Universidade de São Paulo

Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas

Jezabel Miriam Fernandes Azevedo

A influência das variáveis ambientais (meteorológicas e de qualidade do ar) na morbidade respiratória e cardiovascular na Área Metropolitana do Porto

Tese de Doutorado apresentada ao
Departamento de Ciências Atmosféricas

Orientador: Professor Fábio Gonçalves
Co-Orientador: Professor António Rui Leal

Abril de 2010

Agradecimentos

A Deus que permite conhecer as suas criações.

Aos meus pais, irmã e cunhado que mesmo estando ausentes fisicamente, estiveram sempre presentes para ajudar e apoiar em todos os momentos. Aos meus tios e primos pelas boas conversas e conselhos.

Um agradecimento especial ao Prof. Fábio Gonçalves que sem hesitar aceitou orientar-me sem me conhecer muito bem. Durante quase quatro anos foi muito atencioso, compreensivo e muito contribuiu para o meu desenvolvimento pessoal e desta tese.

Aos meus amigos brasileiros que foram grandes amigos na hora certa: Clayton, Clênia, Edson, Enver, Guilherme, Mauricio, Marcelo e Luciana, Nadja, Reinaldo, Dyana e Danielle e Ronison.

Ao Dr. Maciel Barbosa, presidente da ARS-Norte e sua secretária D. Filomena pelos dados hospitalares sem os quais não poderia ter feito a tese. À Dra. Delfina, Dr. Rocha Nogueira e Engenheira Gabriela, do Centro Regional de Saúde do Porto, por me apoiarem e deixarem fluir todo o processo de aquisição dos dados.

Às Professoras. Adalgiza Fornaro, Maria de Fátima Andrade, Teresinha Xavier e ao Professor Tércio Ambrizzi por darem sempre excelentes exemplos e conselhos.

Á Rose e ao Marcel da secretaria de pós-graduação e ao Sr. Artur Azevedo (divisão de imigração, Brasília) que foram fundamentais no processo de legalização. Aos indispensáveis e incansáveis informáticos Sebastião e Samuel e às secretárias do departamento.

À Edna e Michele por me receberem em casa na primeira semana que cheguei para fazer o curso.

À Anita e Gyrlene que foram minhas companheiras, no meu primeiro congresso no Brasil, em Florianópolis.

Á Profa Fantina Pedrosa e Prof. Rui Leal pela colaboração na preparação do projeto em Portugal.

Índice

Resumo 4
Abstract 6
1. Introdução 7
1.1. As relações entre o ambiente e a saúde humana 7
1.2. Biometeorologia 10
1.3. As relações tempo/clima e saúde 11
1.4. As relações poluição e saúde 13
1.5. Conforto térmico 16
1.6. Estudos na região em questão 17
1.7. O Problema 19
2. Localização e descrição da área de estudo 20
2.1. O clima 22
3. Materiais e metodologia 24
3.1 Material 24
3.2. Metodologia 31
3.2.1. Índices de conforto térmico humano 31
3.2.2. Estatística descritiva 35
3.2.3. Estrutura de defasagem (’lag’) 37
3.2.4. Métodos de regressão 37
3.2.4.1. Correlação 37
3.2.4.2. Regressão Linear Múltipla 37
3.2.5. Análise Fatorial por Componentes Principais 39
3.2.6. Análise da distribuição em quantis 40
4. Resultados 41
4.1. Análise do período temporal na íntegra 41
4.1.1. Comportamento das variáveis meteorológicas durante o período de estudo 42
4.1.2. Conforto Térmico 46
4.2. Análise sazonal 95
4.2.1. Primavera 95
4.2.2. Verão 97
4.2.3. Outono 101
4.2.4. Inverno 102
4.3. Estudos de caso 105
4.3.1. Eventos extremos 105
4.3.1.1. Verão 106
4.3.1.2. Distribuição temporal e espacial do Material Particulado durante eventos os ‘extremos de calor’ de 2003 e 2005 110
4.3.1.3. Ausência de precipitação durante o inverno 116
4.3.1.4. O Impacto de inversão térmica durante o inverno 2004/05 121
4.3.2. O impacto da OAN na qualidade do ar e na saúde pública, estudo de caso referente ao ano de 2004 123
5. Conclusões 129
5.1. Sugestões para Futuros trabalhos 131
Referencias Bibliográficas 133
Anexo I 143
Anexo II 145

