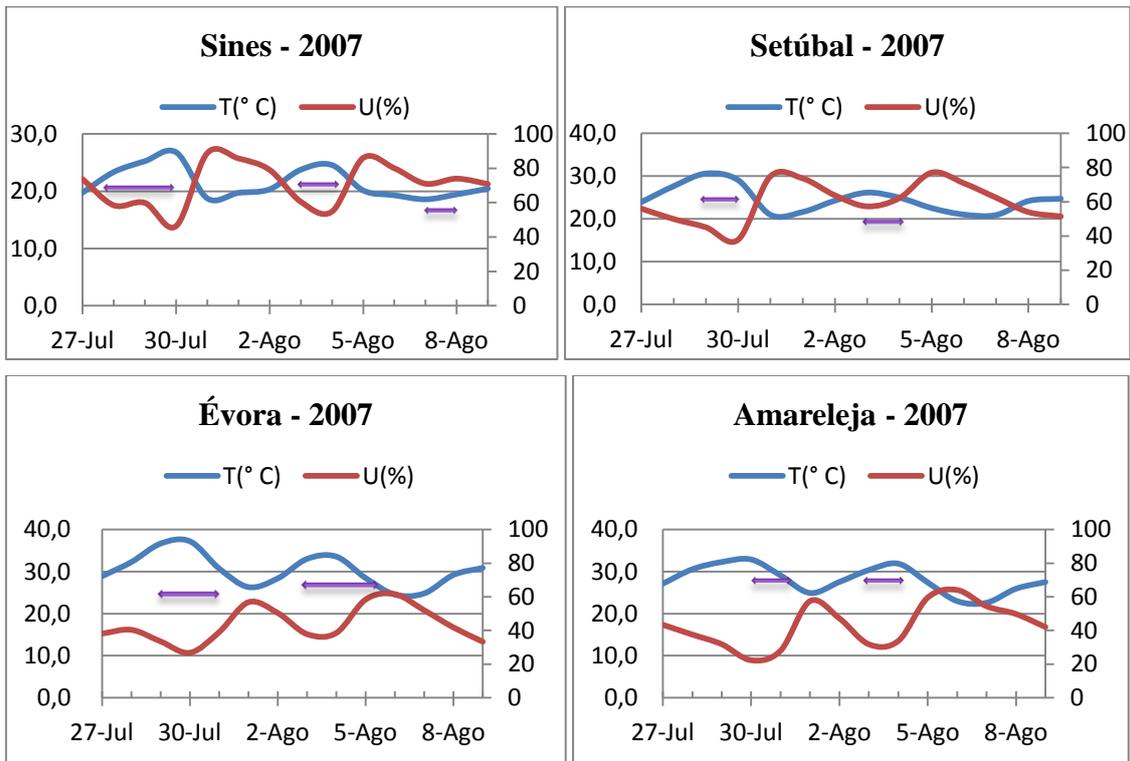
- WHO (2002). Guidelines for concentration and exposure-response measurement of fine particle matter for use in epidemiological studies. Published on behalf of European Commission and World Health Organization, EUR 20238 EN.
- WHO (2003). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- <http://www.cge.uevora.pt/pt/laboratobservat-mainmenu-101/fca-da-atmosfera-mainmenu-102>
- <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=4&subpage=3&estacao=4002>
- <http://www.setubalpeninsuladigital.pt/pt/conteudos/produtos+terra+mar/>
- [www.thermo.com/air](http://www.thermo.com/air)

## **ANEXO**

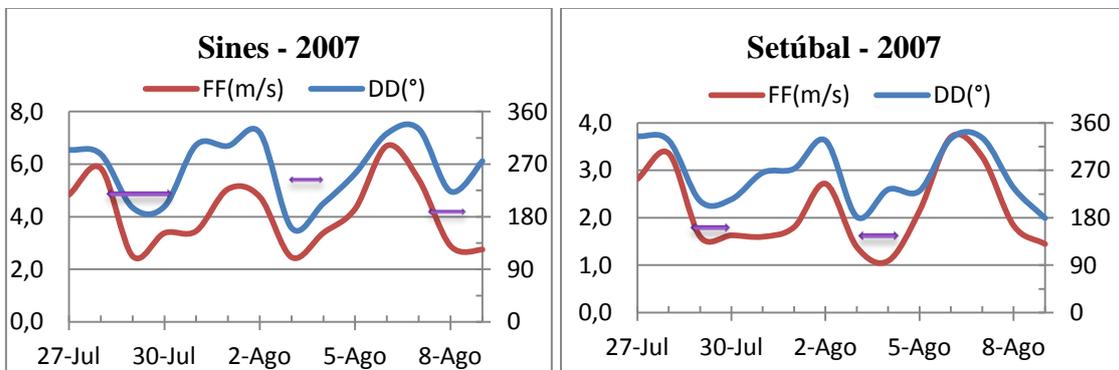
**Informação meteorológica e retrotrajectórias relativas aos episódios de aerossol ocorridos nas estações de Évora, Monte Velho, Quebedo e Terena entre 2005 e 2009**

**Episódio comum às quatro estações**

Episódio de 28 de Julho a 8 de Agosto de 2007



**Fig. A.1.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



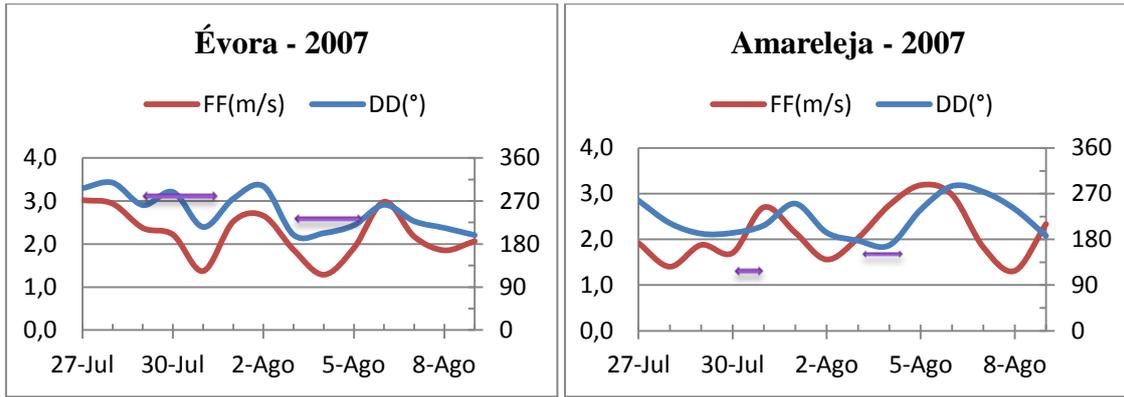


Fig. A.1.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

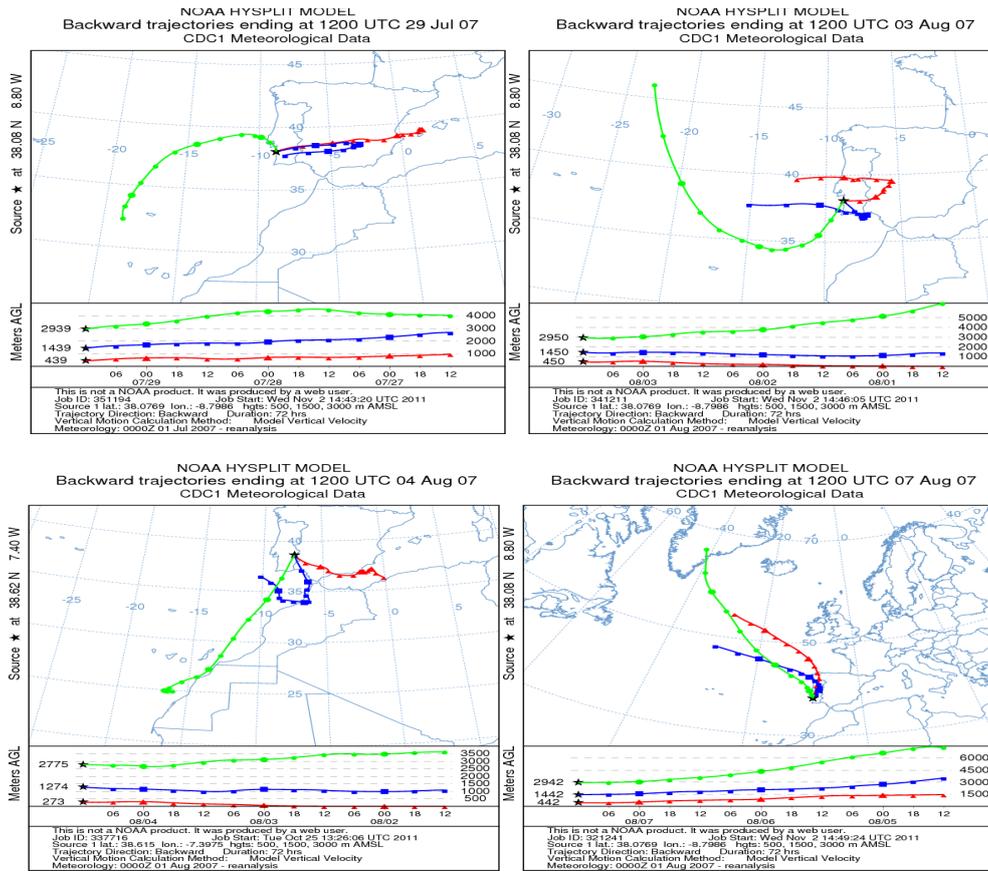
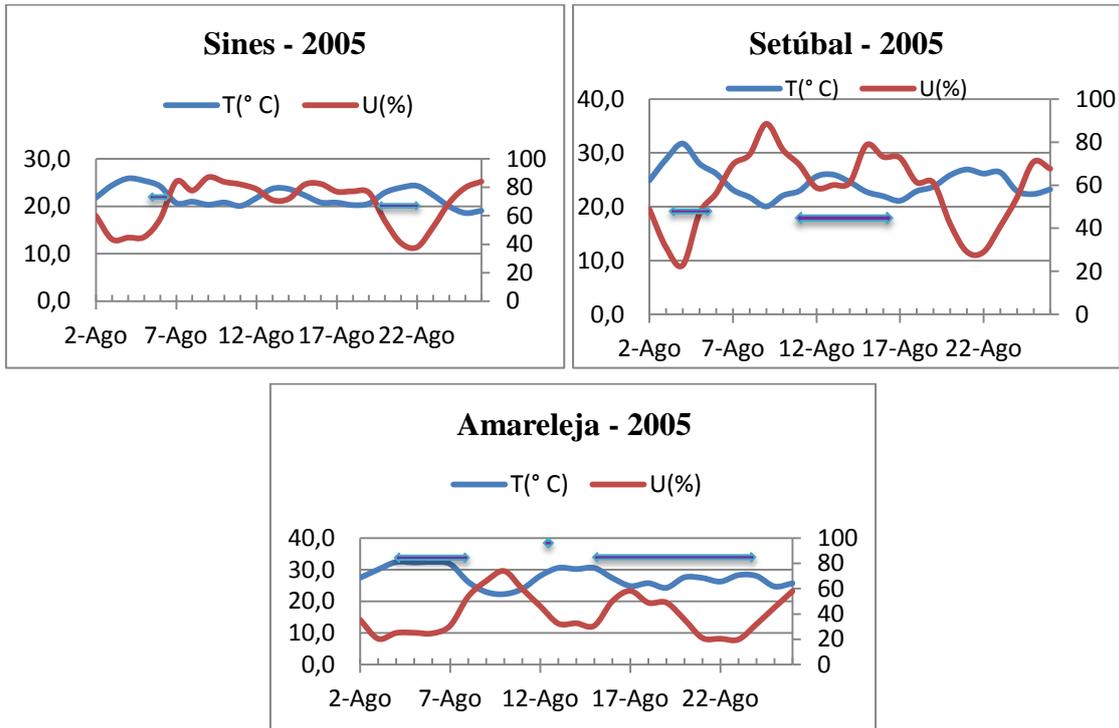


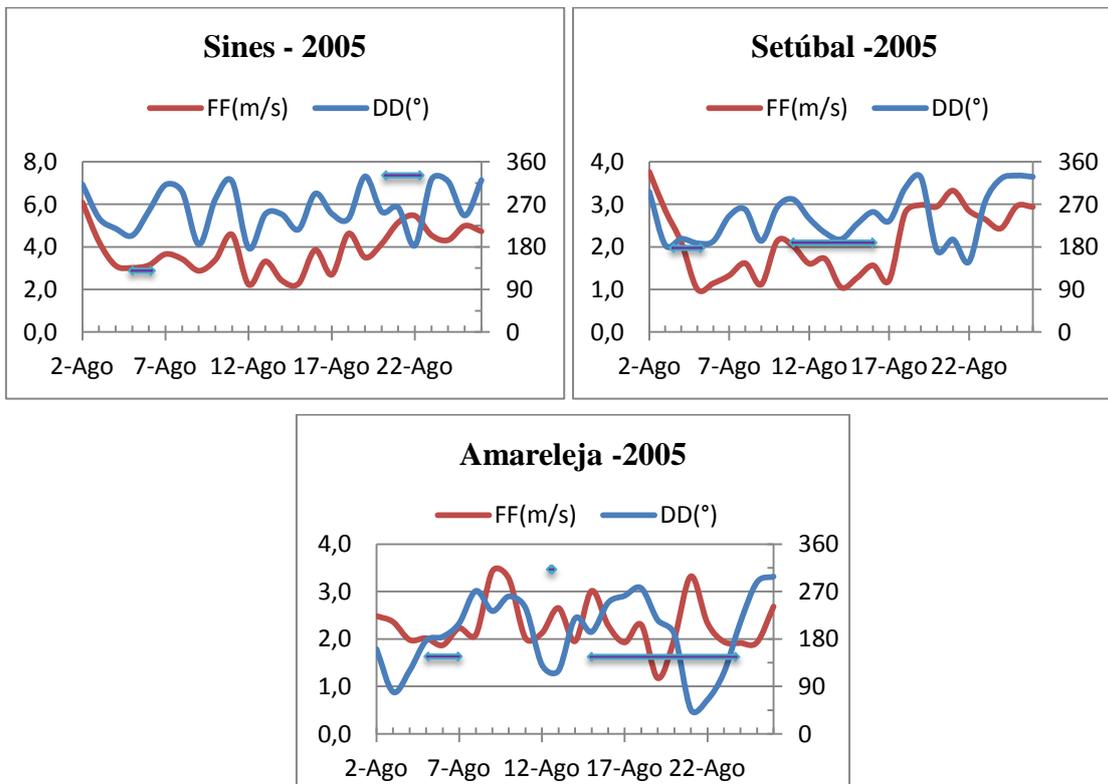
Fig. A.1.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 28/07/2007 a 8/08/2007

**Episódios comuns a 3 estações**

**Episódio de 4 a 24 de Agosto de 2005**



**Fig. A.2.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.2.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

# Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

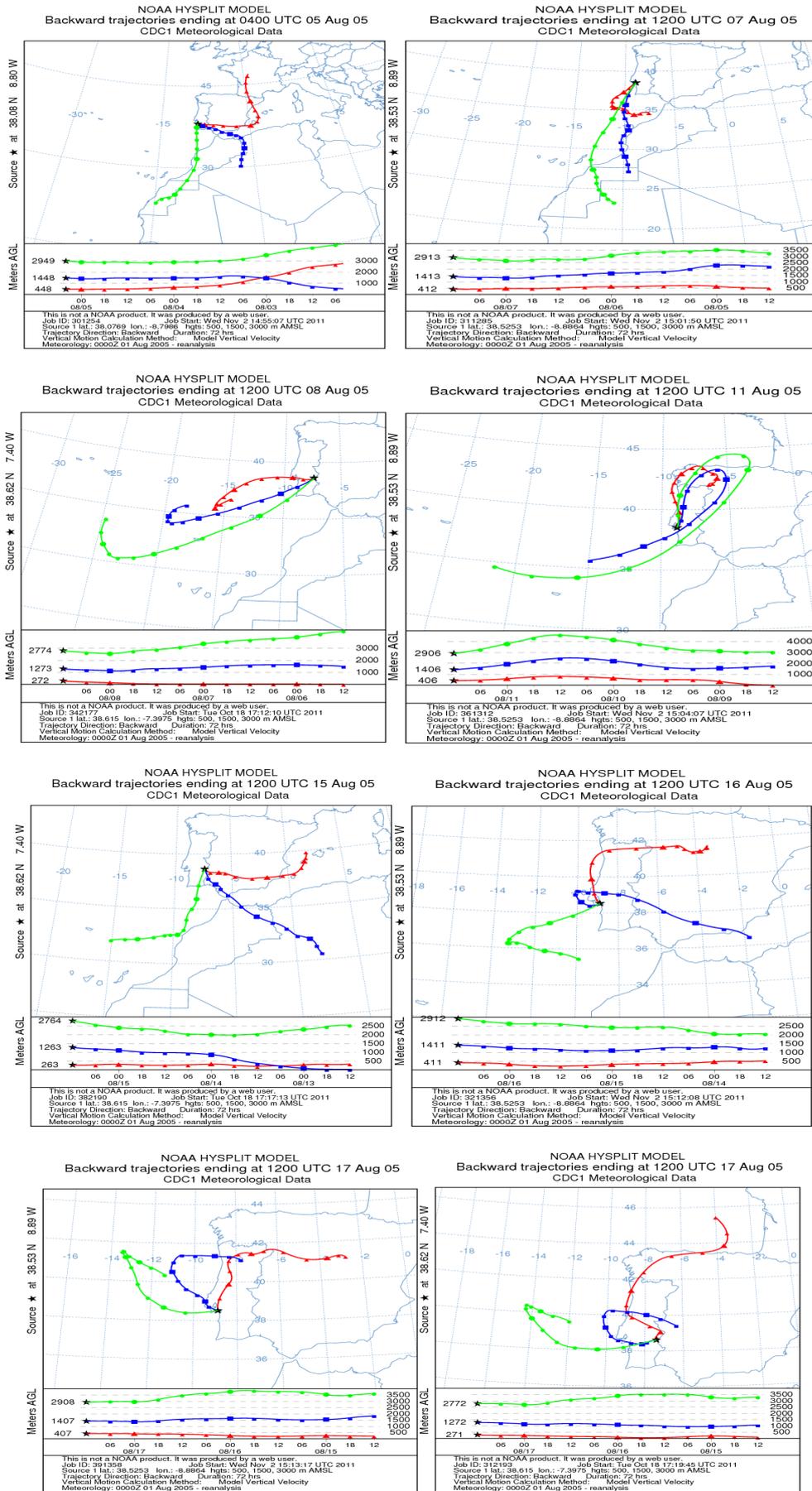
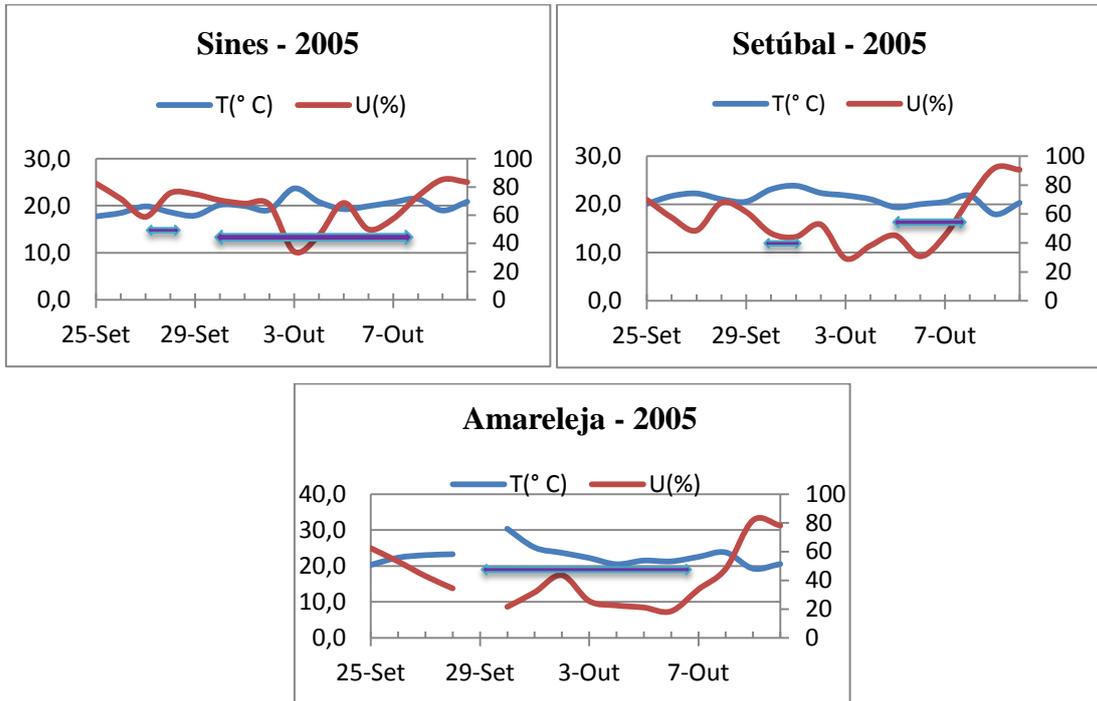
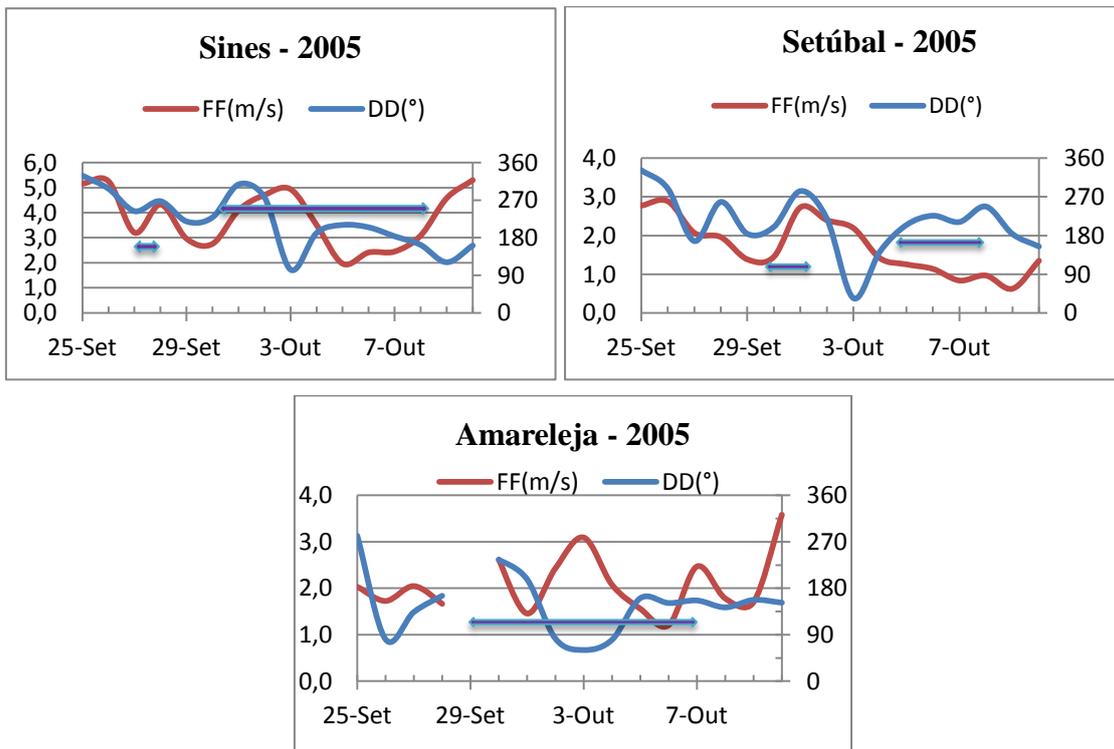


Fig. A.2.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 04/08/2005 a 24 /08/2005