Resumo

O Homem é parte integrante do sistema Ambiental. O ambiente cria impactos Nele e por sua vez ele também pode provocar impactos no Ambiente. O objetivo da tese foi identificar qual a intensidade e freqüência do impacto que a poluição atmosférica e a variabilidade das variáveis meteorológicas na saúde da população da Área Metropolitana do Porto (Portugal), através de um estudo epidemiológico ecológico. Escolheu-se o período de 2002 a 2005 para estudar um conjunto de cidades que contam com espaços urbanos, suburbanos e industriais mesclados, perto do litoral Atlântico com clima Mediterrânico. Usando como métodos a análise descritiva e multivariada (ACP), de correlação e regressão múltipla (RM), assim como índices de conforto térmico (ID, H, Te e Tev), trabalharam-se dados de admissões hospitalares (4 hospitais públicos) de doenças cardiovasculares (DCV) (401-405, Hipertensão; 410-414, DCV Isquêmica, 426-428, Insuficiência Cardíaca) e respiratórias (490-496, Asma/Bronquite; 500-507, Pneumoconioses), informações meteorológicas do Instituto de Meteorologia de Portugal (Temperatura, Umidade, Precipitação e Pressão) e valores diários e mensais do índice de Oscilação do Atlântico Norte (OAN), da NOAA, assim como, saídas de normais de pressão e médias de velocidade de vento do modelo NOAA e de 10 estações fixas de qualidade do ar pertencentes à Agencia Portuguesa do Ambiente (O_3; NO_2, NO, CO, SO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$). Identificaram-se alguns períodos de temperaturas elevadas (38°C) durante o verão e inversões térmicas durante o inverno (2004/05), as quais criaram situações de estresse térmico por calor e muito frio (dos 1461 mais de 930 dias - 24°C< TEv tmin Urmáx vmáx < 0°C), por um lado, e aumento da poluição, por outro. Esse aumento da poluição contribuiu para se observar maior número de casos por doenças respiratórias por Asma/bronquite (lag 3 dias durante inverno 2004/05 correlação com $PM_{2,5}$=0,33), doenças Cardíacas Hipertensivas (regressão multivariada para Primavera, para PM_{10} com Beta=0,80, $R^2_{ajustado}$=0,076), e Insuficiências Cardíacas (regressão para Outono NO_2 Beta = 0,42 com $R^2_{ajustado}$= 0,060). Encontrou-se também relação significativa e forte entre a variabilidade da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) e de alguns poluentes durante o inverno (ex: correlação PM_{10}=0,71, em 2003; $PM_{2,5}$= 0,91, em 2005; SO_2=0,45, em 2004). Uma importante conclusão, também sugerida por outros autores, é que as mudanças climáticas podem modificar a intensidade e regularidade da OAN, afetando assim a circulação atmosférica o que terá

impacto direto na dispersão dos poluentes em pequena escala e conseqüentemente irá influenciar a saúde publica.