**Episódio de 27 de Setembro a 8 de Outubro de 2005**



**Fig. A.3.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.3.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

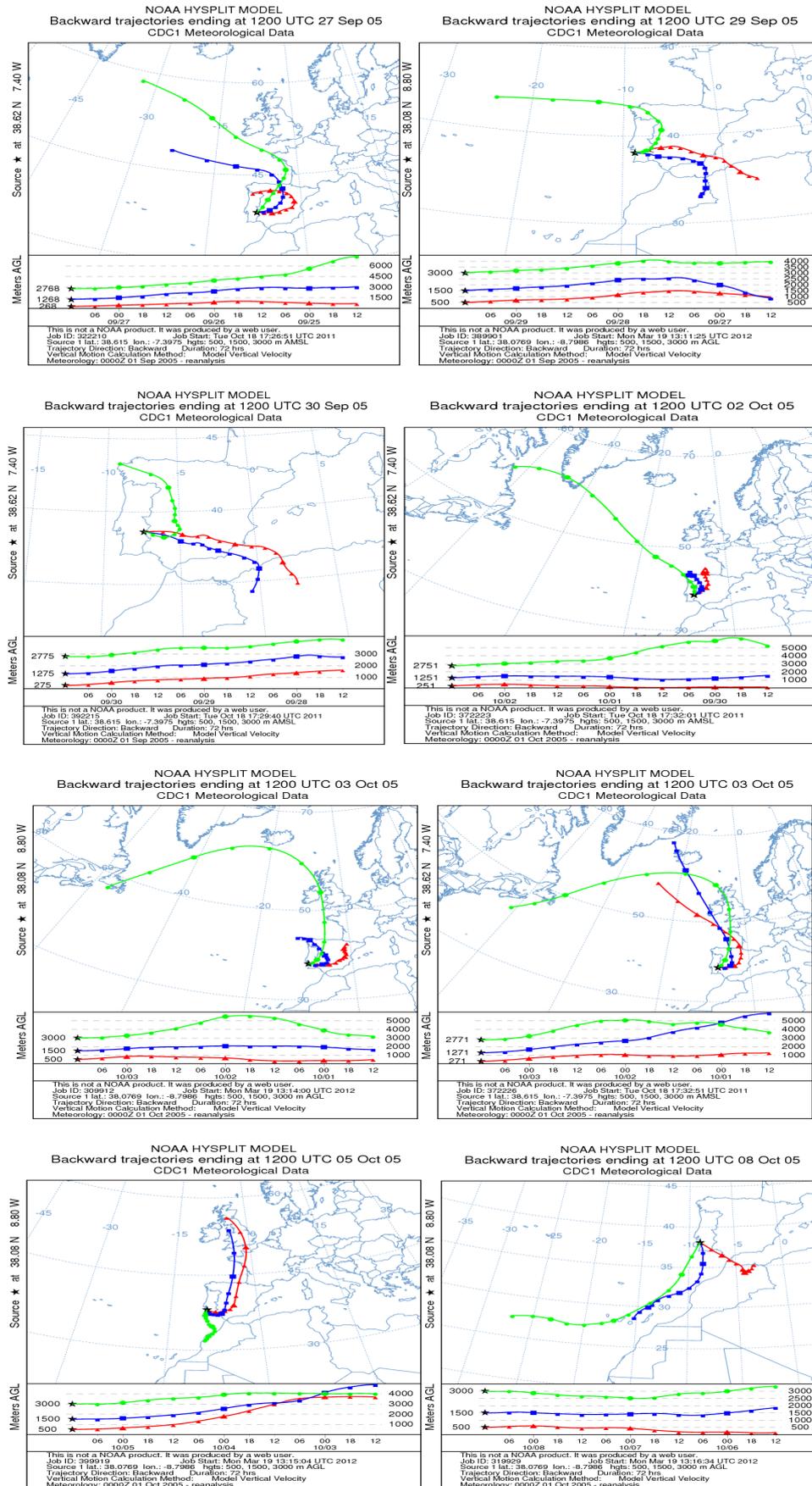
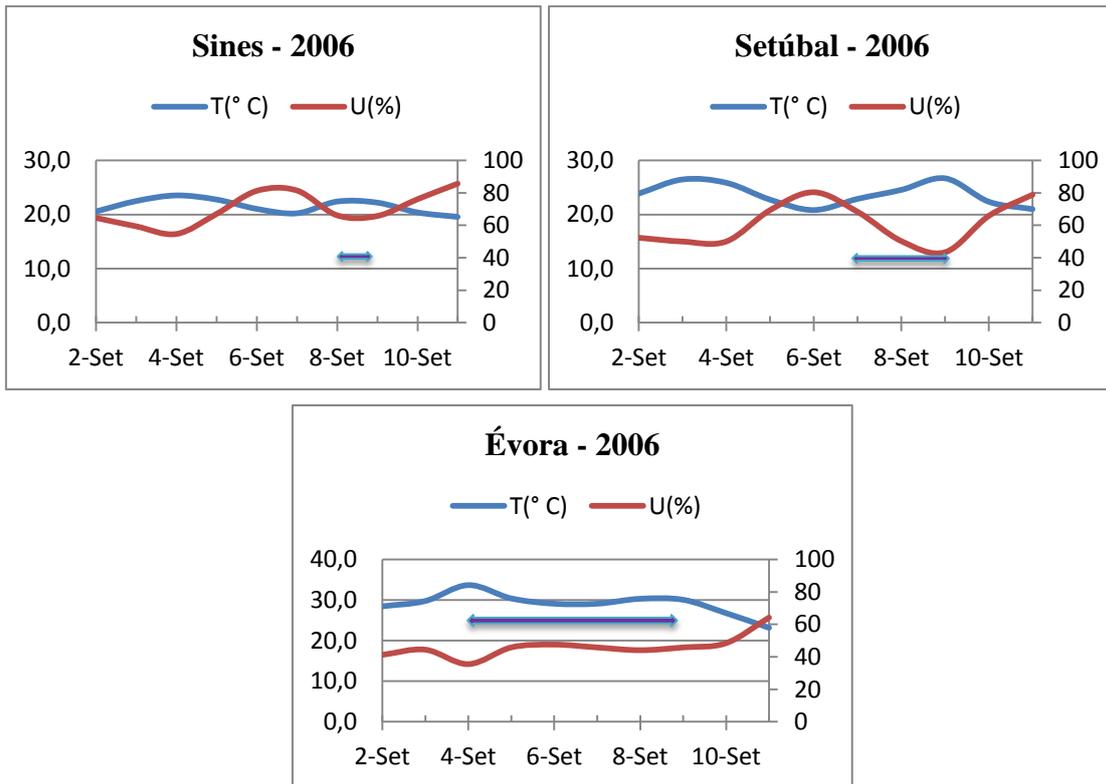
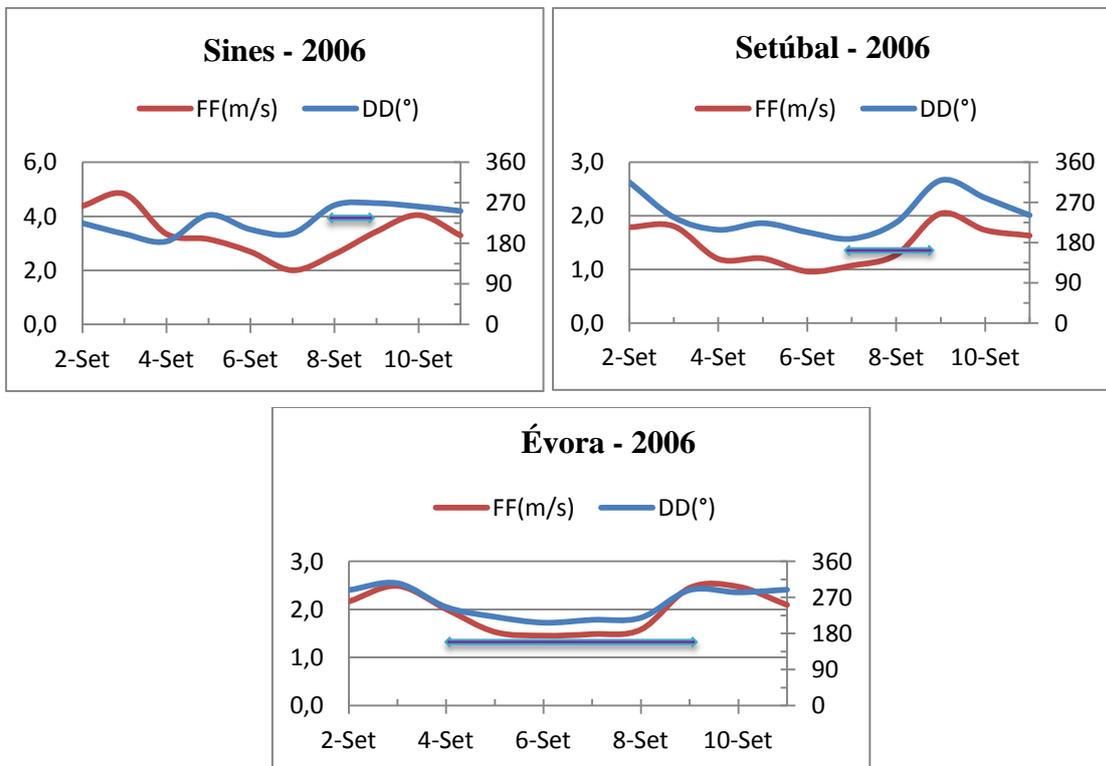


Fig. A.3.3- Retrotrajetórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 27/09/2005 a 8/10/2005

**Episódio de 4 a 9 de Setembro de 2006**



**Fig. A.4.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.4.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

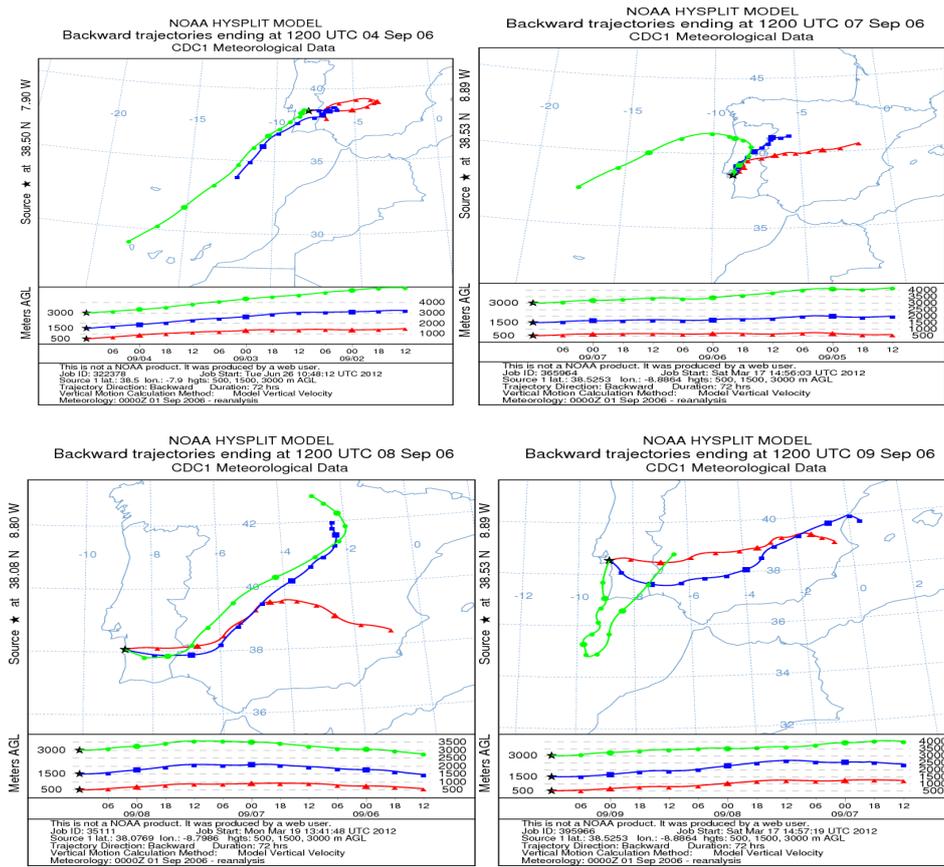


Fig. A.4.3- Retrotrajetórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 04/09/2006 a 9/09/2006

Episódio de 4 a 18 de Novembro de 2007

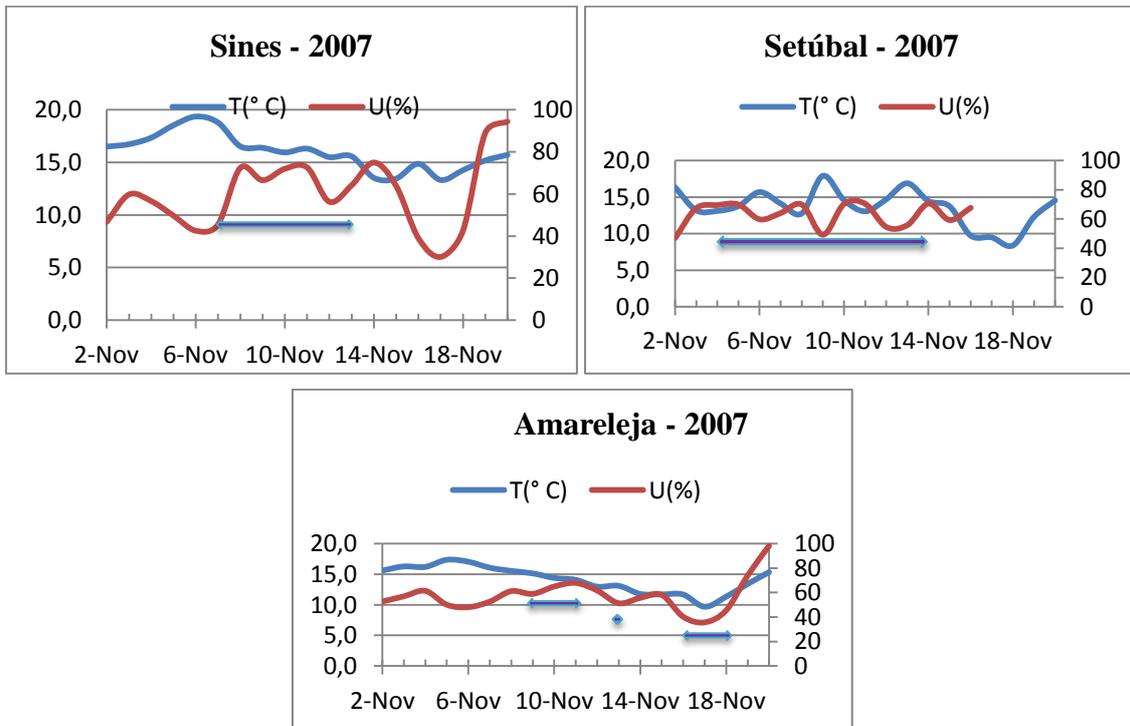


Fig. A.5.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

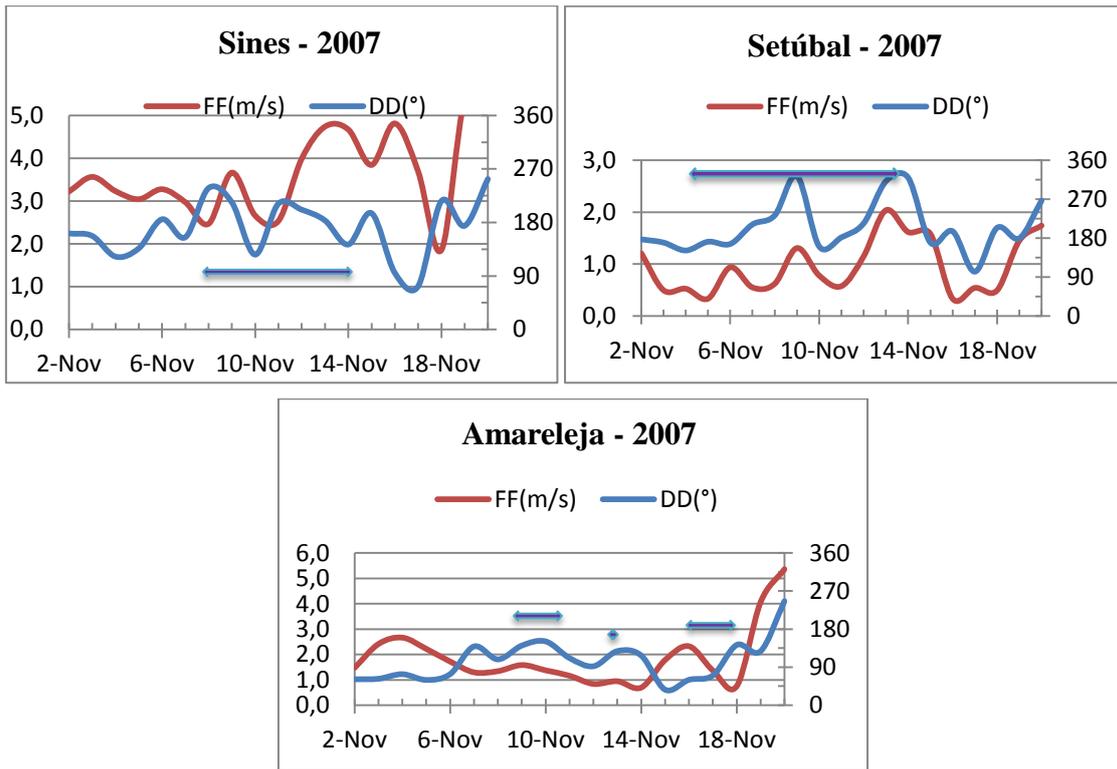
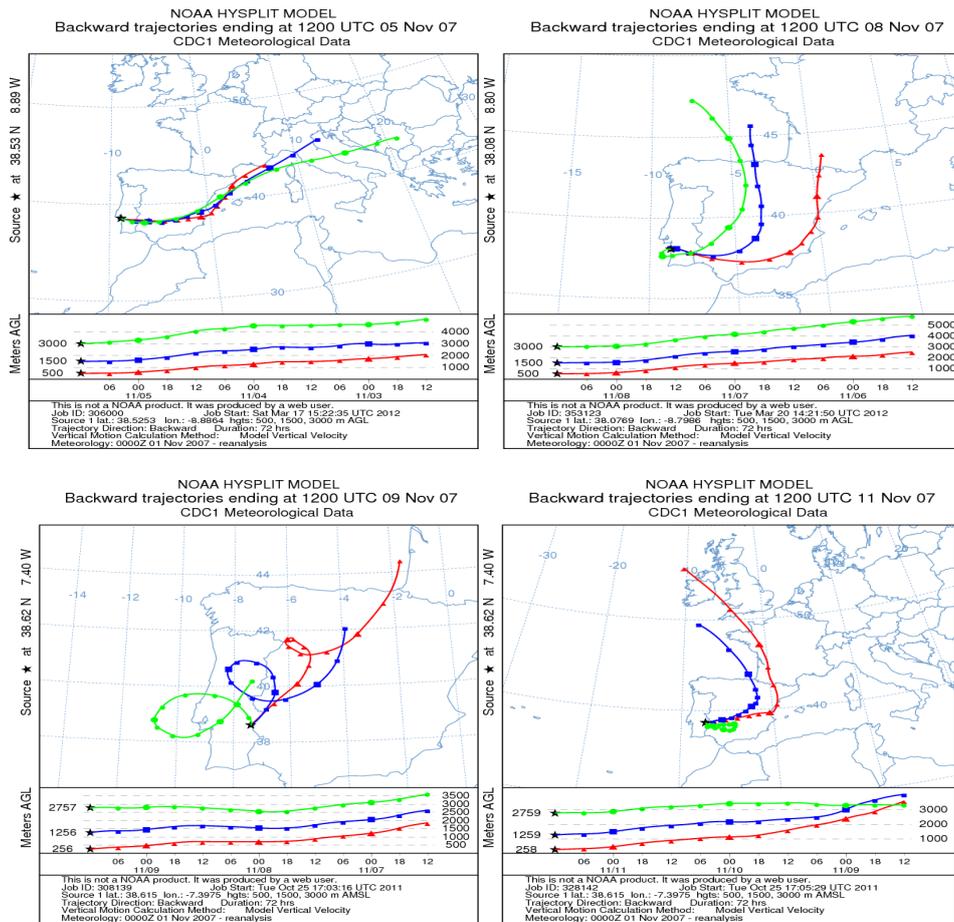


Fig. A.5.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



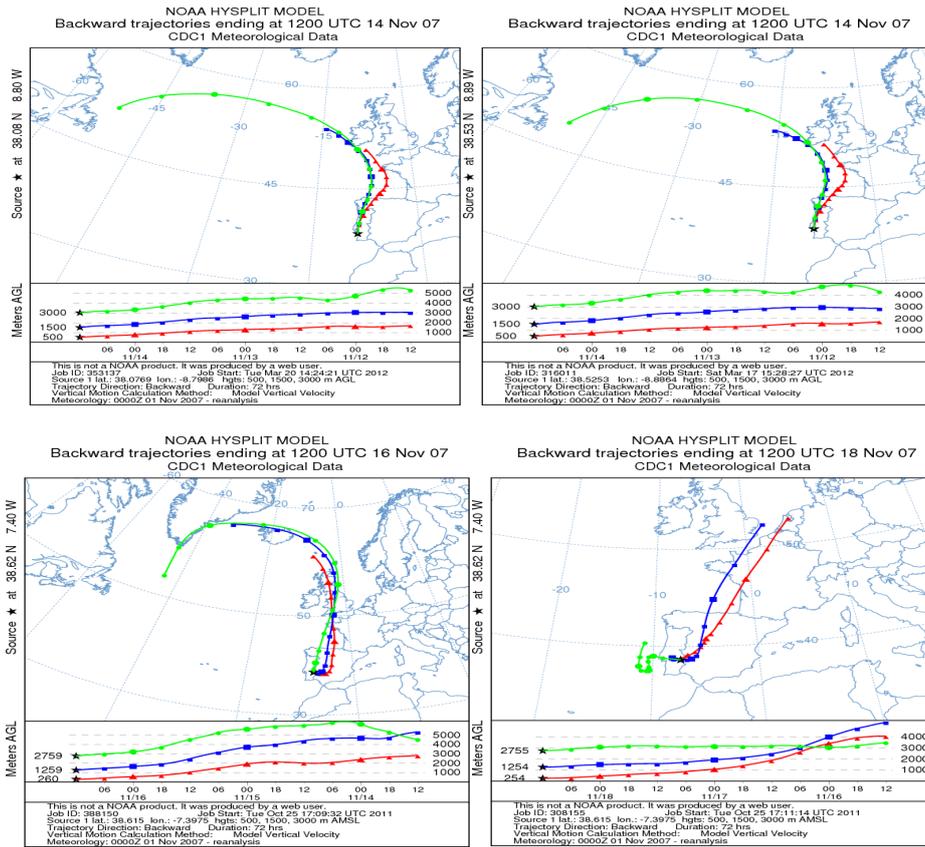


Fig. A.5.3 - Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 04/11/2007 a 18 /11/2007

Episódio de 14 a 16 de Fevereiro de 2008

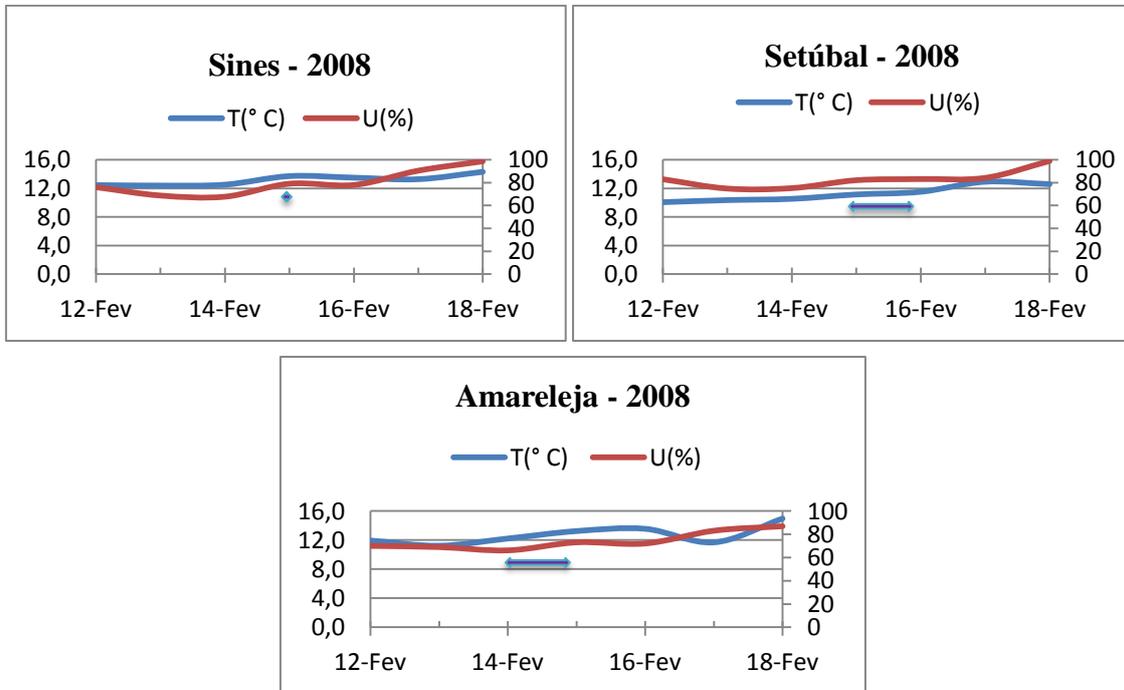


Fig. A.6.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

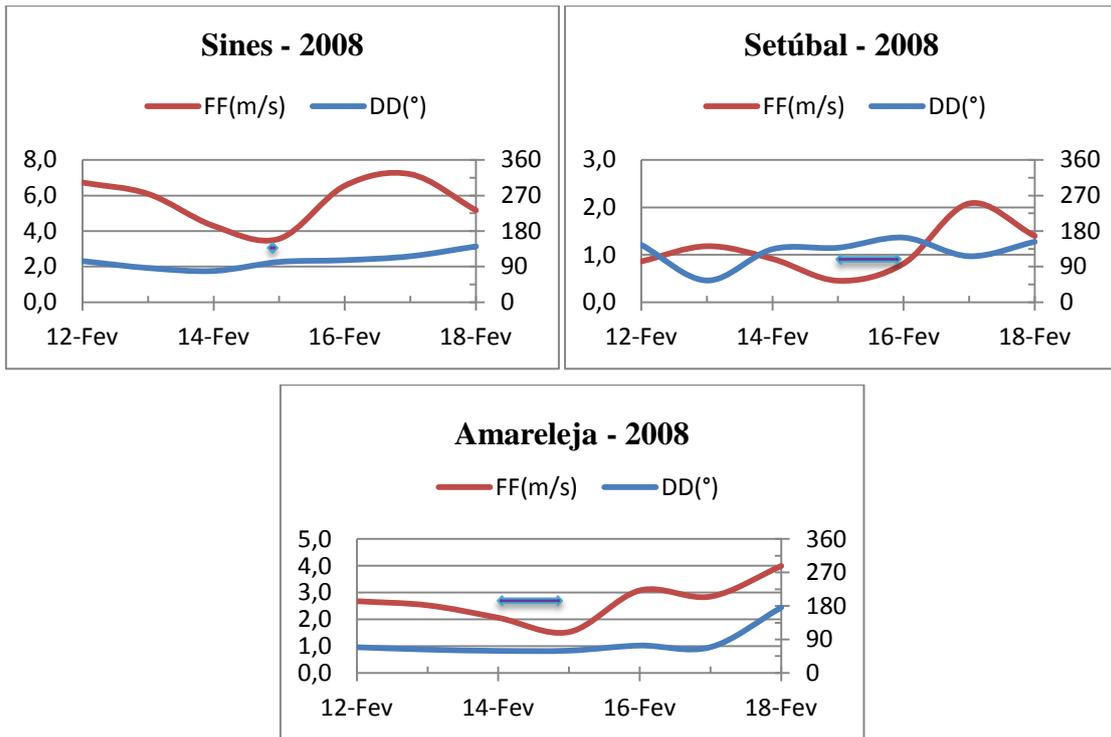


Fig. A.6.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

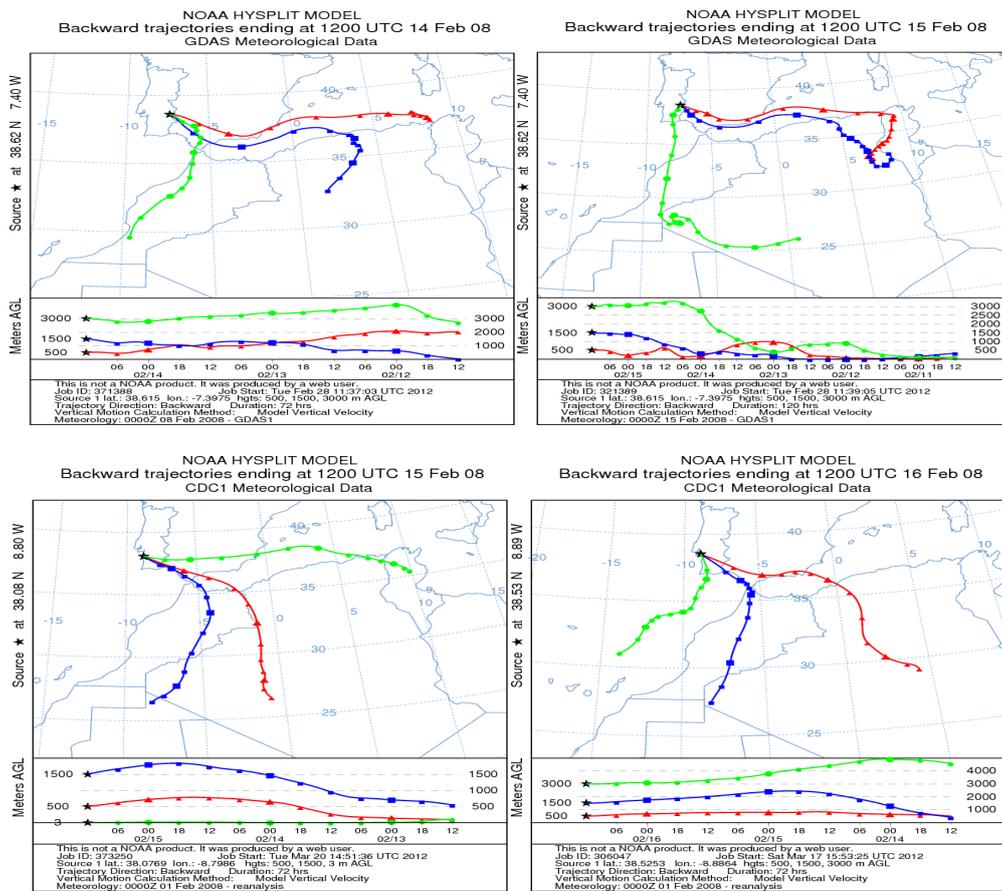
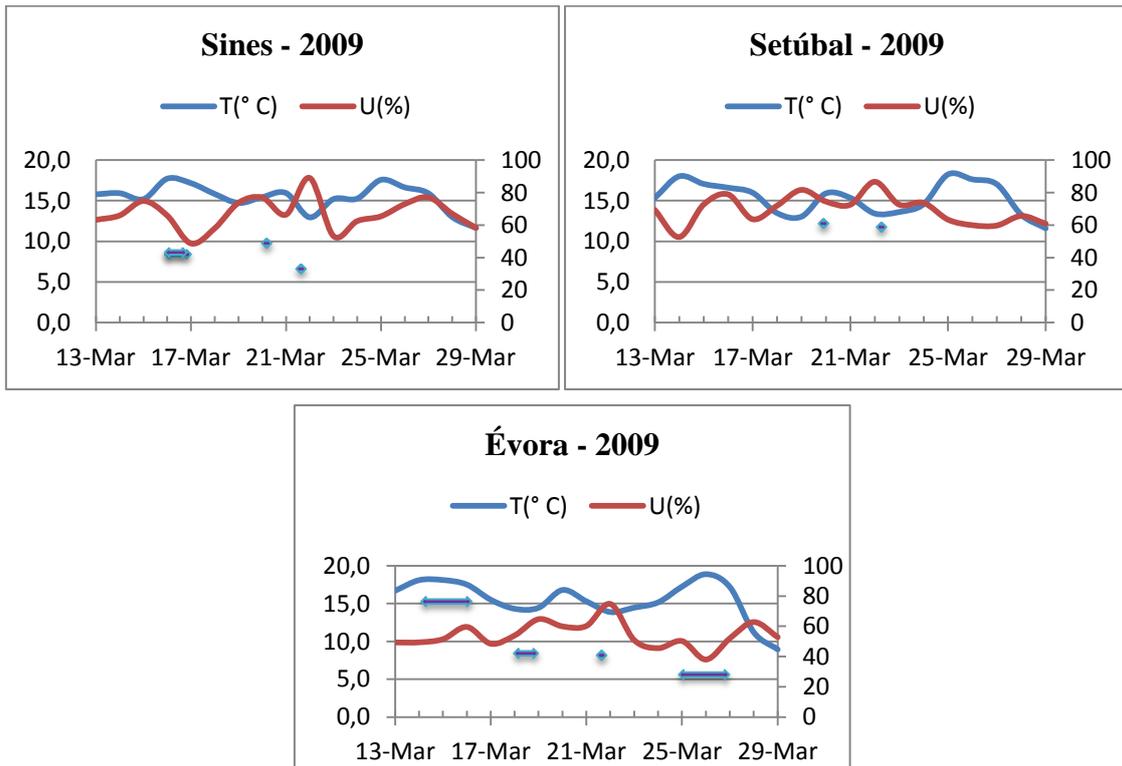
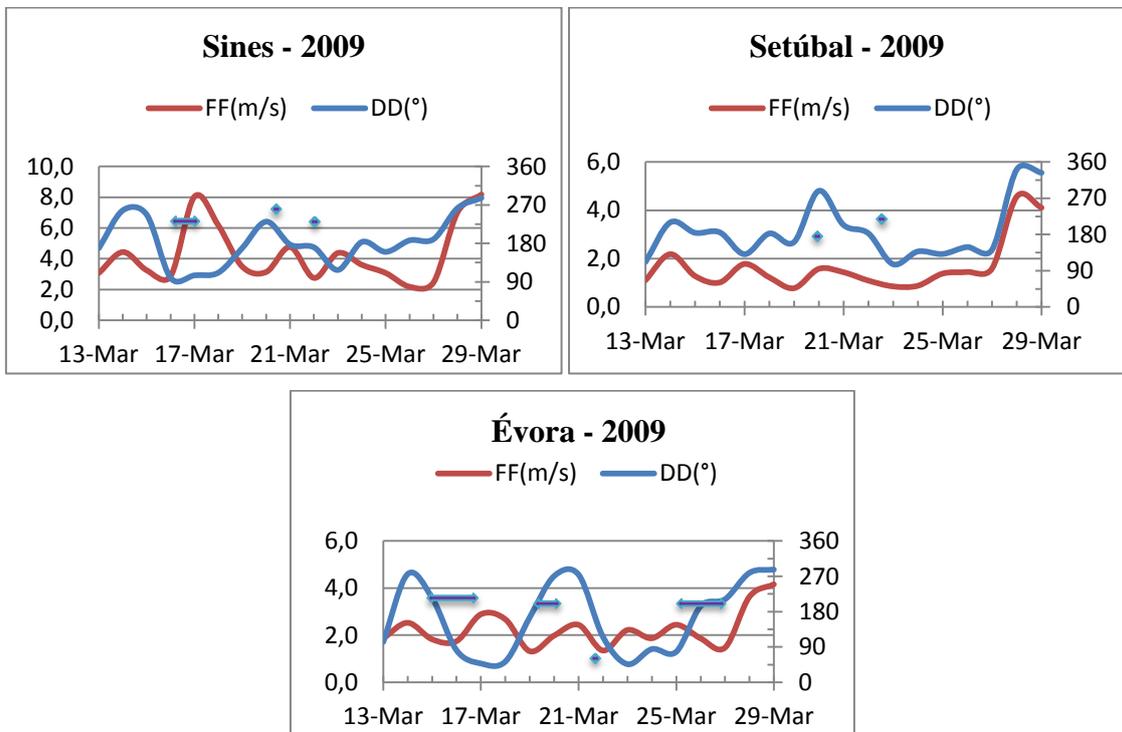


Fig. A.6.3 – Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 14/02/2008 a 16 /2/2008

**Episódio de 15 a 27 de Março de 2009**



**Fig. A.7.1** - Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.7.2** - Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

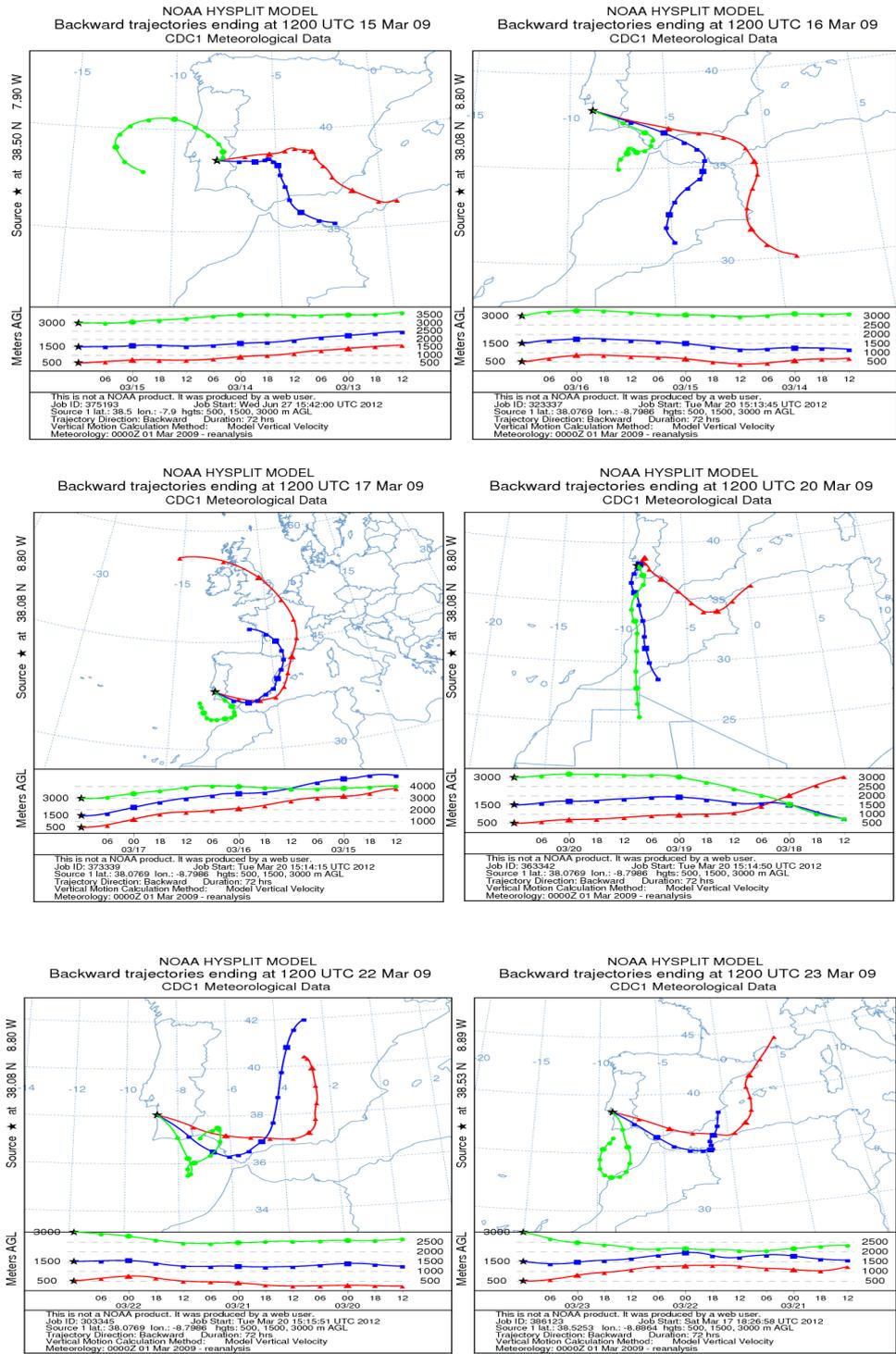
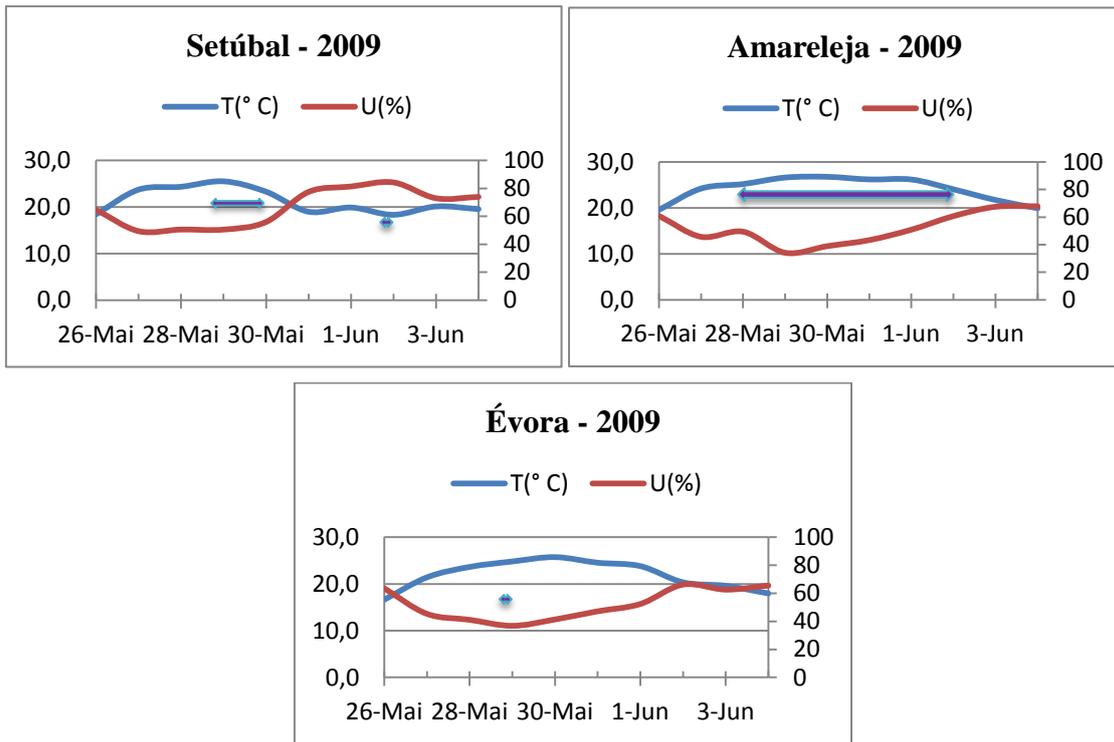
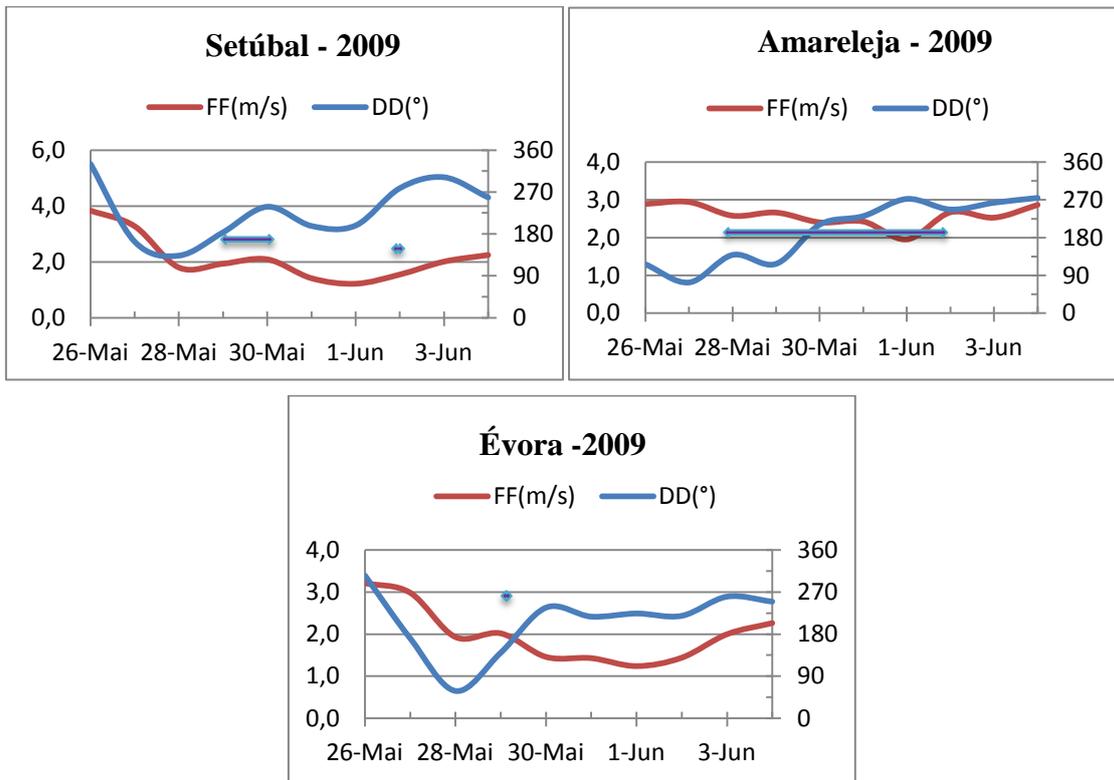


Fig. A.7.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 15/03/2009 a 27 /3/2009

**Episódio de 28 de Maio a 2 de Junho de 2009**



**Fig. A.8.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.8.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

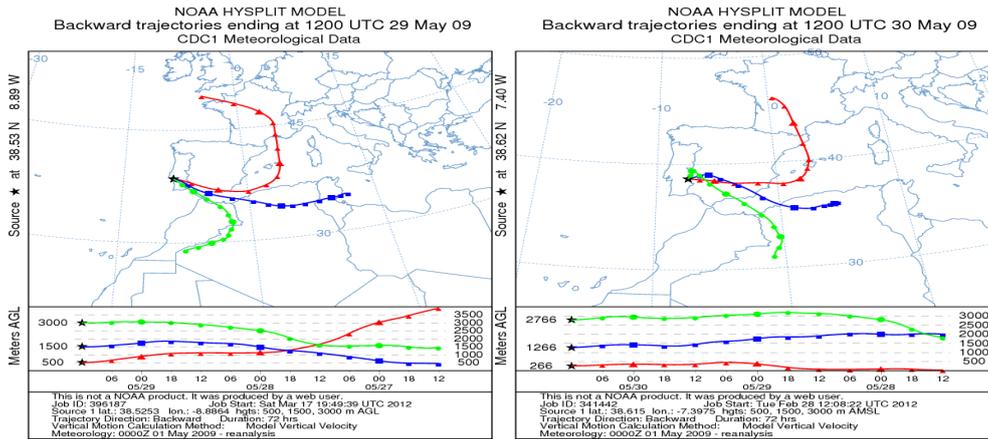


Fig. A.8.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 24/05/2009 a 02 /06/2009

Episódio de 7 a 12 de Setembro de 2009

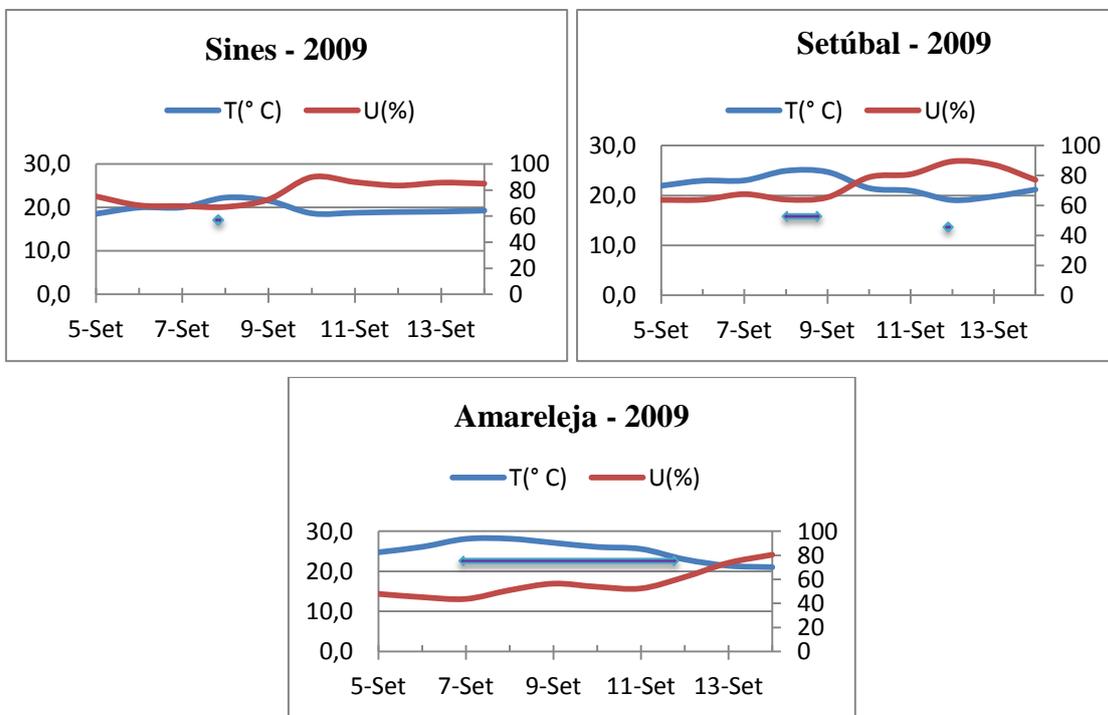
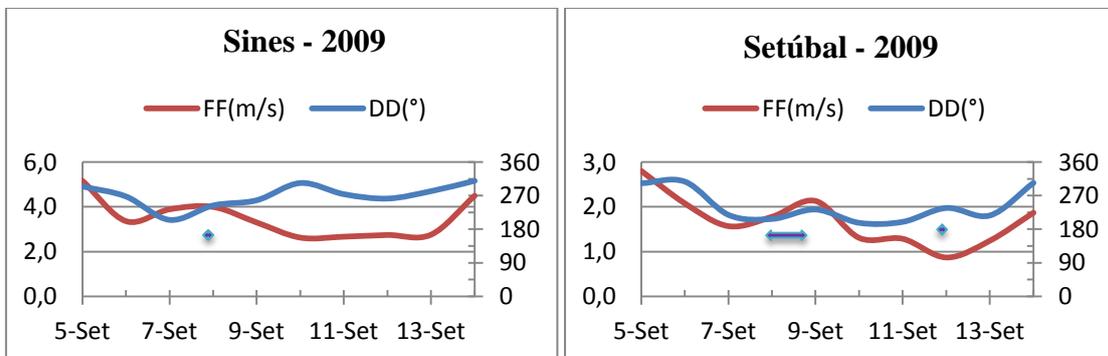


Fig. A.9.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



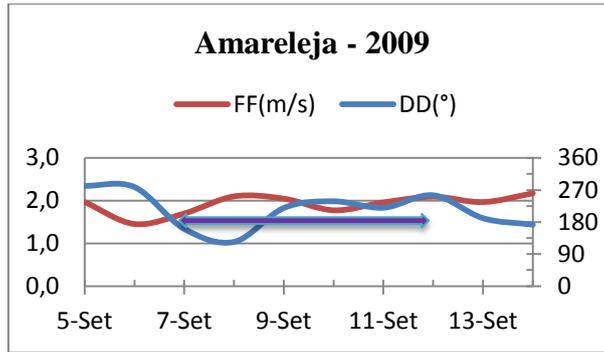


Fig. A.9.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

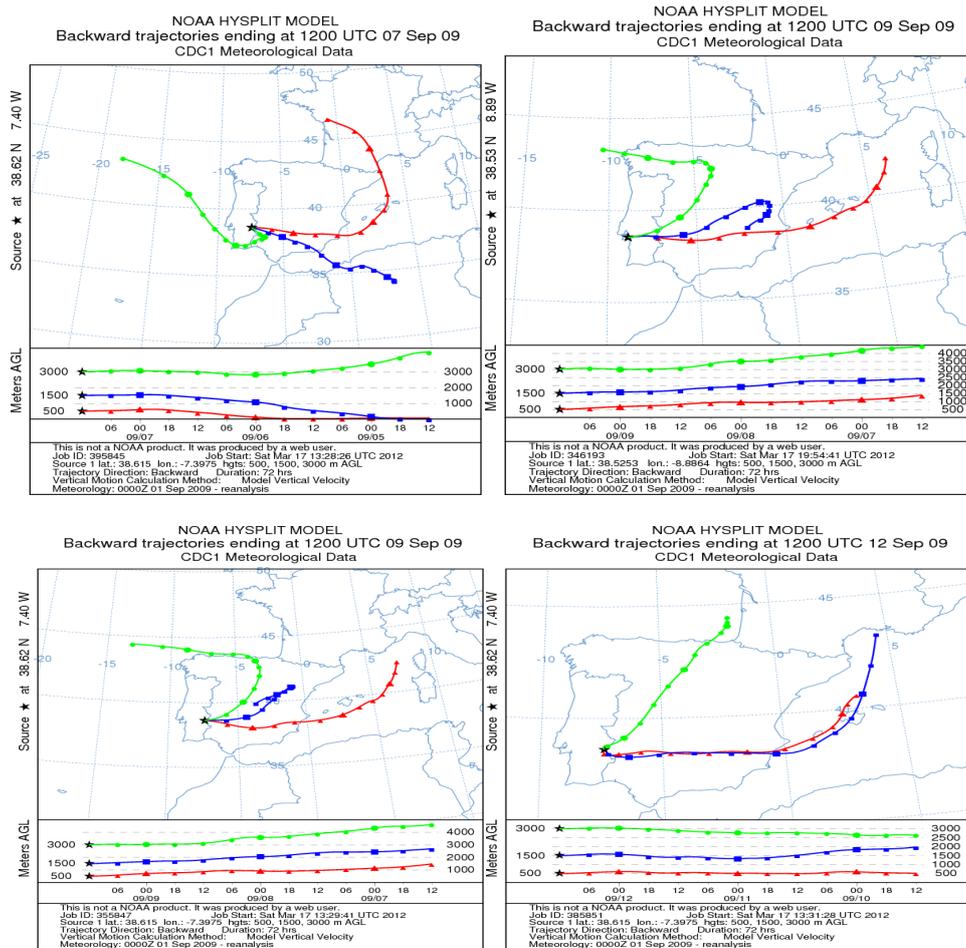
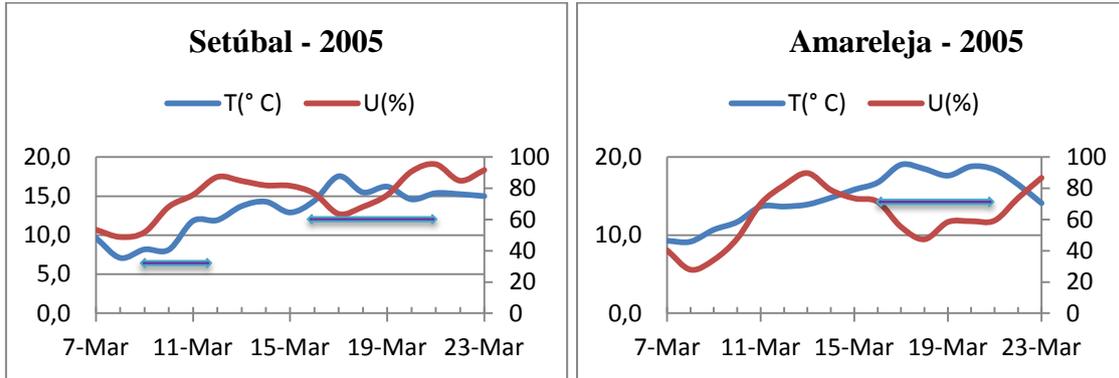