Abstract

Humans are part of environmental system. Environment impacts on Humans and we so can impact on earth ecosystems. The thesis aims identify the intensity and frequency of air pollution and meteorological impact on Porto Metropolitan Area (PMA) public health, although a ecological epidemiological study. The 2002- 2005 period was select to study climatologically Mediterranean seaside cities with typical urban, suburban and industrial mixed spaces. The statistical methods used were: descriptive and multivariate (ACP) analyze, correlation and multiple regression, as well as, discomfort indices (ID, Te, Tev, H). Data set from 3 different institutions was analyzed: admission from 4 public hospitals referent to heart (401-405, Hypertension; 410-414, Ischemic cardiac, 426-428, Heart Insufficiency) and respiratory diseases (490-496, Asthma/Bronchitis; 500-507, Pneumoconioses), meteorological information from Meteorological Institute of Portugal.(Temperature, Humidity, Precipitation, Wind speed, Pressure) and daily and monthly North Atlantic Oscillation index values, from NOAA, as well as, pressure daily normal and wind velocity daily mean NOAA model output and from 10 fixed air quality stations (Environmental Portuguese Agency) the pollutants (O_3; NO_2, NO, CO, SO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$) time series. Some high temperature (38°C) periods was identified during summertime and thermal inversions in the wintertime (2004 and 2005), which provoked stress for heat and cold (from 1461 days, 930 days the thermal sensation was -24°C< TEv tmin Urmáx vmáx < 0°C), and pollution increase. The air pollution increased the hospital admissions for respiratory diseases special Asthma/bronquitis (lag 3 days during 2004/05 Winter correlation $PM_{2.5}$= 0.33), Cardiac Hypertension (Spring multivariate regression Beta= 0.80, $R^2_{ajusted}$= 0.076), and Heart insufficiency (Autumn multivariate regression NO_2 Beta = 0.42 with $R^2_{ajustaded}$= 0.060). Significant and strong association was found between North Atlantic Oscillation (NAO) and some pollutants during Wintertime (eg.: correlation PM_{10}=0.71, 2003; $PM_{2.5}$=0.91, 2005; SO_2=0.45, 2004).). It is important to notice that some studies have already suggested that climate change can modify the intensity and regularity of the NAO, affecting the atmospheric general circulation and it could have a direct impact on pollutants dispersion in small scale and on public health.

1. Introdução

A preocupação com o ambiente e o seu impacto na saúde vem desde as eras pré-cristãs. Devido ao uso do carvão como combustível, nas cidades da época já se respirava ar de qualidade duvidosa. Esta situação veio-se agravando até que temos o primeiro relato no final do século XIII em Inglaterra (Clayton, 1978) e depois durante a revolução industrial a situação foi piorando. No inicio do século XX o aumento dos automóveis e o uso do combustível fóssil veio se somar às emissões industriais e às guerras, como fontes poluidoras.

Seguiram-se eventos trágicos que chamaram a atenção da população e dos pesquisadores para a importância de se entender os fenômenos meteorológicos associados à poluição para minimizar os seus impactos na saúde pública. Nos pontos seguintes estão alguns exemplos divididos em 7 partes principais;

1.1. As relações entre o ambiente e a saúde humana

1.2. Biometeorologia

1.3. As relações clima/tempo e saúde

1.4. As relações poluição saúde

1.5. Conforto térmico

1.6. Estudos na região em questão

1.7. O problema

1.1. As relações entre o ambiente e a saúde humana

O risco a que os indivíduos estão expostos em grandes cidades em volta do mundo não é sempre o mesmo. O esforço de cada governo em diminuir os limites máximos de exposição permitidos depende em grande medida de outros fatores ligados ao desenvolvimento econômico e social do país. E, como conseqüência, ao grau de importância que a saúde publica tem face ao desenvolvimento econômico, que por sua vez, estará sempre associado ao maior ou menor número de fontes moveis e fixas de poluentes (Samet, 1999).

Os métodos de quantificação dos riscos associados à exposição a uma atmosfera poluída têm vindo a ser desenvolvidos ao longo de mais de 20 anos. Trabalhos epidemiológicos (Bourotte et al., 2007; Lin et al., 2003) e experimentais (Soares et al, 2003; Massad et al, 1985) têm mostrado que viver numa atmosfera poluída afeta

diretamente o sistema respiratório e cardiovascular e indiretamente todos os outros sistemas orgânicos.