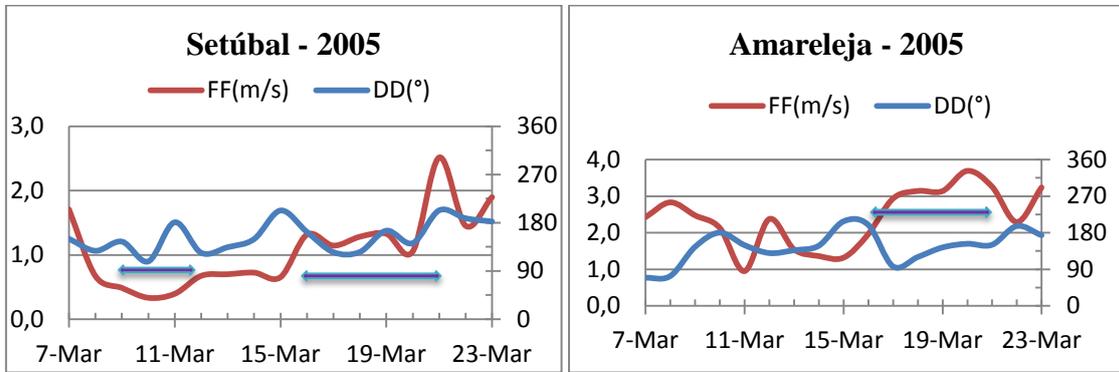
Fig. A.9.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 07/09/2009 a 12 /09/2009

**Episódios comuns a duas estações**

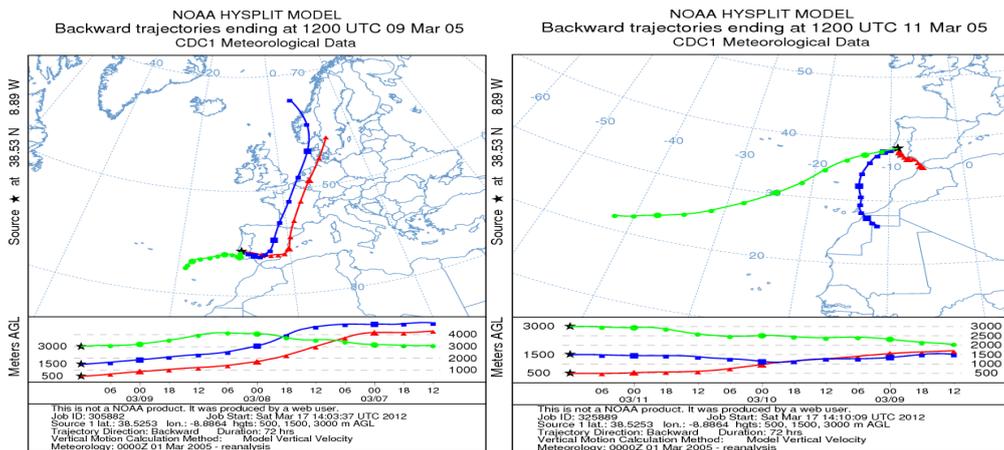
**Episódio de 9 a 21 de Março de 2005**



**Fig.A.10.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.10.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



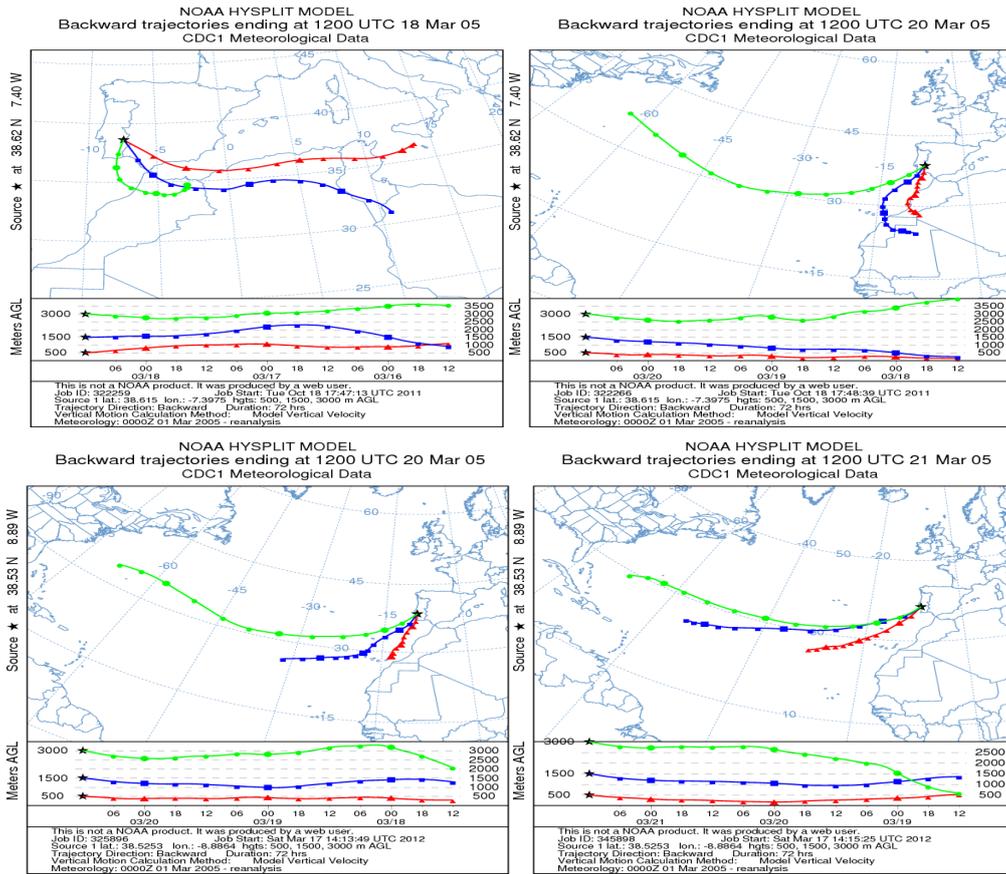


Fig. A.10.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 09/03/2005 a 21 /03/2005

Episódio entre 31 de Maio e 9 de Junho de 2005

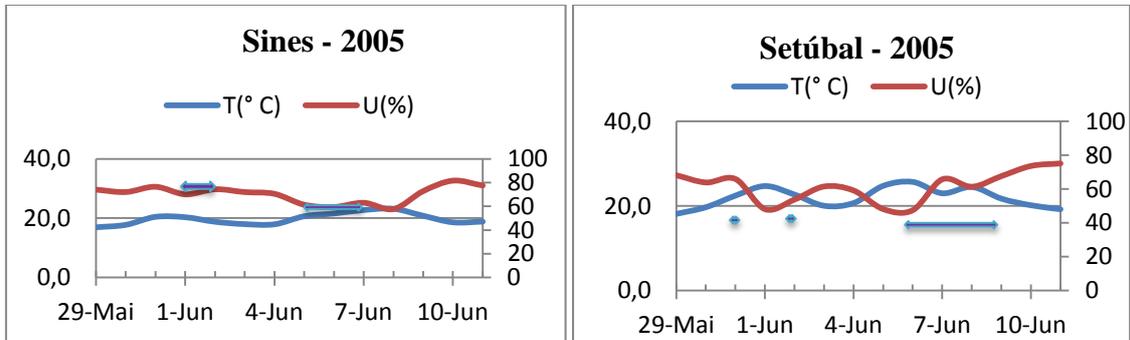


Fig.A.11.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

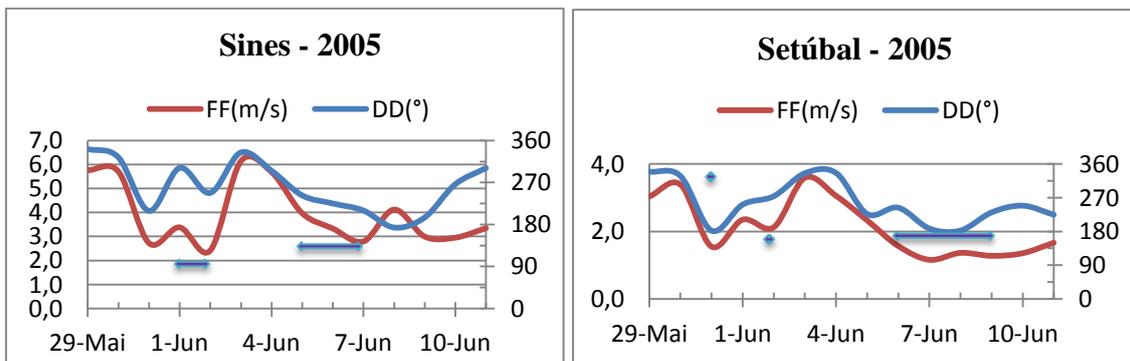


Fig. A.11.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

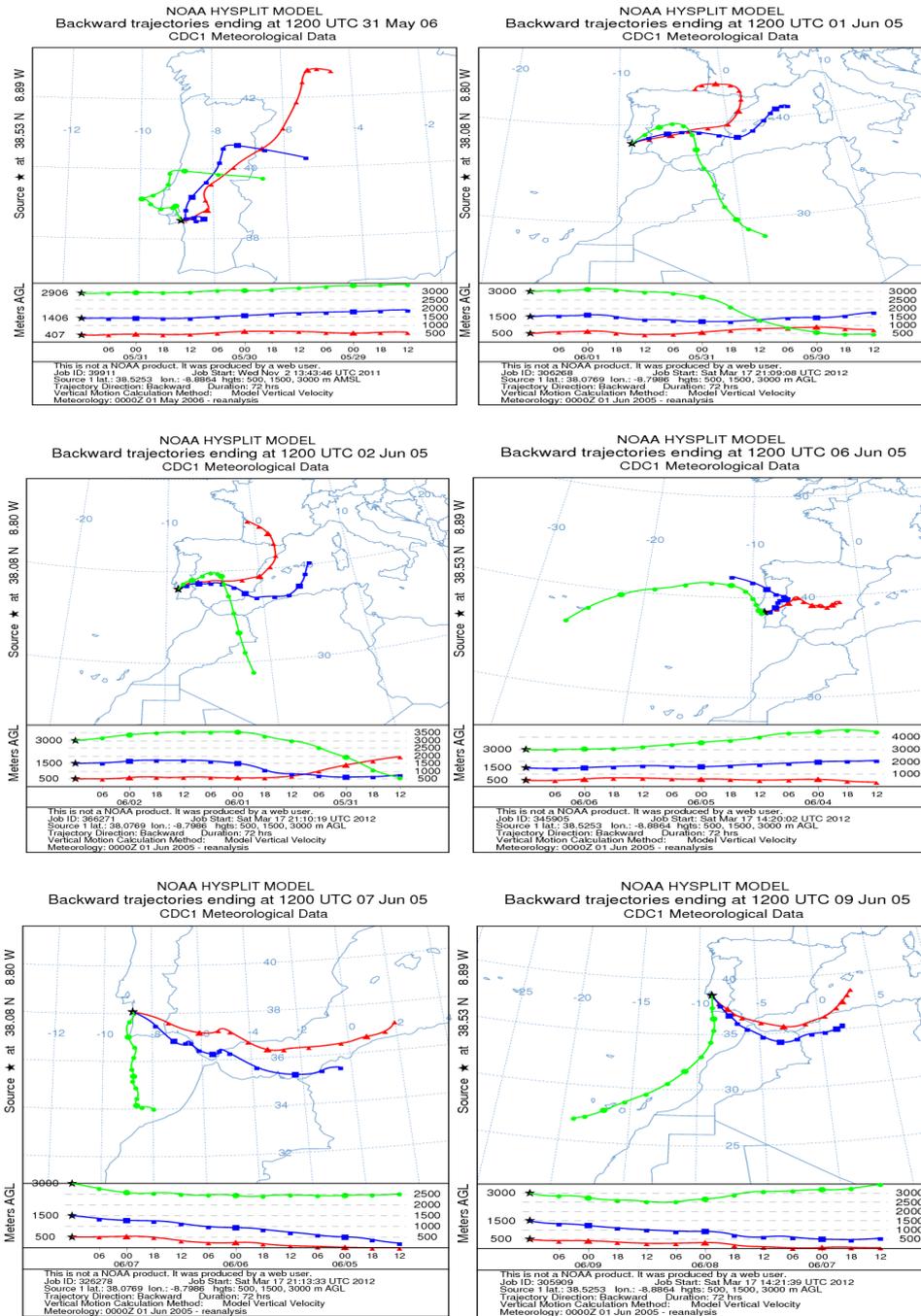
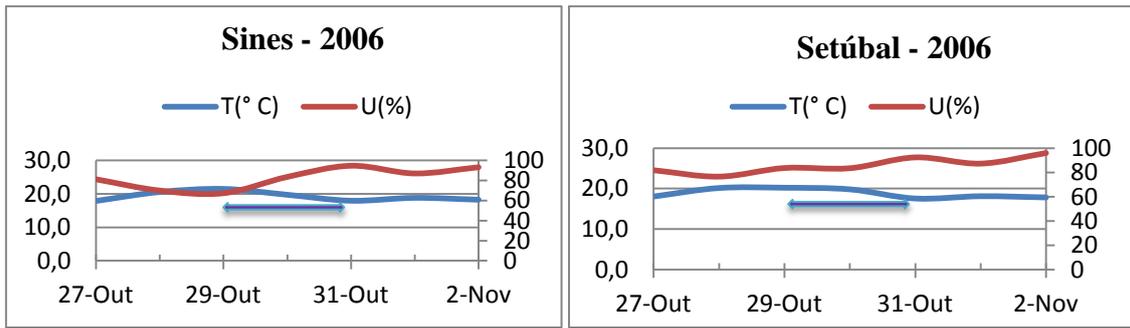
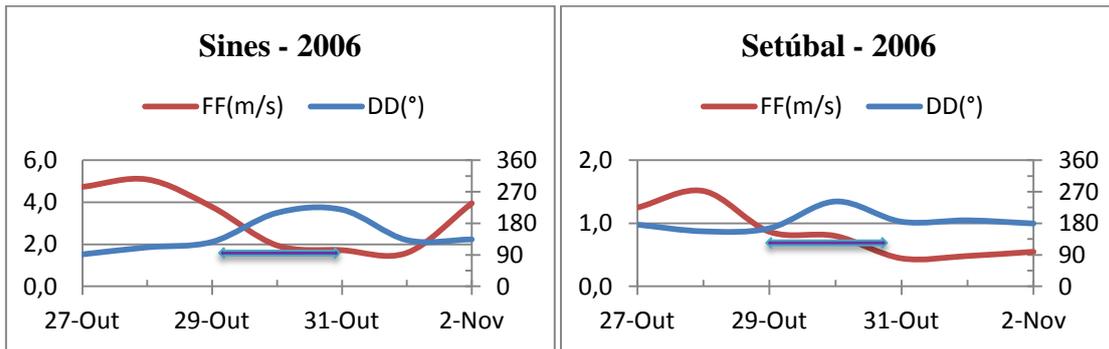


Fig. A.11.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 31/05/2005 a 09 /06/2005

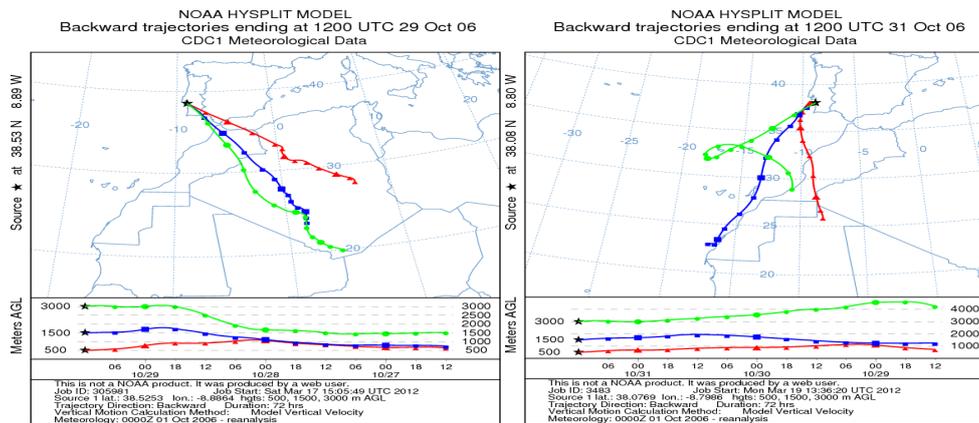
**Episódio de 29 a 31 de Outubro de 2006**



**Fig.A.12.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

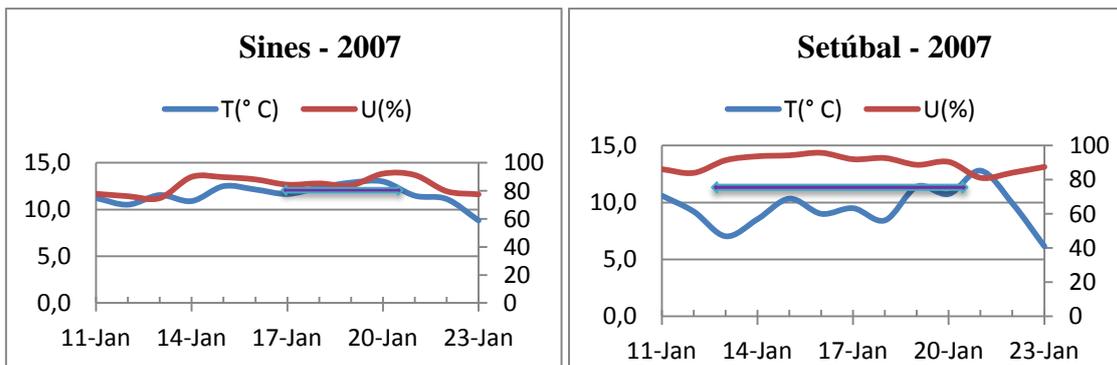


**Fig. A.12.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



**Fig. A.12.3-** Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 29/10/2006 a 31/10/2006

**Episódio de 13 a 21 de Janeiro de 2007**



**Fig.A.13.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

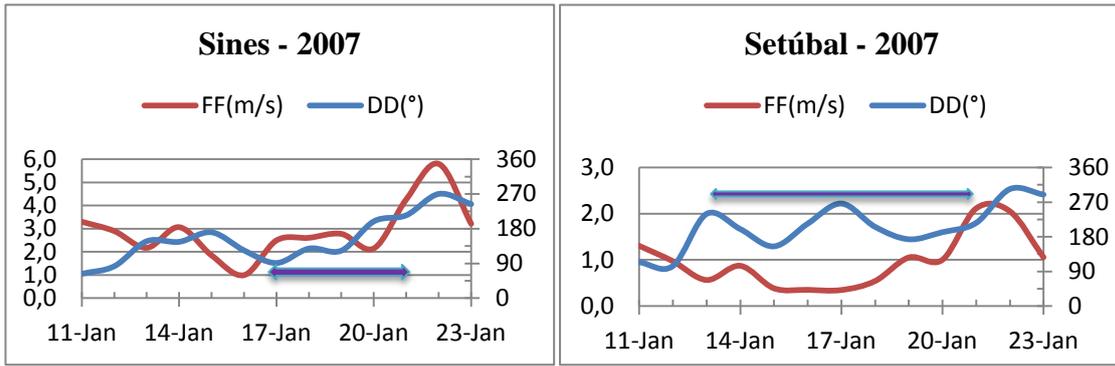


Fig. A.13.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

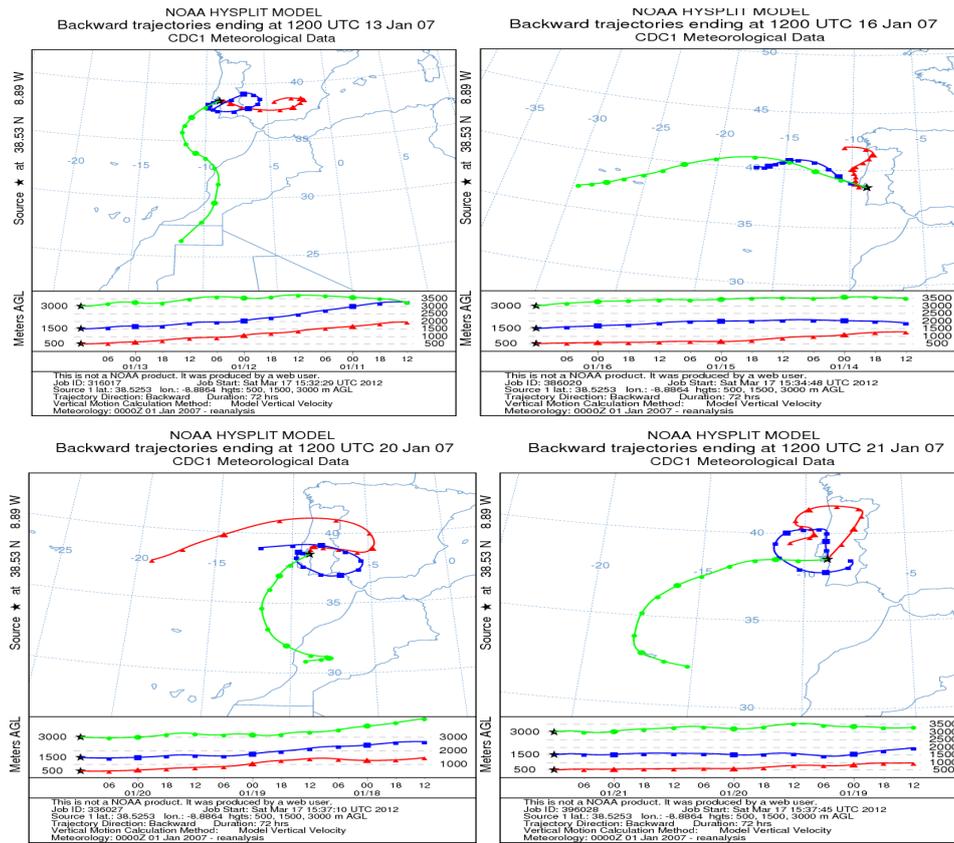


Fig. A.13.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 13/01/2007 a 21 /01/2007

Episódio de 14 a 18 de Março de 2007

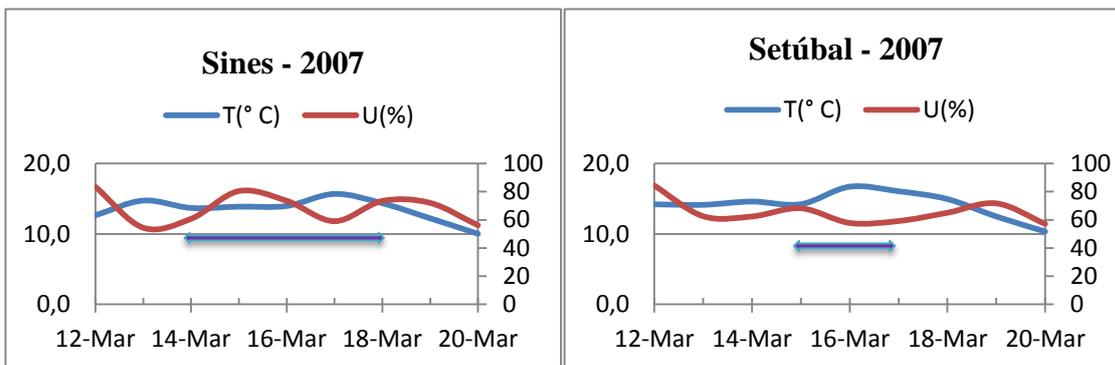


Fig.A.14.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

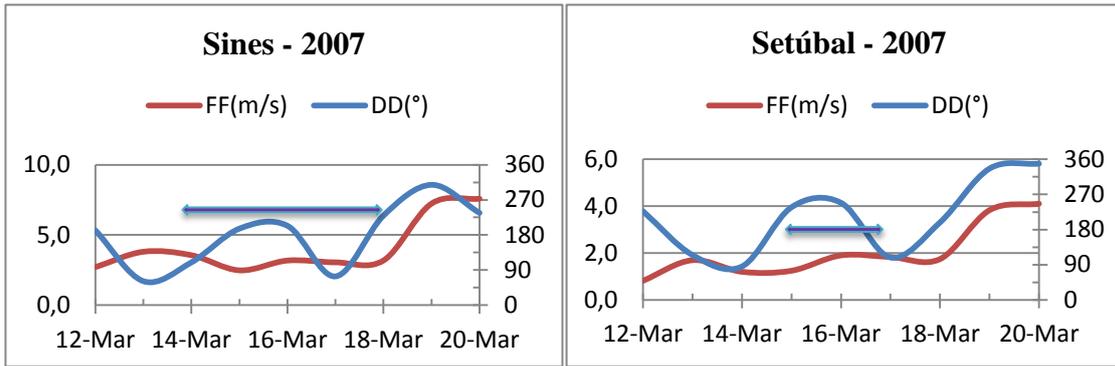


Fig. A.14.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

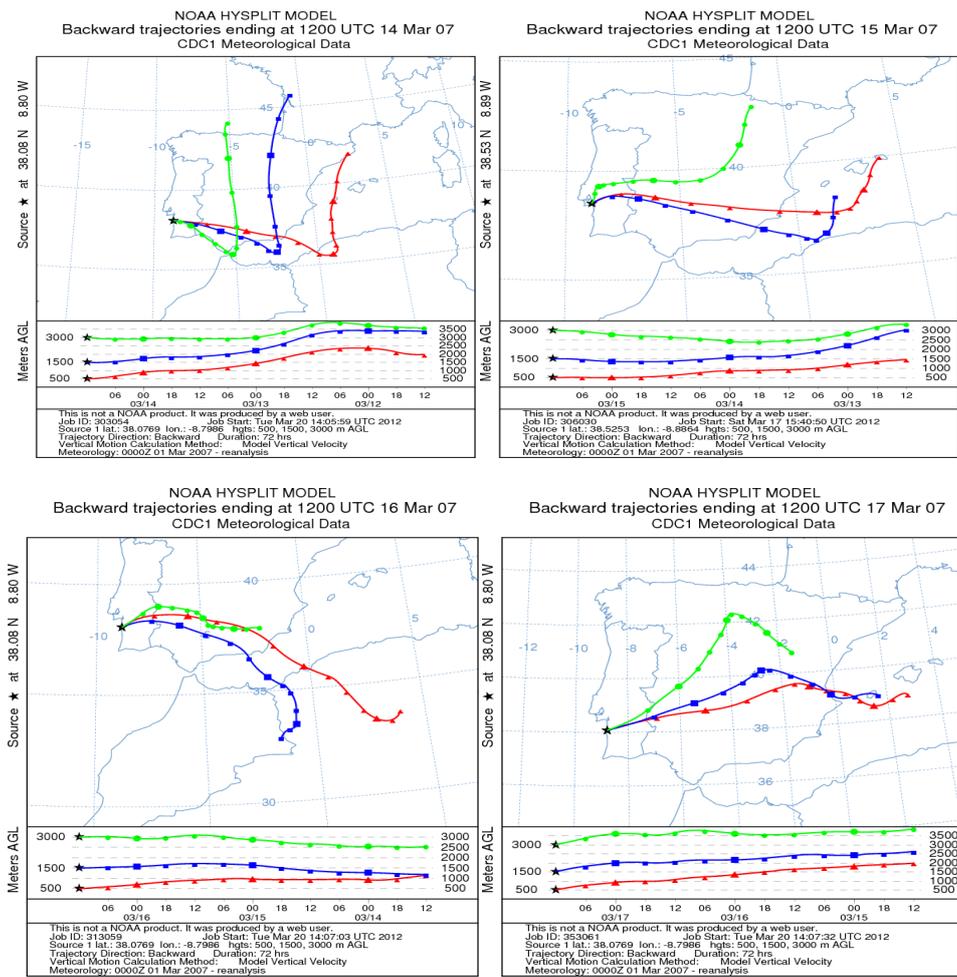


Fig. A.14.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 1/03/2007 a 18 /03/2007

Episódio de 4 a 10 de Setembro de 2007

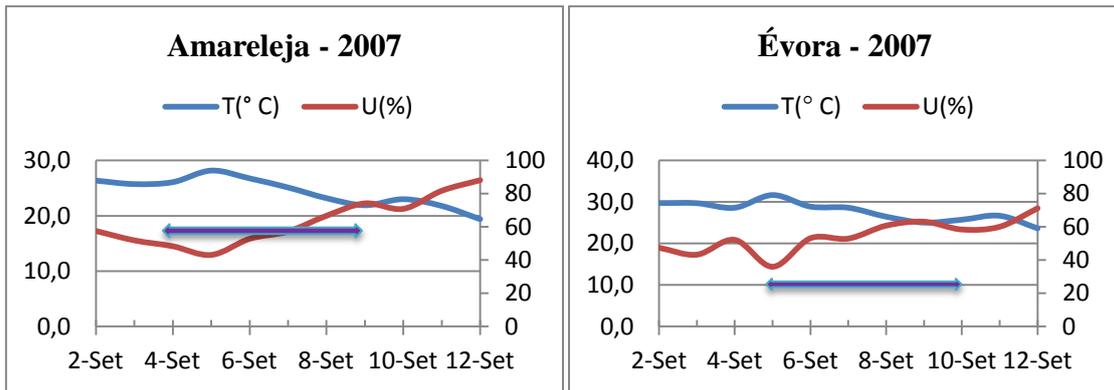


Fig.A.15.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

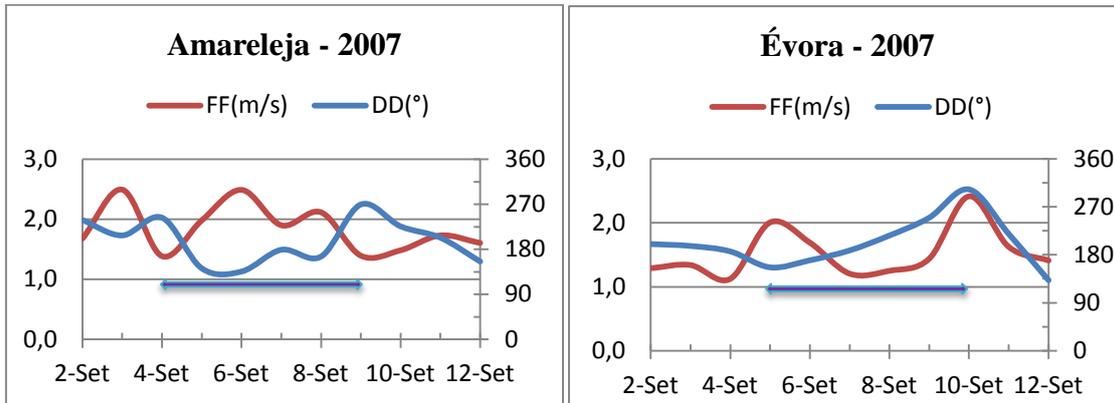
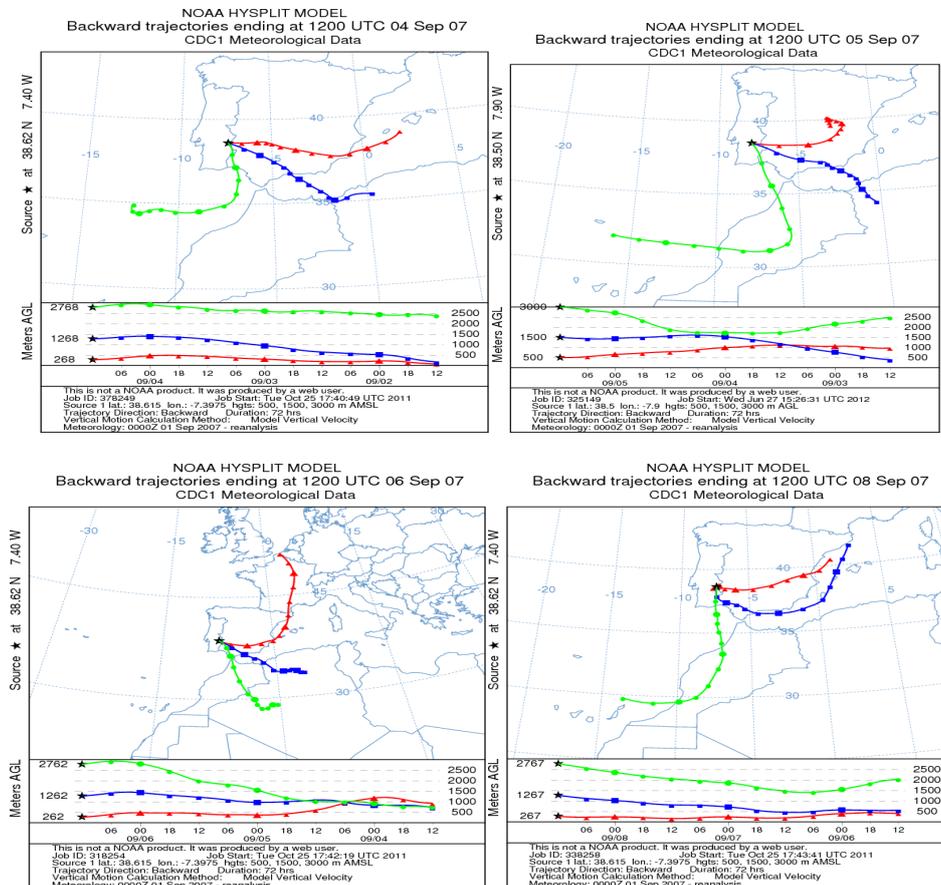


Fig. A.15.2 - Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



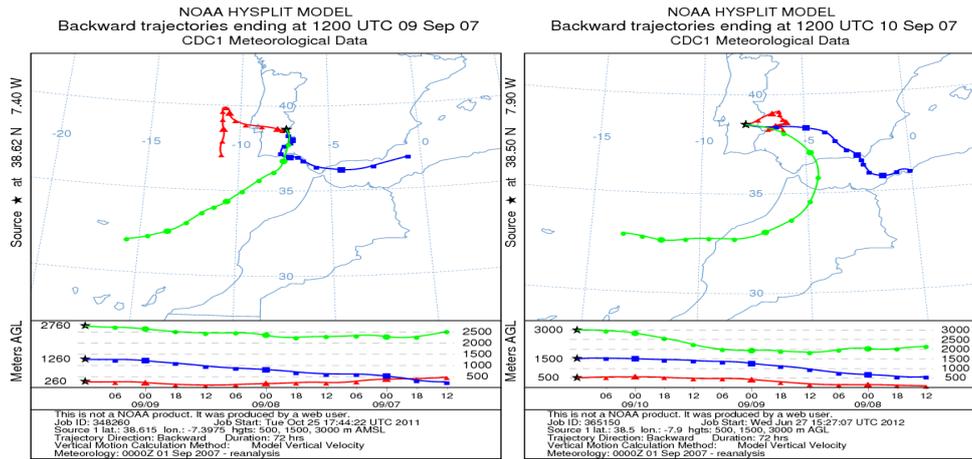


Fig. A.15.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 04/09/2007 a 10 /09/2007

**Episódio de 23 a 26 de Janeiro de 2008**

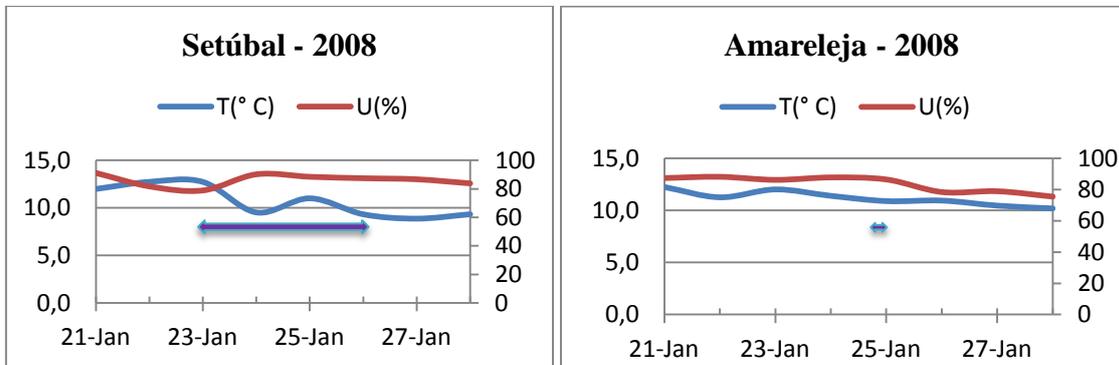


Fig.A.16.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

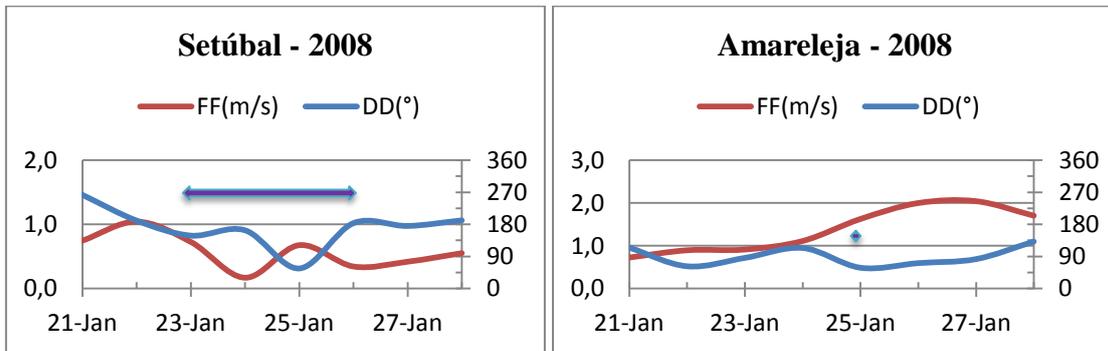


Fig. A.16.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

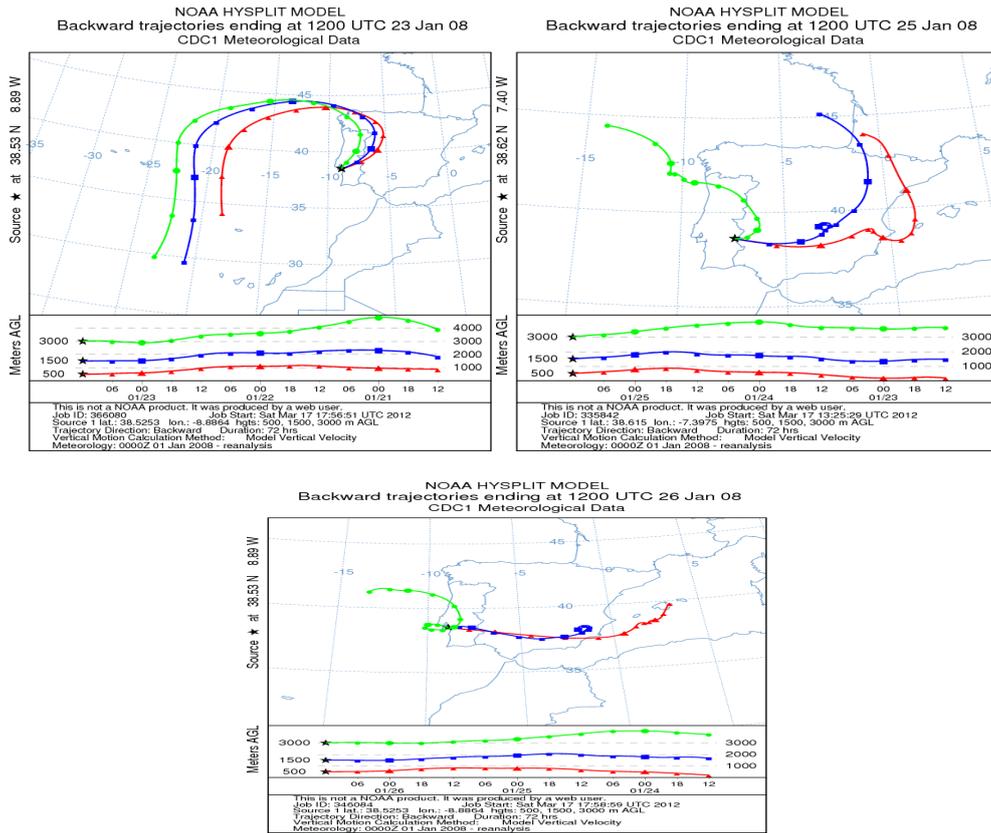


Fig. A.16.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 23/01/2008 a 28 /01/2008

Episódio de 3 a 6 de Abril de 2008

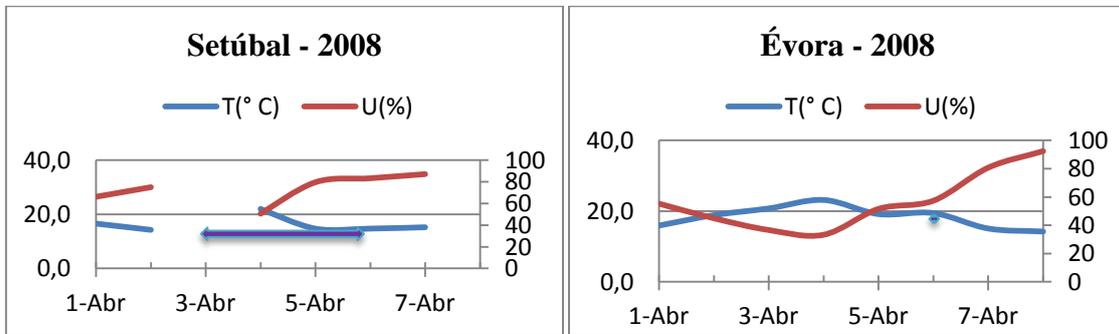


Fig.A.17.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

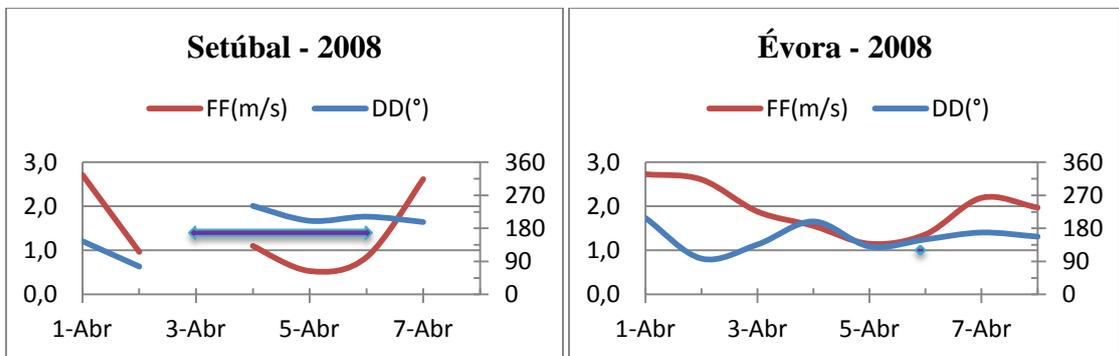


Fig. A.17.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

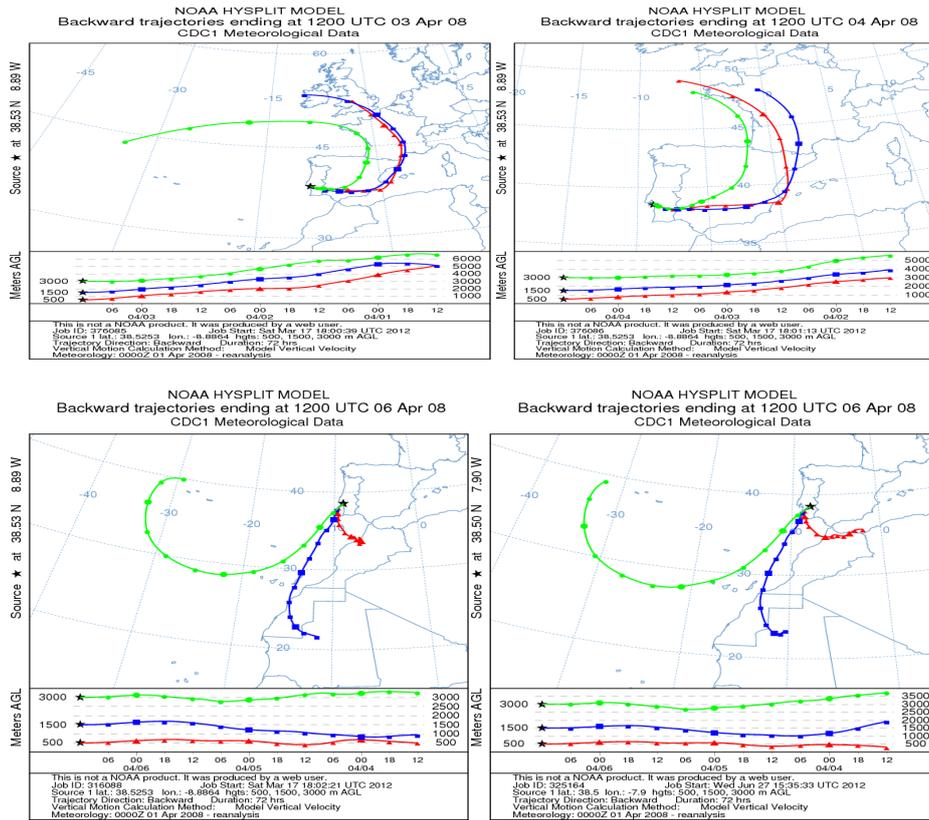


Fig. A.17.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 03/04/2008 a 06 /04/2008

**Episódio de 3 a 5 de Maio de 2008**

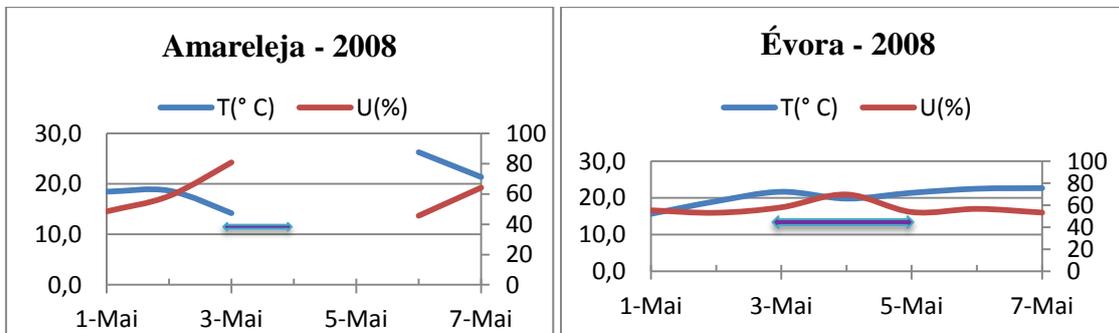


Fig.A.18.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

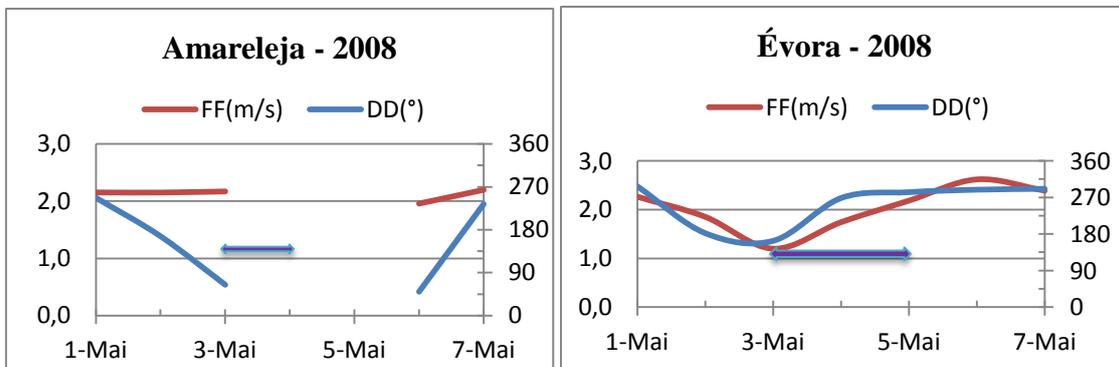


Fig. A.18.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

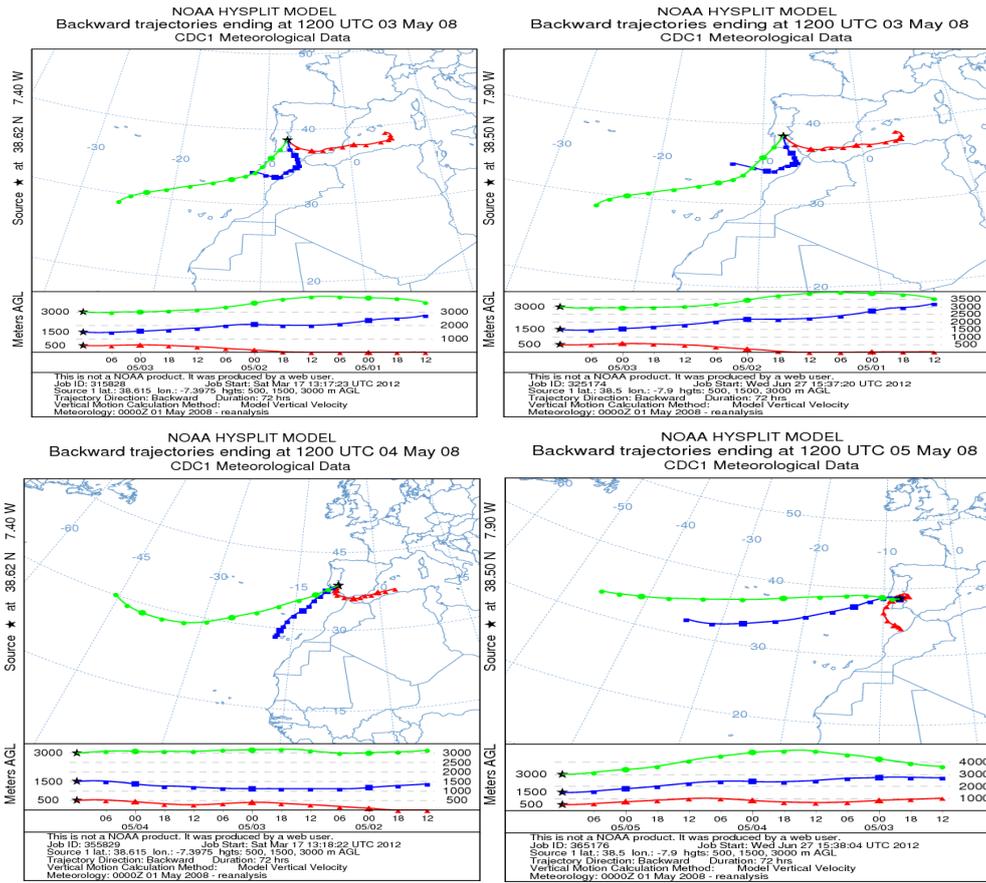


Fig. A.18.3- Retrotrajetórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 03/05/2008 a 05 /05/2008

Episódio de 11 a 15 de Outubro de 2008

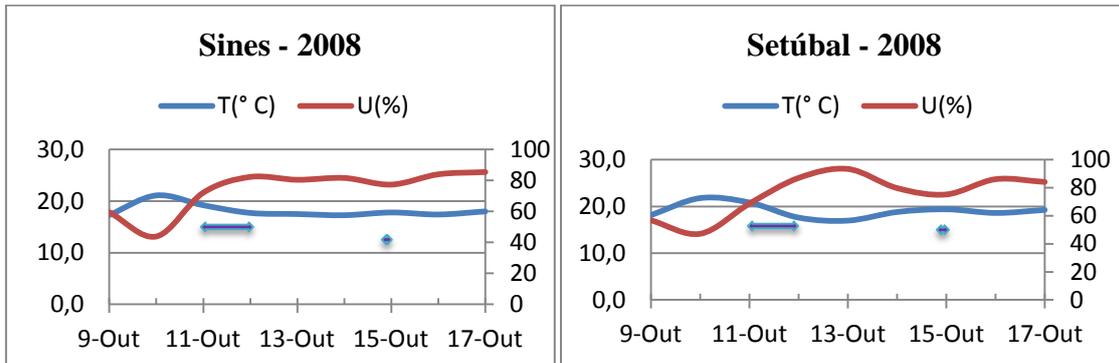


Fig.A.19.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

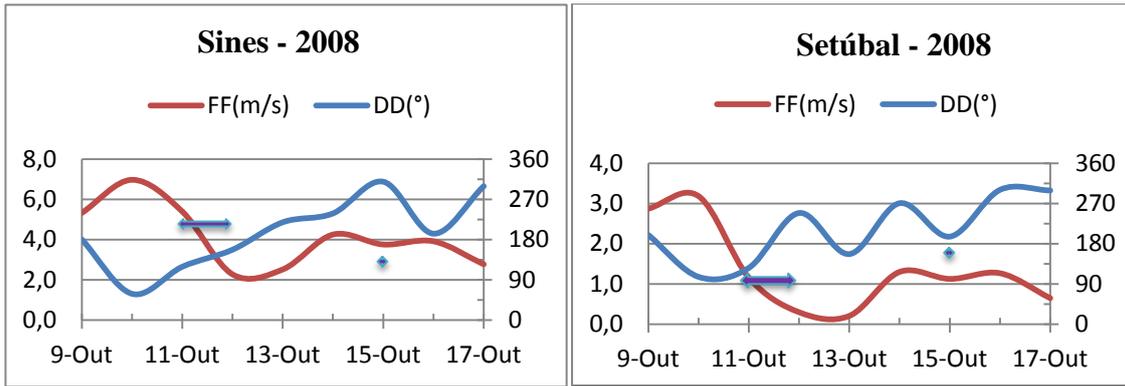


Fig. A.19.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

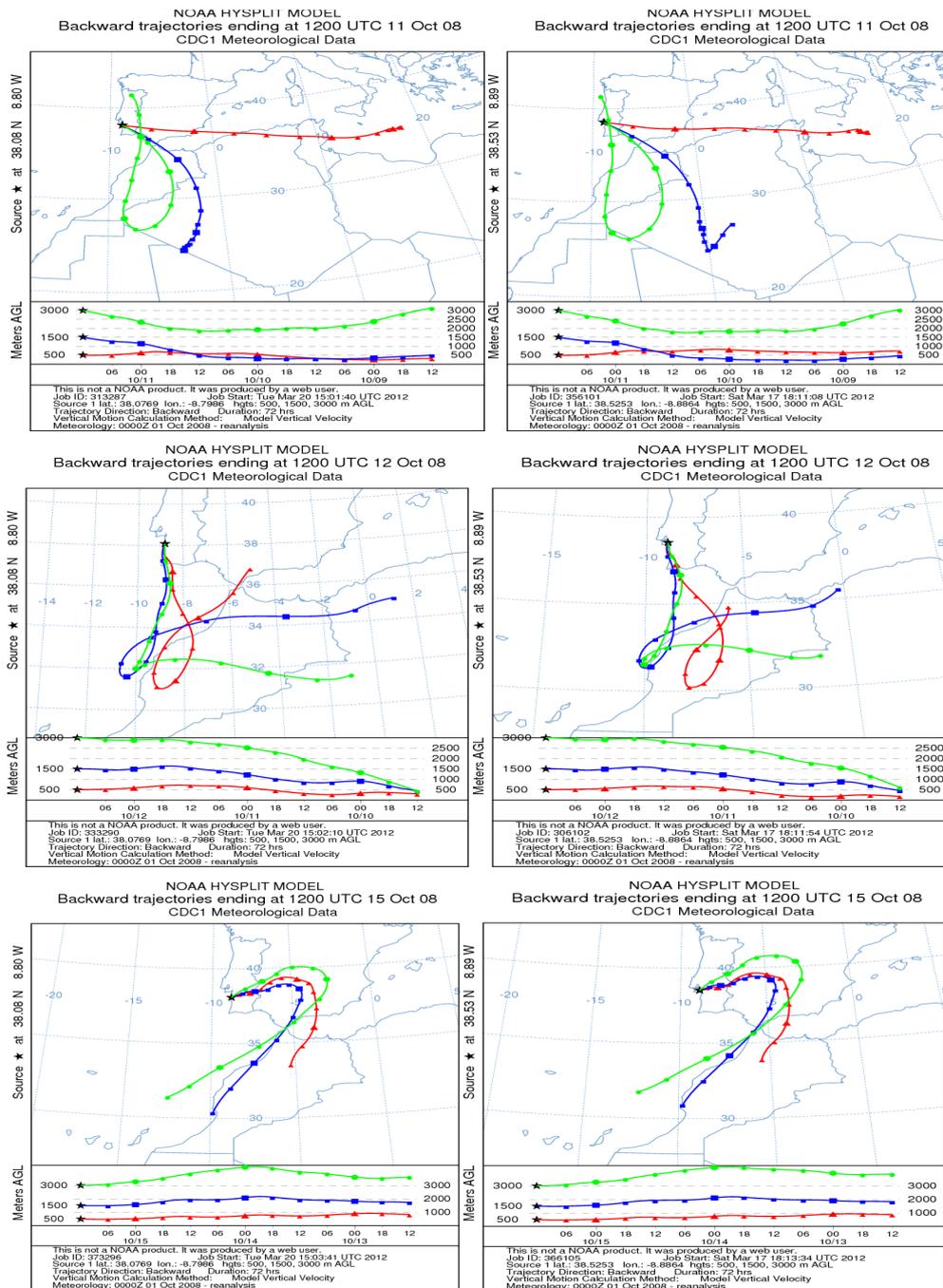


Fig. A.19.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 11/10/2008 a 15/10/2008