A concepção da ‘sociedade de risco’ designa uma fase de desenvolvimento da sociedade moderna na qual a dinâmica de troca da produção de riscos escapa, cada vez em maior proporção, às instituições de controlo e proteção da sociedade industrial. Por um lado, esta sociedade industrial tem necessidade de conviver com os riscos devidos ao seu desenvolvimento, mas por outro critica-se, através do sistema direto, políticas públicas e organizações de defesa, que derivam da dinâmica da sociedade industrial (Beck et al., 1996). Neste âmbito podem-se distinguir três referenciais de interação:

- direito dos grupos expressarem as suas formas de vida e ideias sobre a segurança oferecida principalmente a partir do século XX com as democracias ocidentais.

- relação da sociedade moderna industrializada com os seus recursos naturais e culturais sobre os quais se constitui e se pretende continuar a desenvolver.

- relação da sociedade com os problemas decorrentes do respeito pela segurança e pelo direito ao acesso a qualidade de vida econômica, tecnológica e de exploração dos seus próprios recursos.

O impacto associado com o risco afetam de forma diferente os vários grupos sociais. Cada grupo, apresenta um quadro, pré e pós manifestação do evento, que reflete a grande complexidade no estudo e dimensionamento do que é o Risco Ambiental e a sua gestão, em diferentes partes do nosso planeta.

O risco ambiental pode ser dividido em vários setores que o qualifica mais especificamente. Como sendo risco: tecnológico, biológico, natural, social, de saúde, habitação, trabalho, e tantos outros que estão associados à segurança pessoal. (Marques e Rocha, 2003) Destes podemos delimitar dois grandes grupos de riscos: os riscos induzidos pela atividade antrópica e os riscos naturais, associados aos fenômenos geofísicos.

Os *Riscos* são dependentes dos conceitos, cultura, formação, objetivos que a Sociedade tem. Estes fatores intervêm nas precauções que são tomadas para evitar situações de risco e reflete os valores e as instituições da sociedade.

O conceito da sociedade de risco cruza-se diretamente com o de globalização: os riscos são ‘democraticos’, afetando nações e classes sociais sem respeitar fronteiras de nenhum tipo (Guivant, 2000). Deixou de se ter uma sociedade industrial só preocupada com a produção de bens e sua distribuição. Agora também se analisa como se vai

distribuir a poluição. É o fim do risco pessoal, para passar a ser global, por exemplo, a poluição atmosferica pode afetar seres vivos e não vivos em vários locais distantes da fonte de emissão.

O *Risco* só se verifica no caso de existir a probabilidade de provocar danos ao Homem ou suas atividades. Risco em epidemiologia é a probabilidade de ocorrência de uma doença especifica ou de um evento adverso à saúde. Pode-se, então, definir por fator de risco o elemento ou características positivamente associadas ao risco (ou probabilidade) de desenvolver uma doença. Podemos então apresentar a causalidade como uma relação causa-efeito em que alguns elementos devem estar presentes para que a doença ocorra.

Geralmente, a causa abrange um conjunto de fatores de risco, não sendo necessário identificá-los na totalidade para implementar medidas efetivas de prevenção, uma vez que a eliminação de um deles pode interferir na ação dos demais, naquilo que denominamos configuração favorável, e, portanto, evitar a doença. O peso de cada fator pode ser variável em diferentes doenças.

Rothman e Greenland (1998) apresentaram um modelo de causalidade que enfatiza a gênese da patologia de forma multifatorial, com causas ou fatores multi-componentes que aumentam o risco e as diversas causas. Ele identificou necessariamente elementos e combinações de exposições suficientes para resultarem em desenvolvimento da doença. A inferência causal focaria mais quão bem os resultados dos estudos epidemiológicos se ajustam com aquele modelo. A causa de um evento pode ser definida como um evento antecedente, condição ou características necessárias para a ocorrência de uma doença num dado momento, dado que outras condições são fixas (Rothman, 2005).