Episódio de 20 a 23 de Julho de 2009

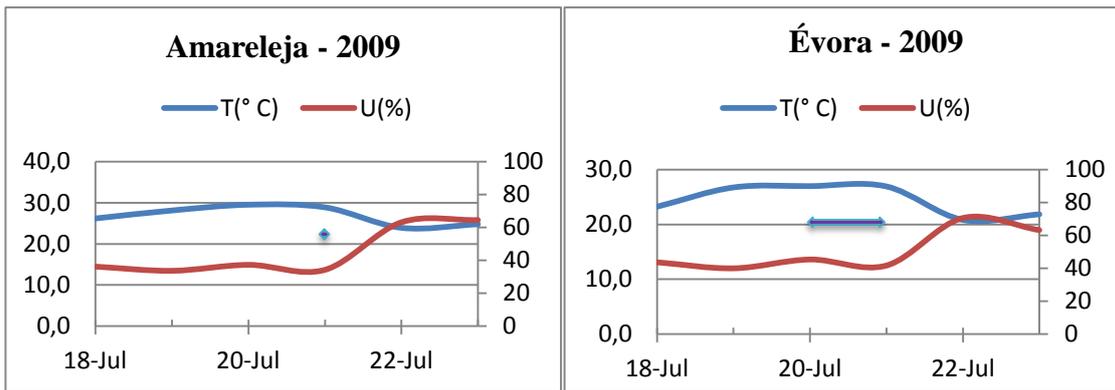


Fig.A.20.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

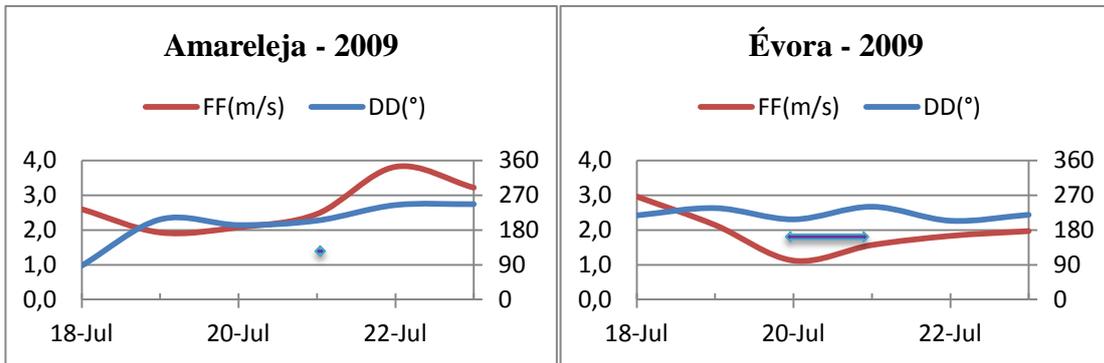


Fig. A.20.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

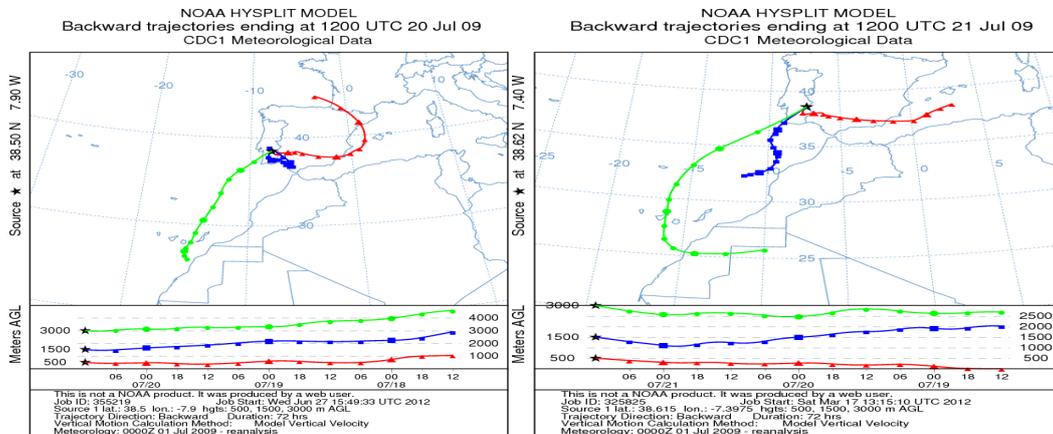


Fig. A.20.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 20/07/2009 a 21 /07/2009

Episódio de 12 a 16 de Agosto de 2009

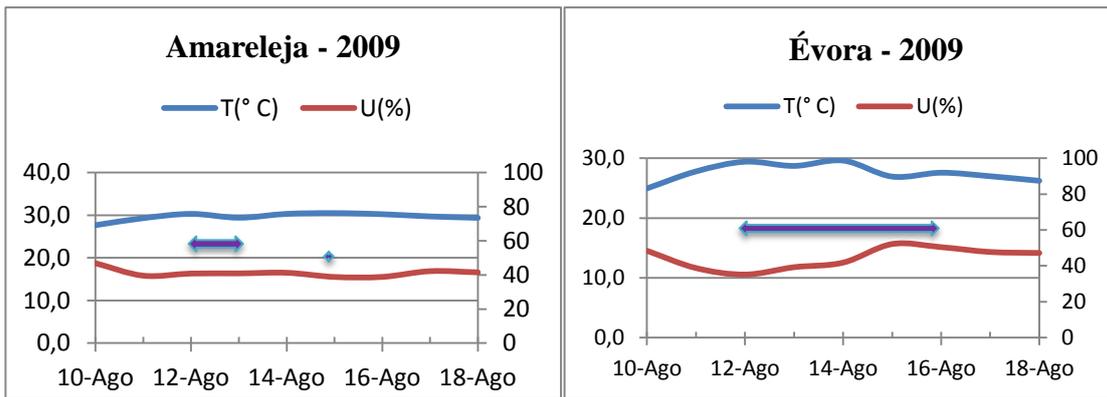


Fig.A.21.1- Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

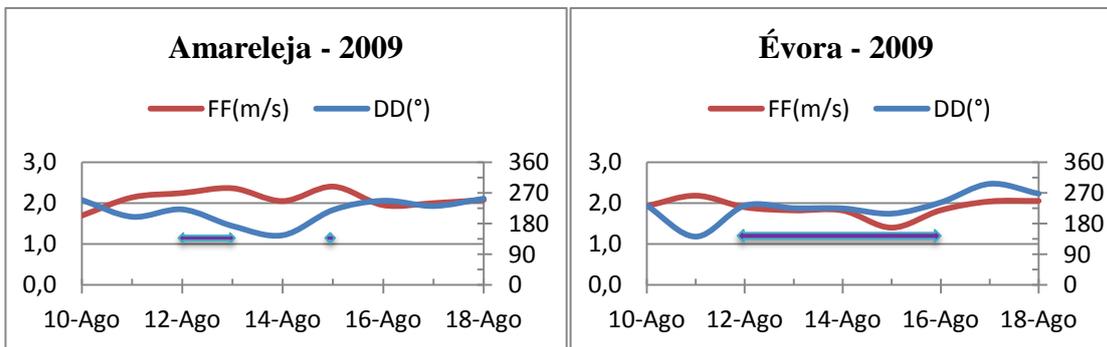


Fig. A.21.2- Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais

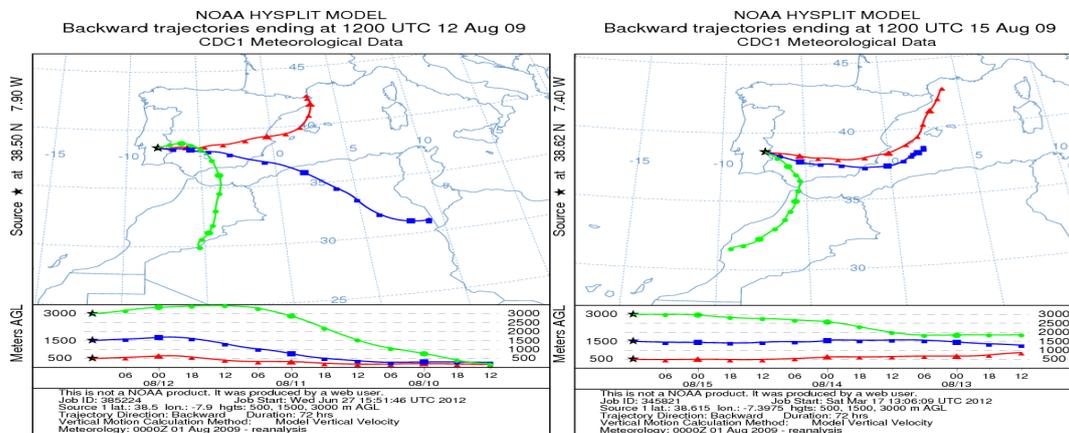
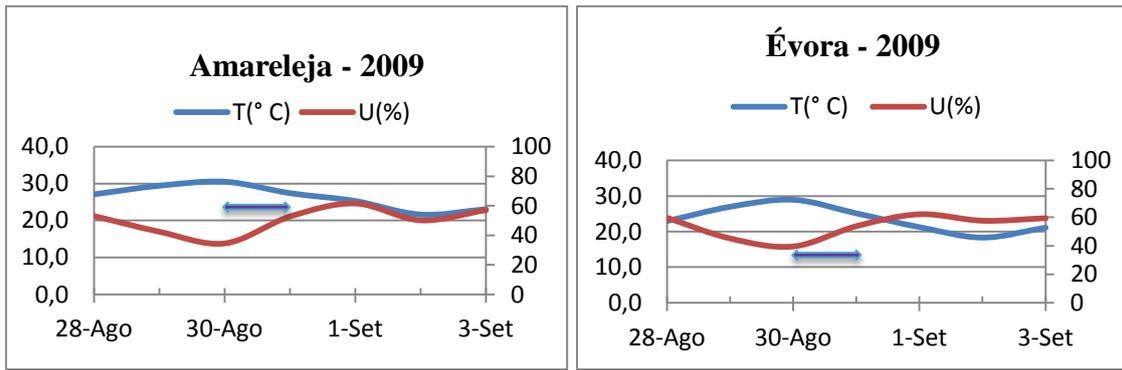
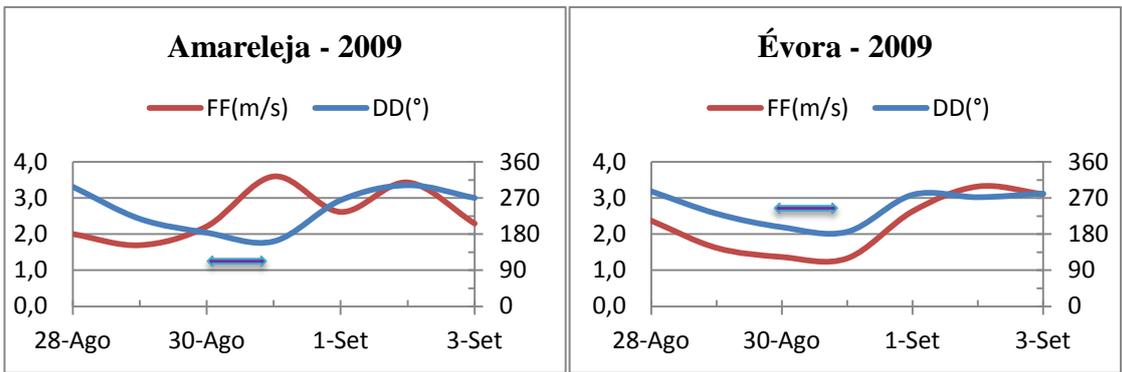


Fig. A.21.3- Retrotrajetórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 12/08/2009 a 16/08/2009

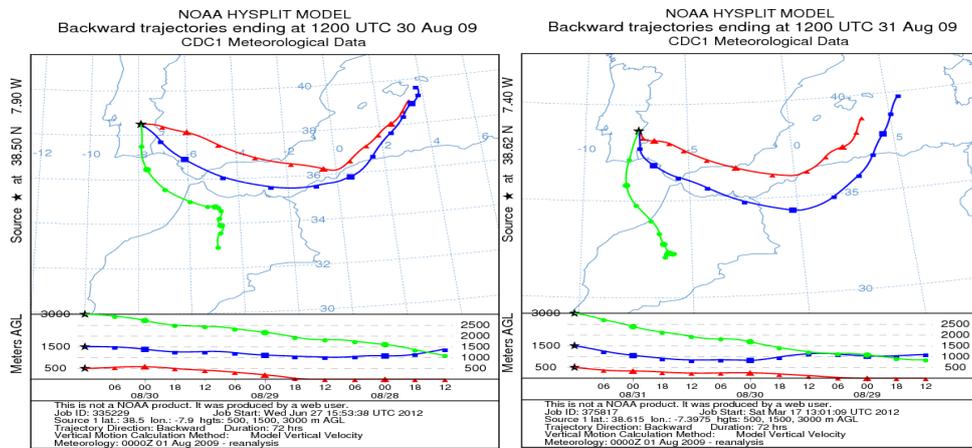
**Episódio de 30 a 31 de Agosto de 2009**



**Fig.A.22.1-** Temperatura e humidade relativa nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



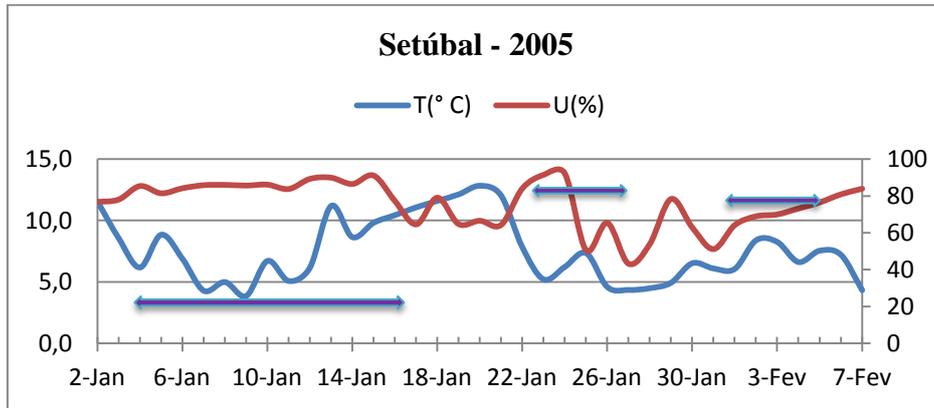
**Fig. A.22.2-** Intensidade e direcção do vento nas diferentes estações meteorológicas dos diferentes locais



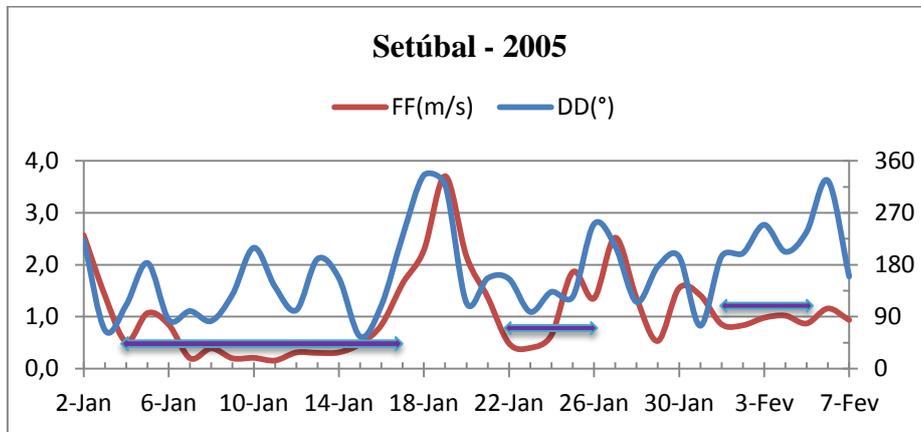
**Fig. A.22.3-** Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 30/08/2009 a 31 /08/2009

**Episódios numa estação:**

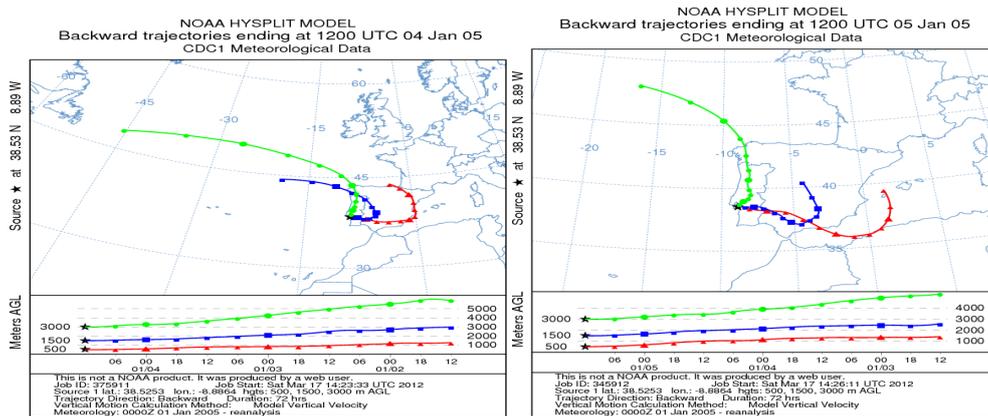
**Episódio de 4 de Janeiro a 5 de Fevereiro de 2005**



**Fig.A.23.1-** Temperatura e humidade relativa



**Fig. A.23.2-** Intensidade e direcção do vento



# Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

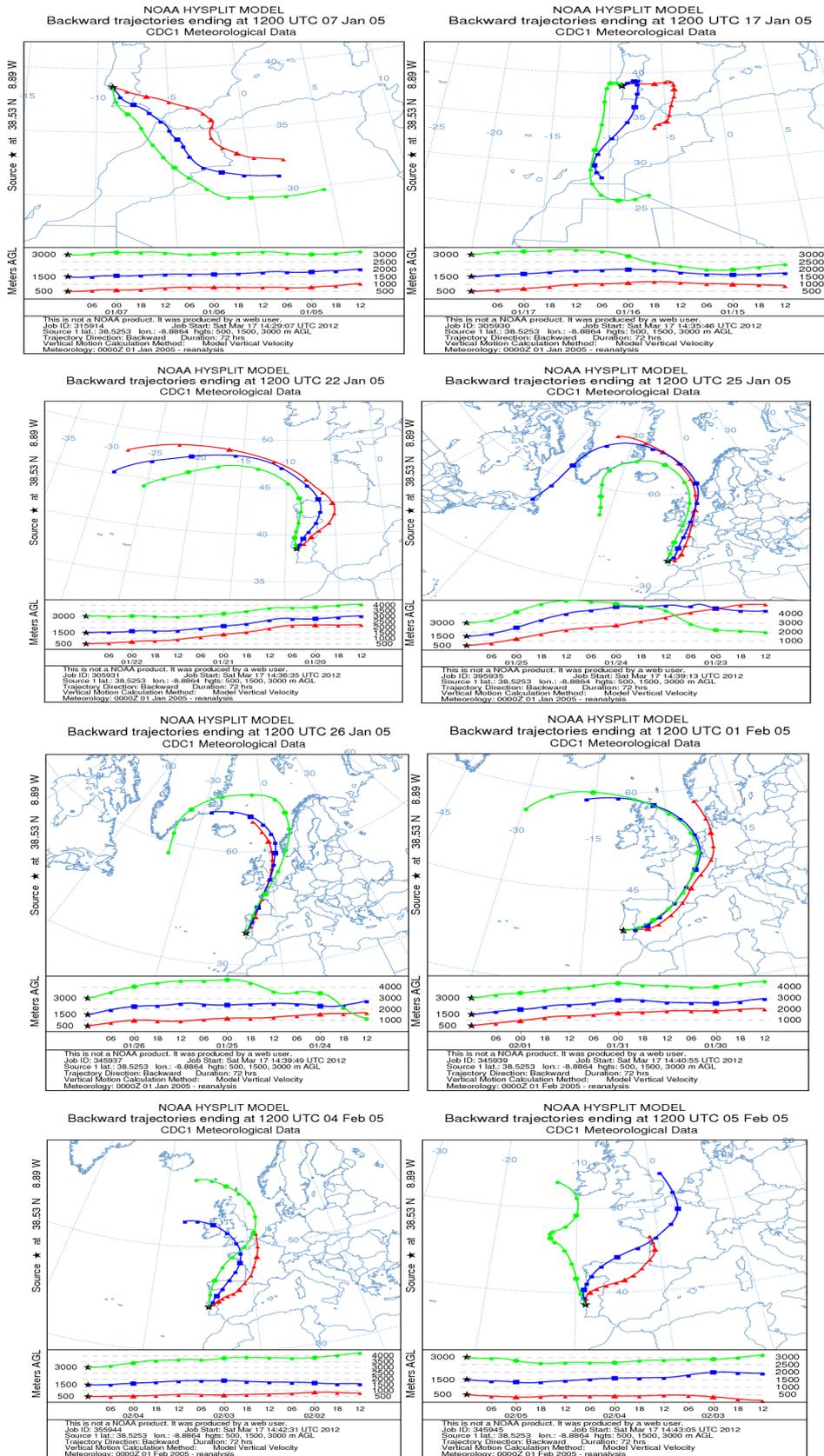


Fig. A.23.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 04/01/2005 a 5 /02/2005

Episódio de 26 a 27 de Abril de 2006

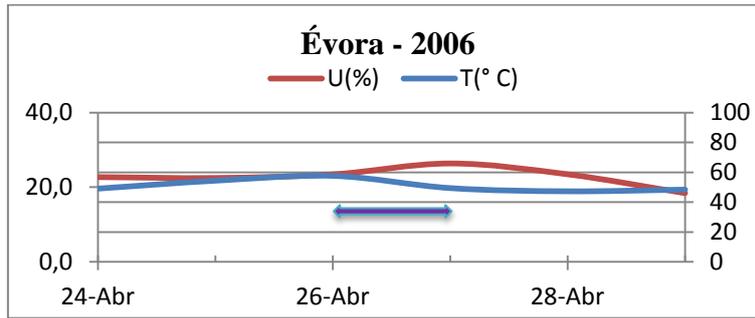


Fig. A.24.1- Temperatura e humidade relativa

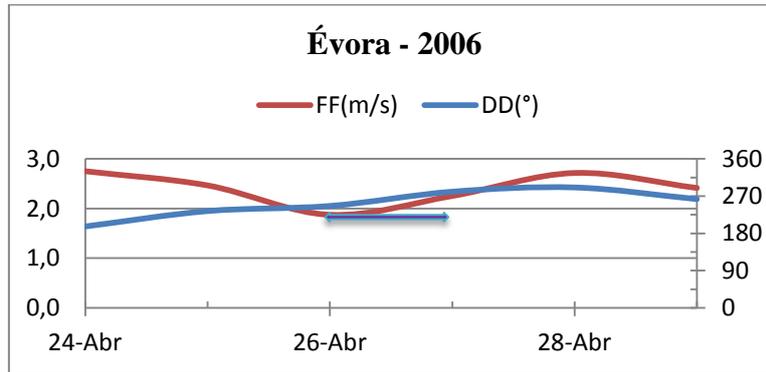


Fig. A.24.2- Intensidade e direcção do vento

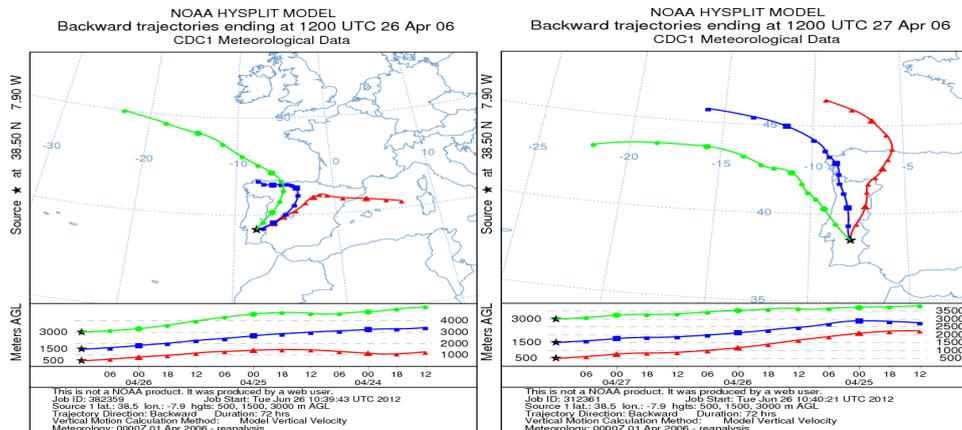
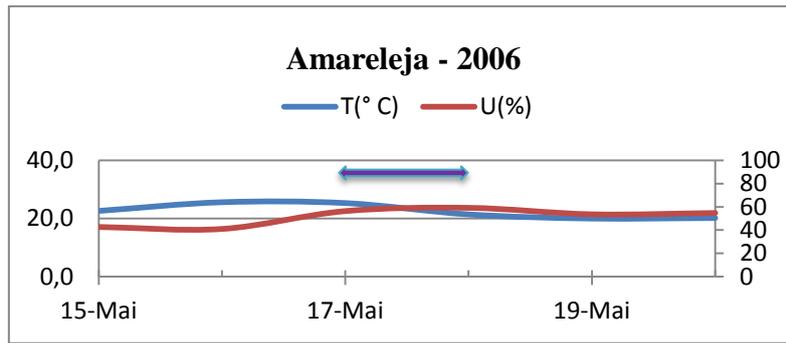
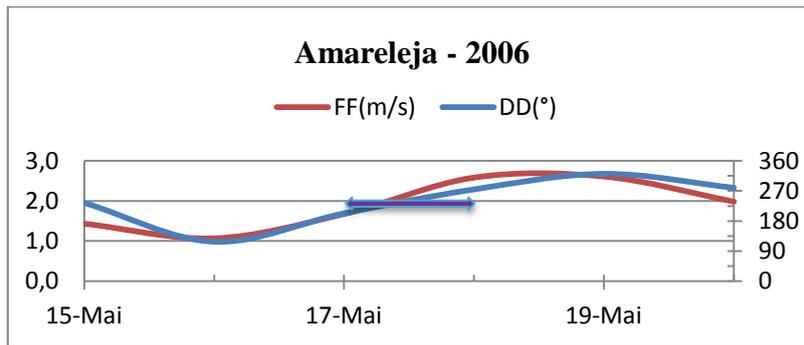


Fig. A.24.3- Retrotrajectórias de 72 h com chegada às 12 h, às 12 h, do dia 26 e 27/Abril /2006, à altitude de 1500 m, 3000 m e à superfície na estação de Évora

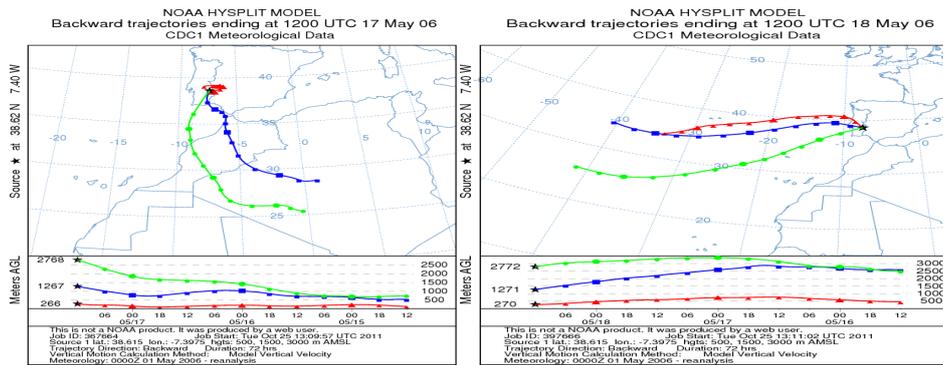
**Episódio de 17 a 19 de Maio de 2006**



**Fig.A.25.1-** Temperatura e humidade relativa

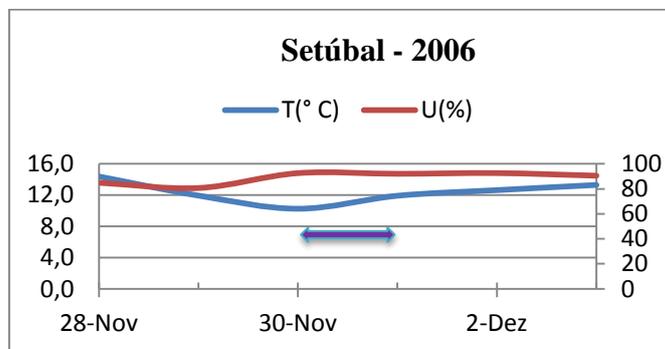


**Fig. A.25.2-** Intensidade e direcção do vento



**Fig. A.25.3-** Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 17/05/2006 a 18 /05/2006

**Episódio de 30 de Novembro a 1 de Dezembro de 2006**



**Fig.A.26.1-** Temperatura e humidade relativa

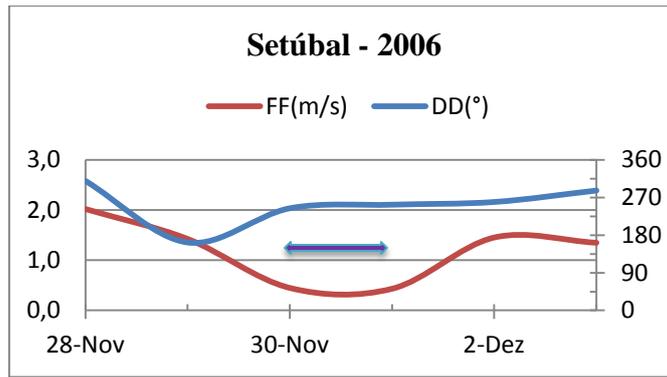


Fig. A.26.2- Intensidade e direcção do vento

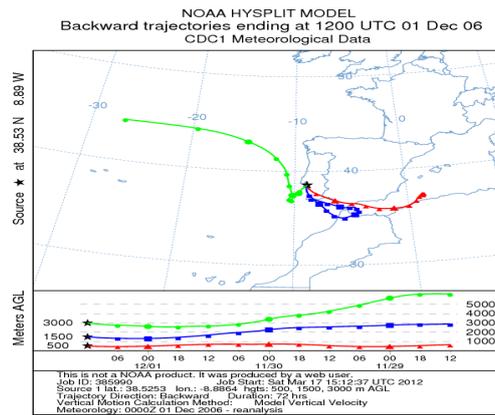


Fig. A.26.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 30/11/2006 a 01 /12/2006

Episódio de 7 a 9 de Janeiro de 2007

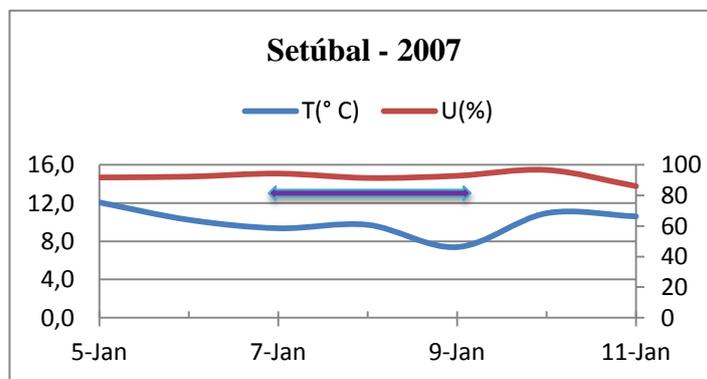


Fig.A.27.1- Temperatura e humidade relativa

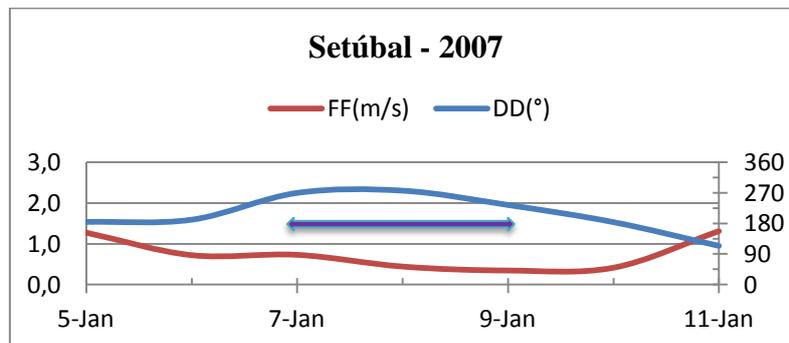


Fig. A.27.2- Intensidade e direcção do vento

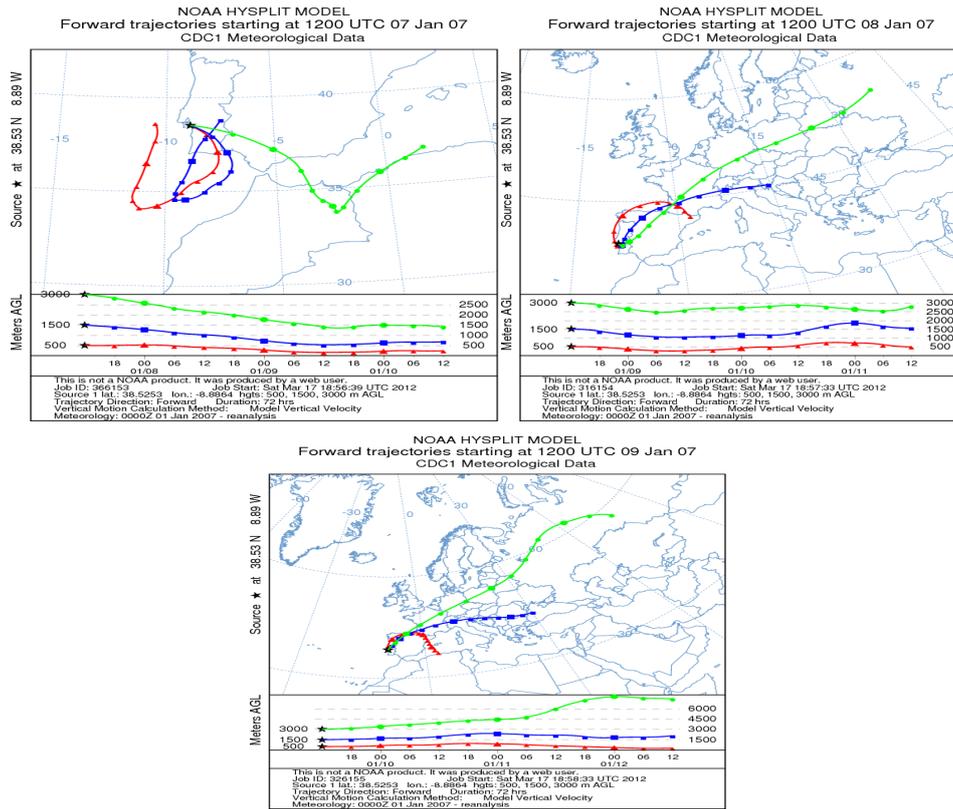


Fig. A.27.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 07/01/2007 a 09 /01/2007

Episódio de 5 a 6 de Fevereiro de 2007

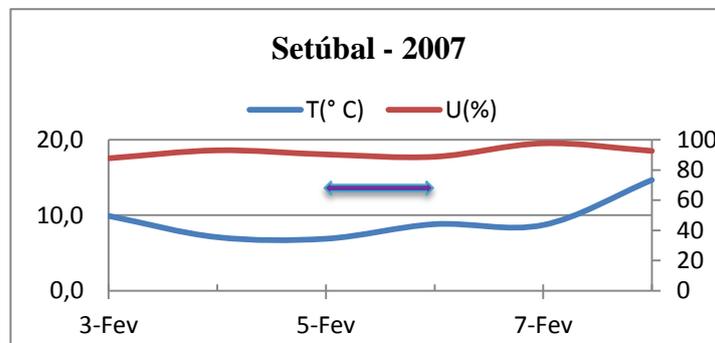


Fig.A.28.1- Temperatura e humidade relativa

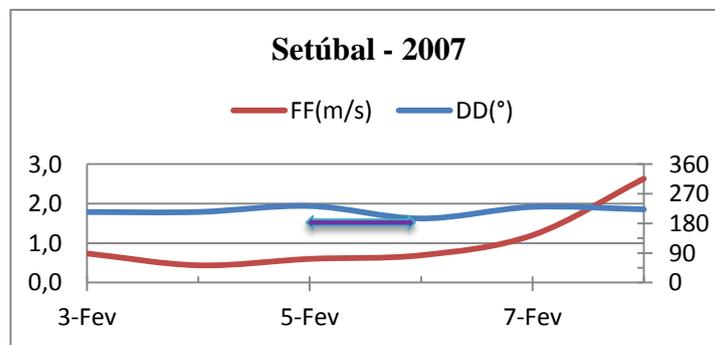


Fig. A.28.2- Intensidade e direcção do vento

Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo

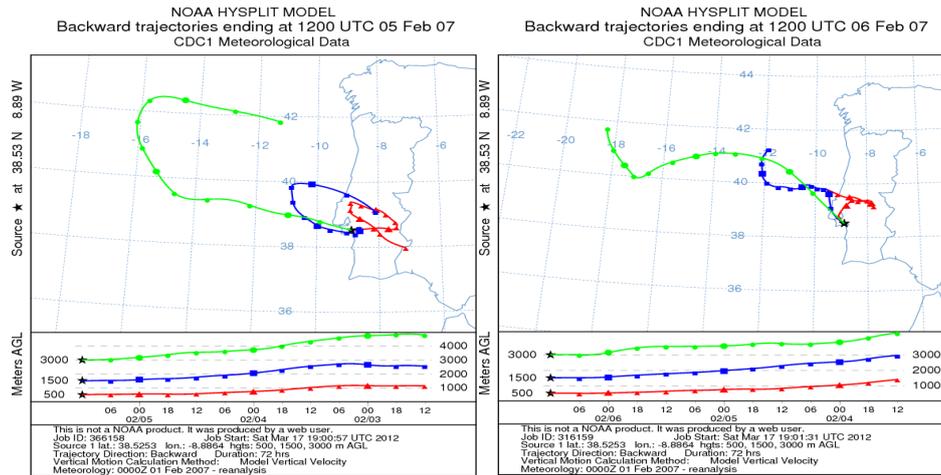


Fig. A.28.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 05/02/2007 a 06 /02/2007

Episódio de 22 a 24 de Fevereiro de 2007

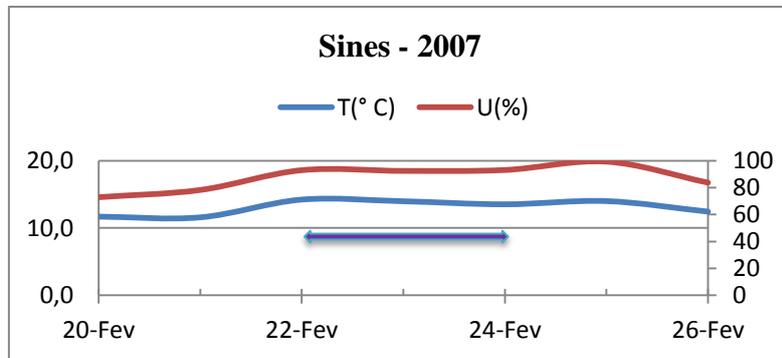


Fig.A.29.1- Temperatura e humidade relativa

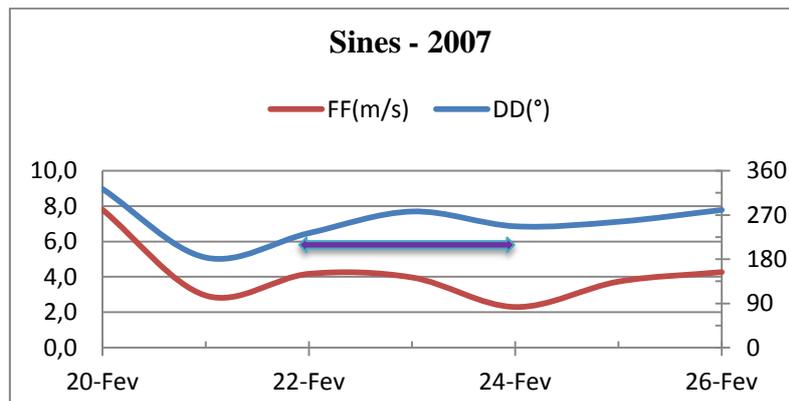


Fig. A.29.2- Intensidade e direcção do vento

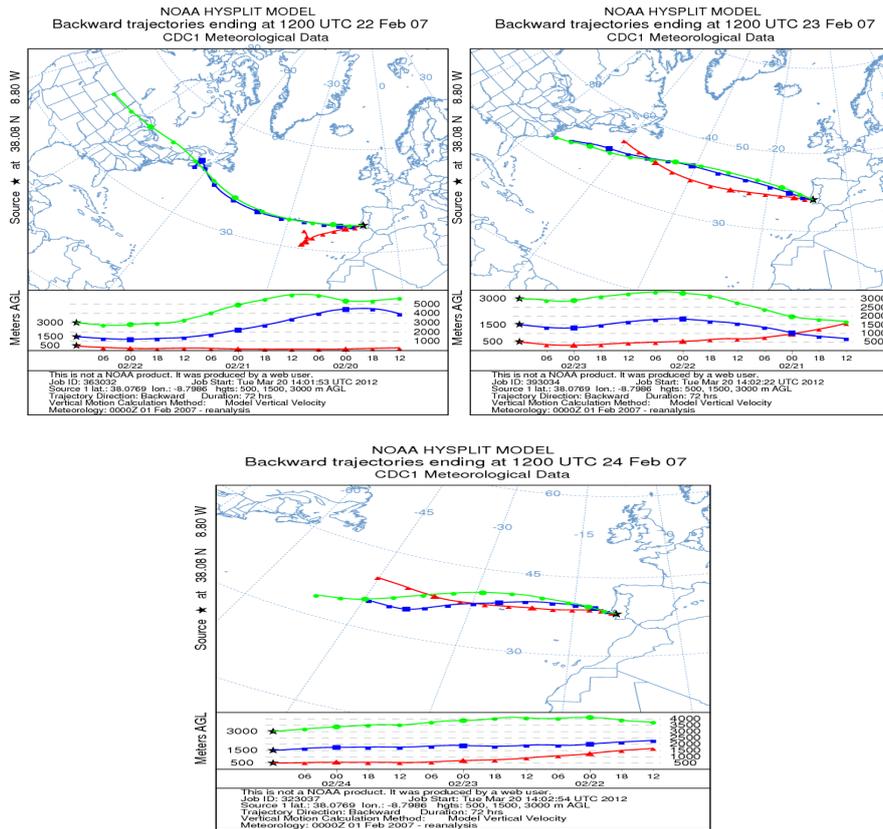


Fig. A.29.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 22/02/2007 a 24 /02/2007

Episódio de 7 a 9 de Março de 2007

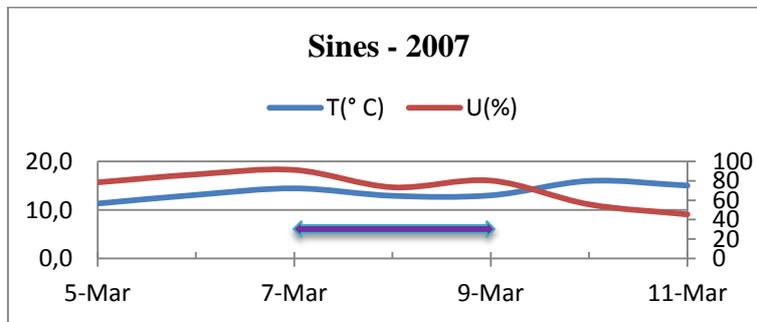


Fig.A.30.1- Temperatura e humidade relativa

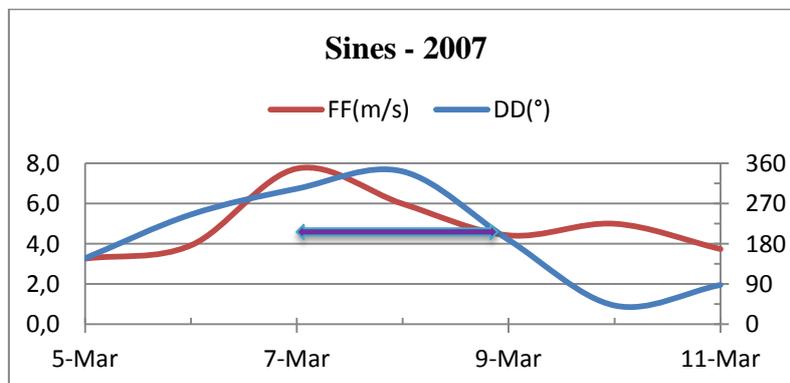


Fig. A.30.2- Intensidade e direcção do vento

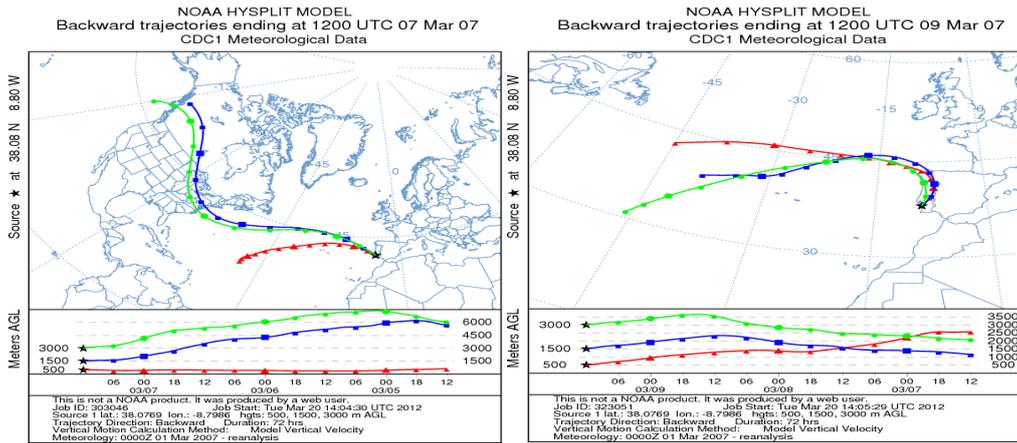


Fig. A.30.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 07/03/2007 a 09 /03/2007

**Episódio de 23 a 24 de Abril de 2007**

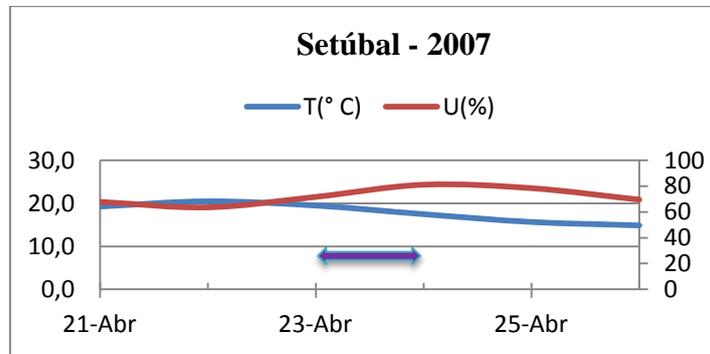


Fig.A.31.1- Temperatura e humidade relativa

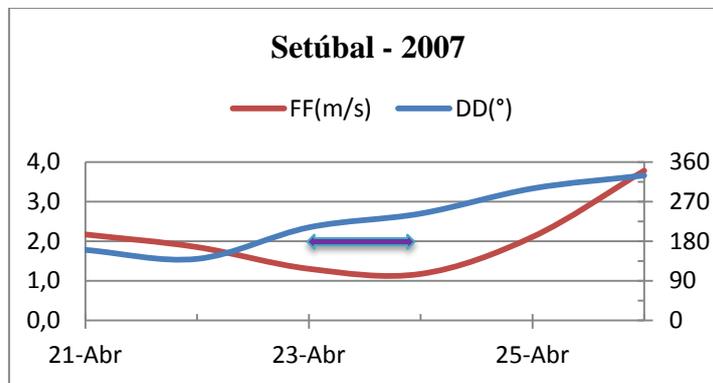


Fig. A.31.2- Intensidade e direcção do vento

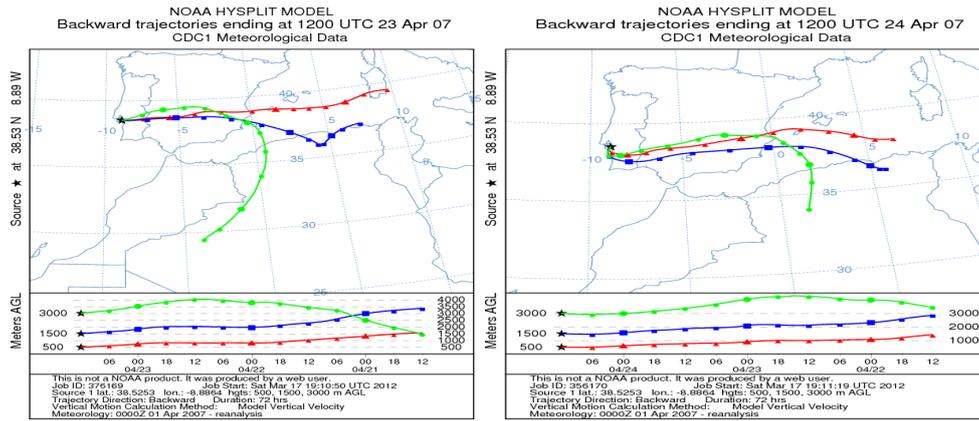


Fig. A.31.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 23/04/2007 a 24 /04/2007

Episódio de 10 a 11 de Agosto de 2007

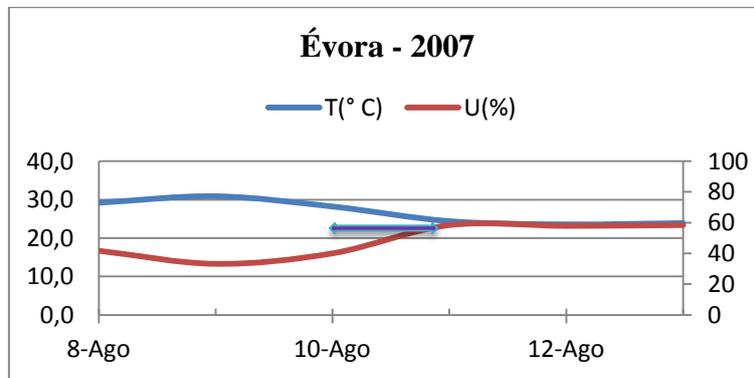


Fig. A.32.1 - Temperatura e humidade relativa

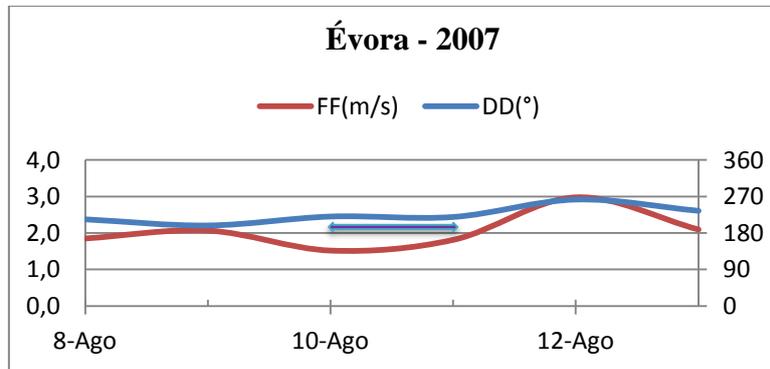


Fig. A.32.2- Intensidade e direcção do vento

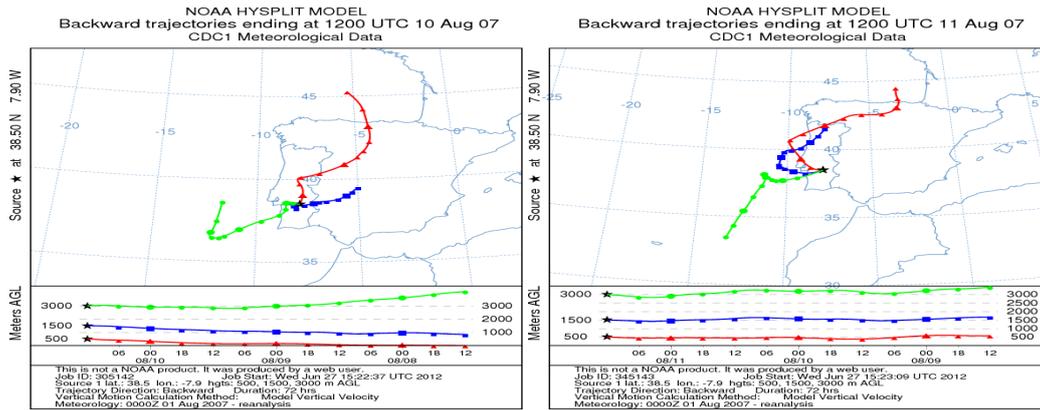


Fig. A.32.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 10/08/2007 a 11 /08/2007

Episódio de 14 a 20 de Setembro de 2007

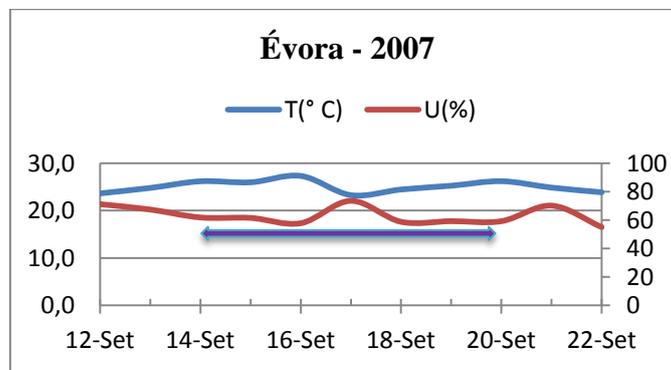


Fig. A.33.1- Temperatura e humidade relativa

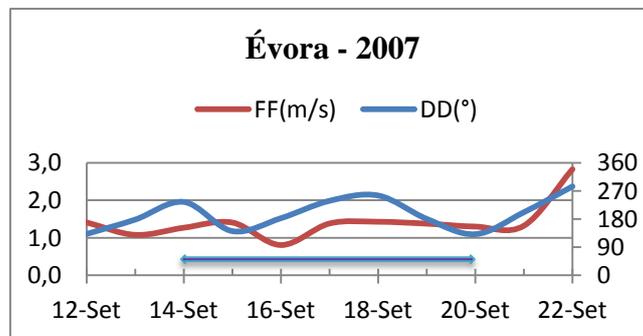
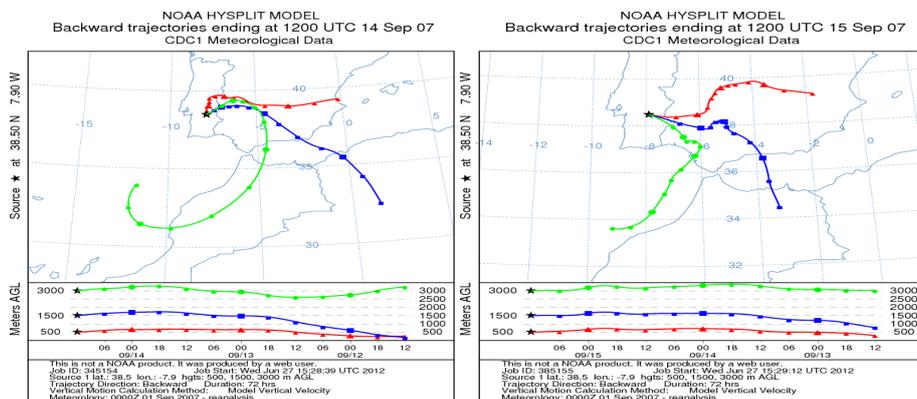


Fig. A.33.2- Intensidade e direcção do vento



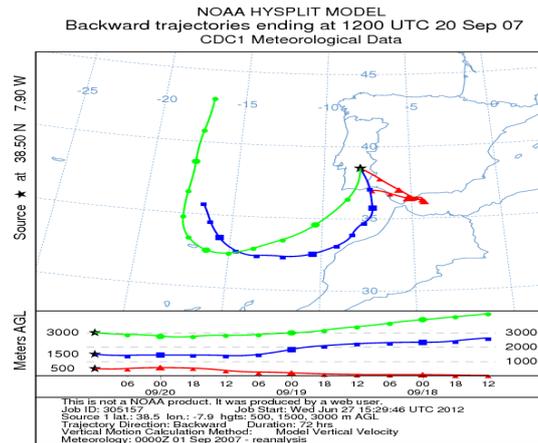


Fig. A.33.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 14/09/2007 a 20 /09/2007

**Episódio de 16 a 17 de Janeiro de 2008**

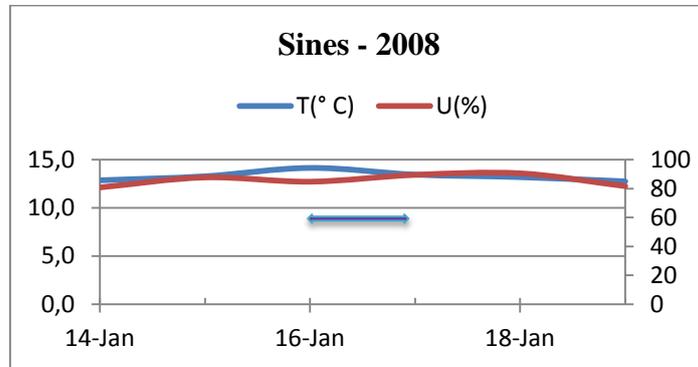


Fig. A.34.1- Temperatura e humidade relativa

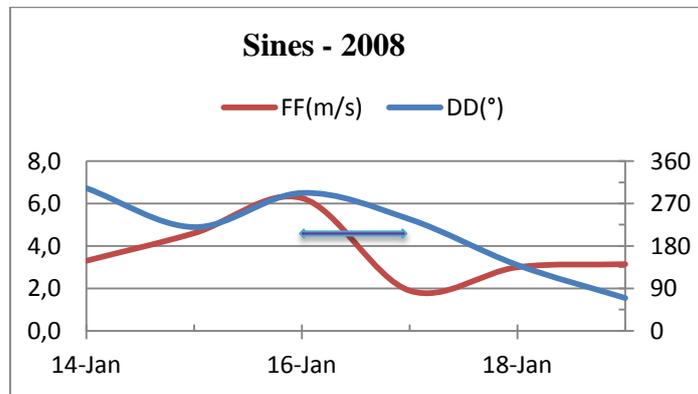


Fig. A.34.2- Intensidade e direcção do vento

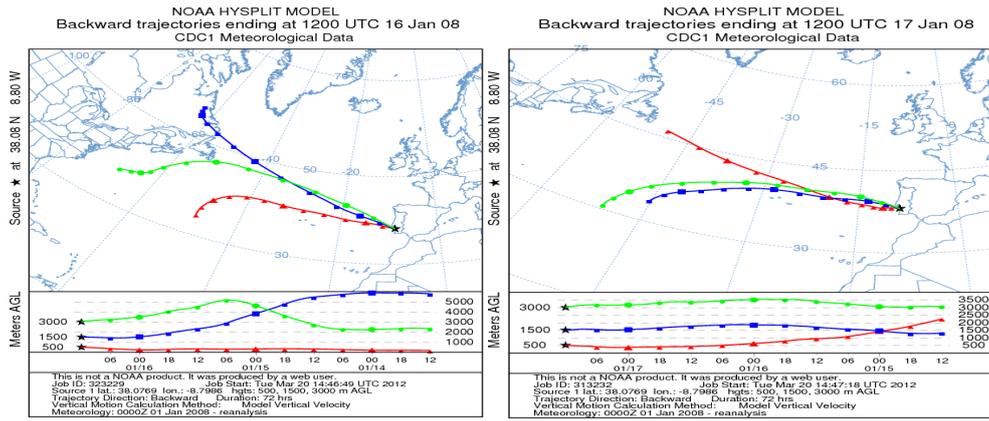


Fig. A.34.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 16/01/2008 a 17 /01/2008

Episódio de 23 a 26 de Dezembro de 2008

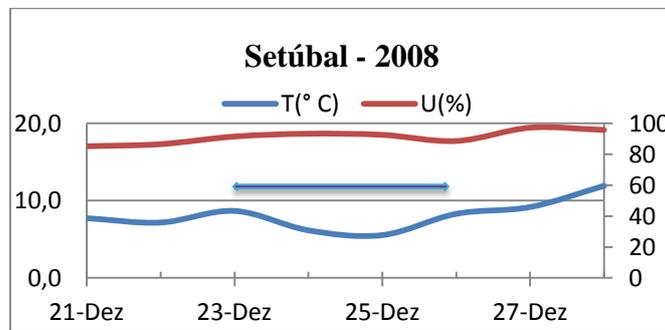


Fig. A.35.1- Temperatura e humidade relativa

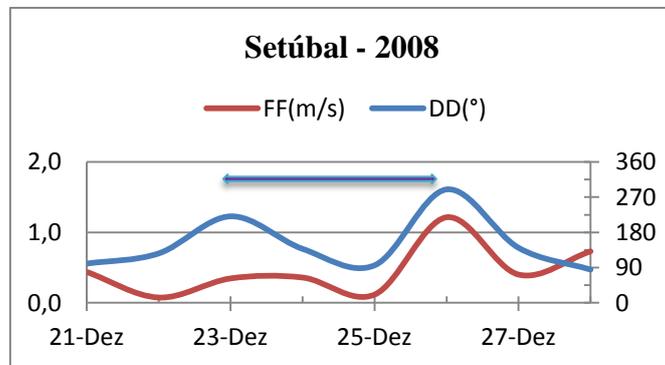
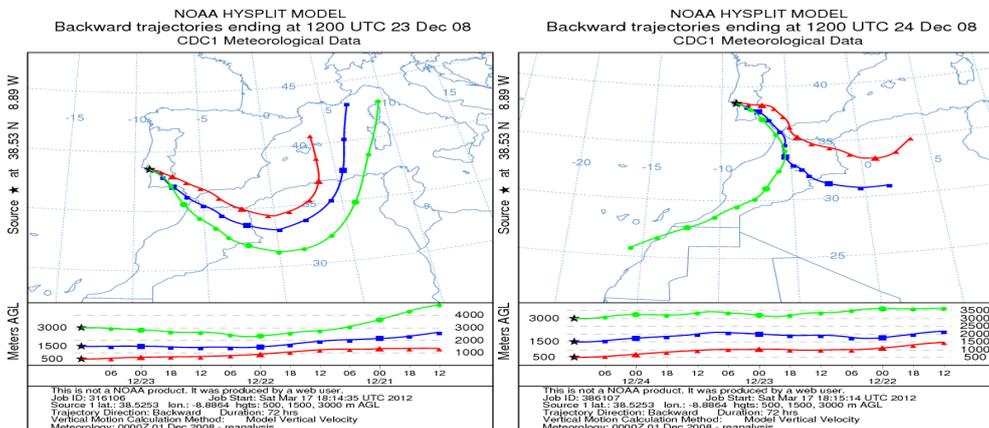


Fig. A.35.2- Intensidade e direcção do vento



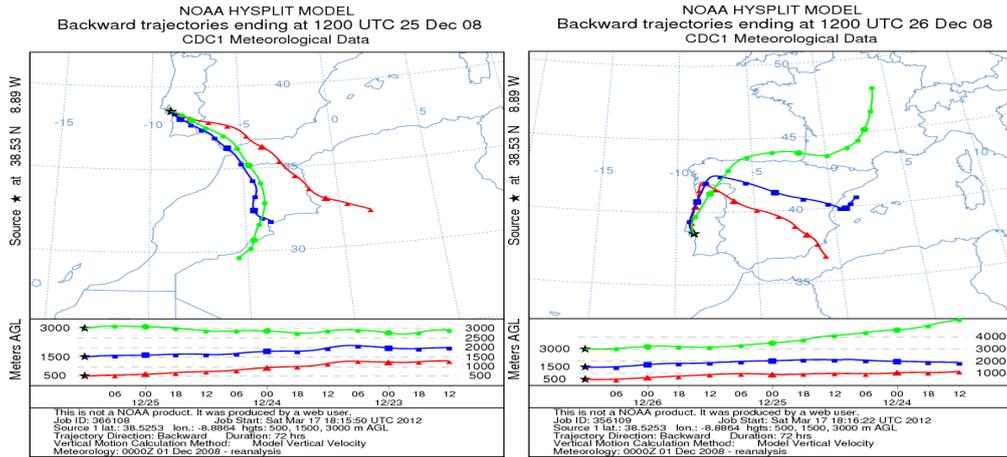


Fig. A.35.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 23/12/2008 a 26 /12/2008

Episódio de 24 a 26 de Janeiro de 2009

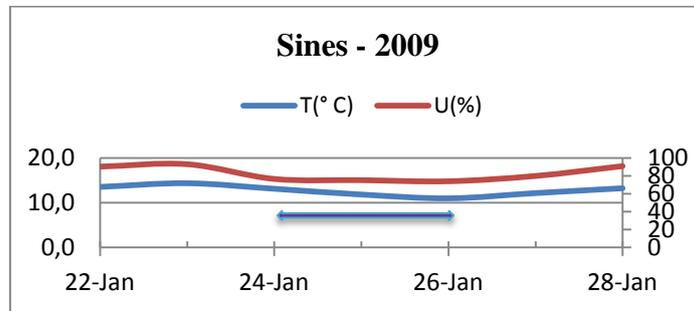


Fig. A.36.1- Temperatura e humidade relativa

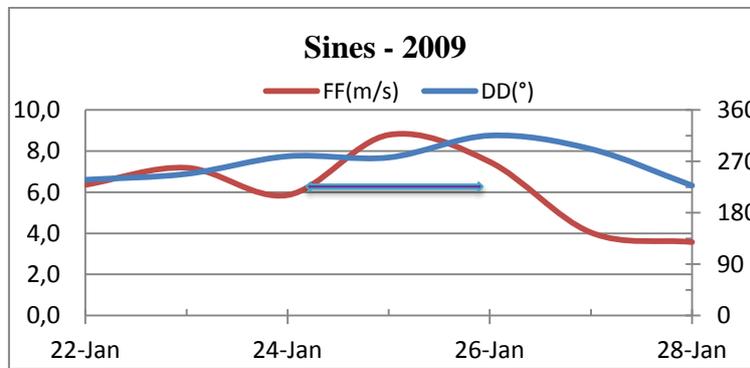


Fig. A.36.2- Intensidade e direcção do vento

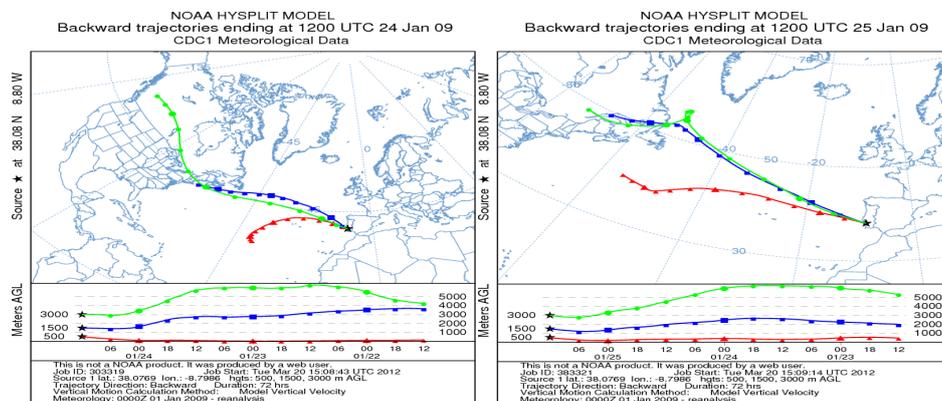


Fig. A.36.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 24/01/2009 a 26 /01/2009

Episódio de 26 a 27 de Fevereiro de 2009

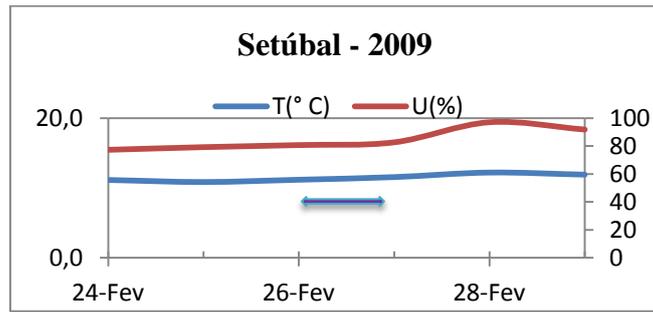


Fig. A.37.1- Temperatura e humidade relativa

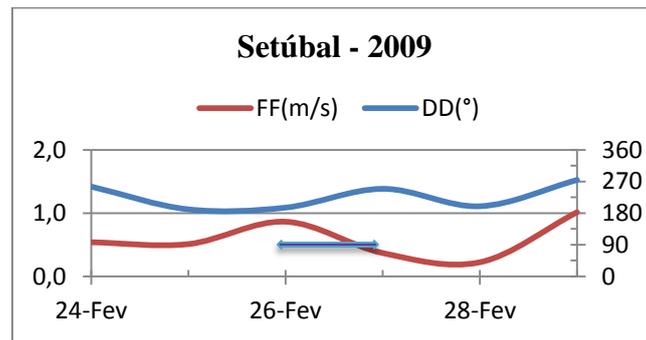


Fig. A.37.2- Intensidade e direcção do vento

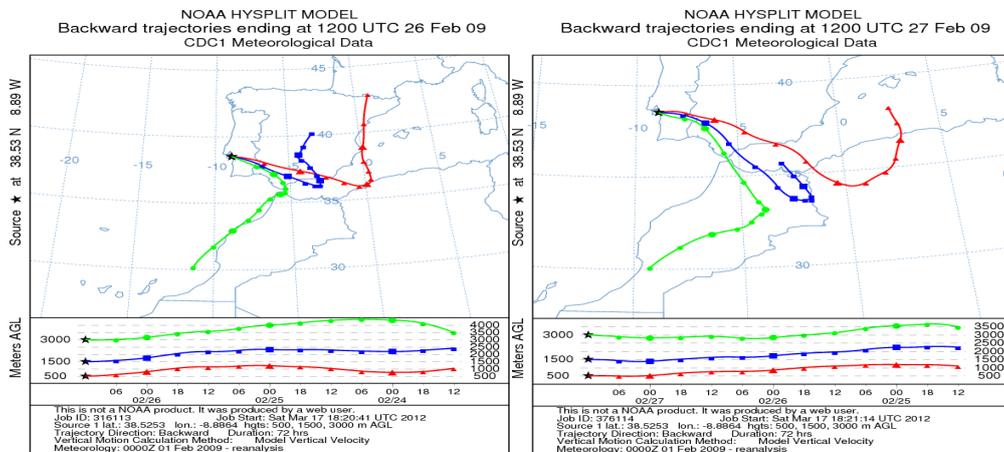
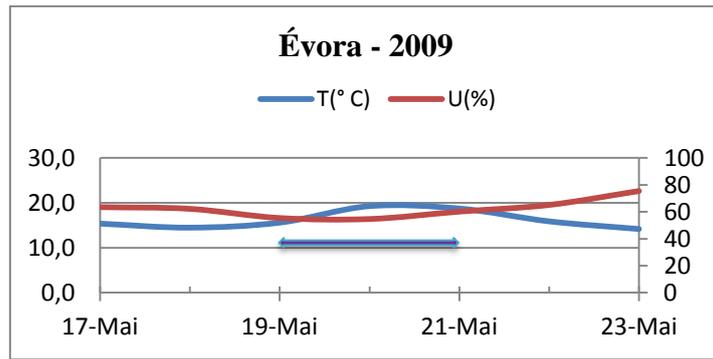
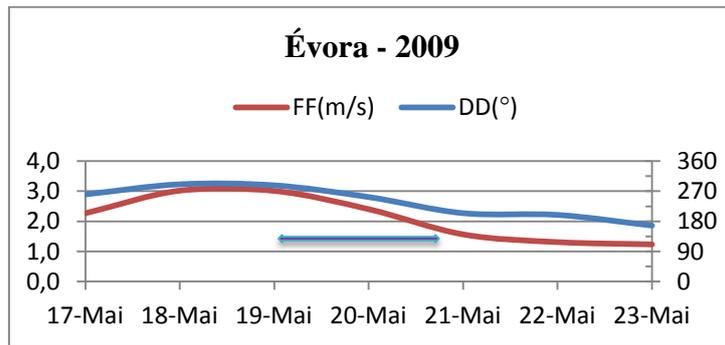


Fig. A.37.3- Retrotrajetórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 26/02/2009 a 27 /02/2009

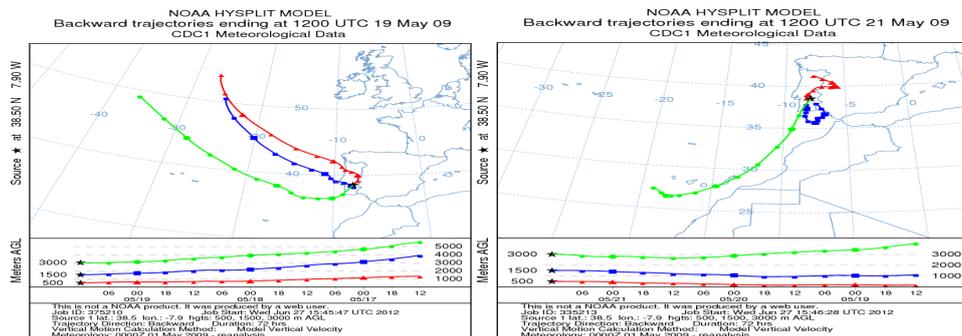
**Episódio de 19 a 21 de Maio de 2009**



**Fig. A.38.1-** Temperatura e humidade relativa

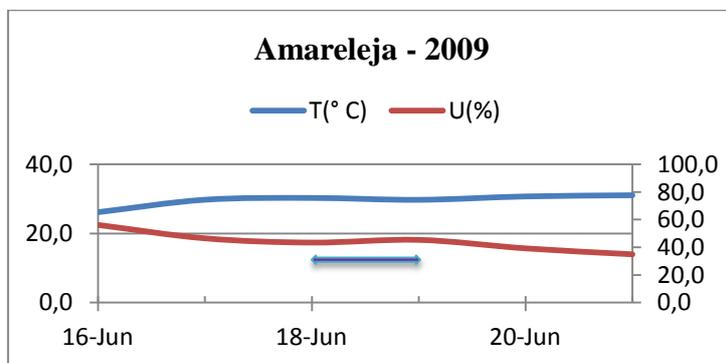


**Fig. A.38.2-** Intensidade e direcção do vento



**Fig. A.38.3-** Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 19/05/2009 a 21 /05/2009

**Episódio de 18 a 19 de Junho de 2009**



**Fig. A.39.1-** Temperatura e humidade relativa

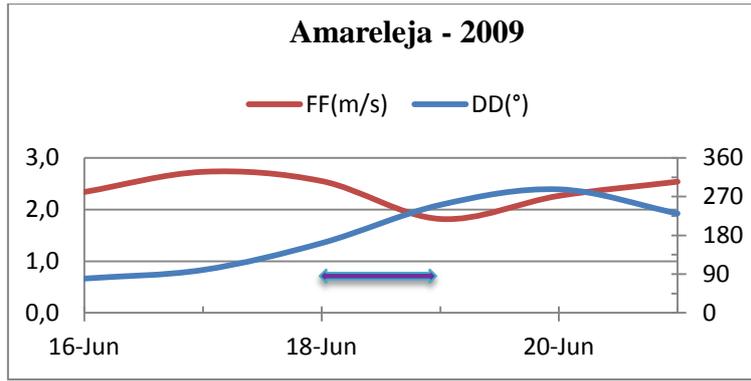


Fig. A.39.2- Intensidade e direcção do vento

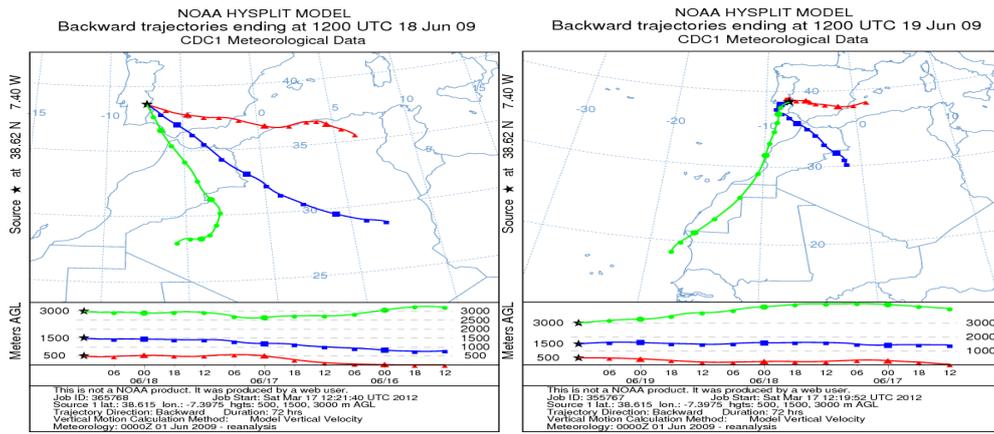


Fig. A.39.3- Retrotrajectórias de 72 h para o episódio de aerossóis de 18/06/2009 a 19 /06/2009