O modelo de causalidade que descreve as causas em termos de causas suficientes e seus componentes é importante para os princípios de multi-causualidade, para a forte dependência dos componentes de causa na prevalência dos componentes de causa complementar e na interação entre esses componentes (Rothman, 2005).

A compreensão da concepção multicausal pressupõe o conhecimento do conceito de risco e de fator de risco. Greenland (2005) propôs que os fatores de interação que compõem a causa podem ser de origem social como, por exemplo, socioeconômicos, sexo ou raça.

Os epidemiologistas procuram desenvolver ajustes nos seus estudos com o objetivo de poder avaliar com mais razoabilidade a natureza causal das associações

observadas (Lucas, 2005). Após essa avaliação será mais fácil introduzir estratégias de redução do risco e o impacto relativo àquela doença.

As relações entre ambiente e saúde estão dentro do escopo da área de estudo denominada de Biometeorologia vista a seguir.

1.2. Biometeorologia

A Biometerorologia é uma ciência que se ocupa em entender as relações dos seres vivos com o meio envolvente. Como se dão as trocas de informação entre o organismo vivo e o ambiente, o impacto que o ambiente tem nos sentidos, fisiologia e limites do organismo, a sua sensibilidade às variações de cada variável meteorológica ou da composição química da atmosfera.

É uma ciência recente que pode ser ramificada atualmente em: Biometeorologia Humana, Arquitetural e Urbana, Animal e das Plantas.

A Biometeorologia humana teve origem na interdisciplinaridade entre a Meteorologia e a Medicina. Oficialmente foi reconhecida como ciência com o primeiro Simpósio Internacional de Biometeorologia realizado em Paris, em agosto de 1956. Os primeiros resultados científicos publicados datam da década de 60, no Jornal Internacional de Biometeorologia, e tratam de assuntos ligados à transmissão de doenças através de mosquitos devido à intensa precipitação (Tromp, 1980).

Ao grupo de Biometeorologia logo se sentiram atraídos os meteorologista e climatologistas, contudo o grupo ficou mais completo com a integração de médicos e epidemiologistas, biólogos, botânicos, zoólogos, agrônomos e mais recentemente especialista da área ambiental.

As alterações climáticas e a variabilidade meteorológica podem aumentar significativamente a vulnerabilidade humana, animal e das plantas. No caso humano, a incidência (aumentos de casos) de várias doenças ou agravo do quadro clínico de pacientes que já estejam hospitalizados podendo levar ao óbito.

É conhecida a surpreendente capacidade dos seres vivos se adaptarem ao longo dos tempos a regiões geladas como o Ártico ou Escandinávia, ou às regiões equatoriais, como a floresta Amazônica, e áridas, como os Andes. No entanto, o sucesso dessas adaptações por vezes é interrompido por mudanças temporárias. Entender a adaptação ambiental e especificamente o clima e as características que tornam a população vulnerável é matéria para especialistas de várias áreas. Segundo as diretrizes da

Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas de 1992, uma as primeiras responsabilidades deve ser conhecer, neste caso, os padrões meteorológicos sazonais e as características clínicas das patologias, o que irá permitir 'reduzir o risco' ou 'mitigar'(artigo 3) a incidência e/ou prevalência de casos de certas doenças, assim como preparar e planejar as condições hospitalares e governamentais, se for o caso, para situações de pandemia ou epidemia. Neste sentido, a convenção indicou um caminho para reduzir a vulnerabilidade ao clima e sua variabilidade e também às mudanças climáticas, já que todos eles têm relação com a saúde como será visto no ponto seguinte.

1.3. As relações tempo/clima e saúde

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) todos têm direito à saúde que se caracteriza, entre outras coisas, pelo bem-estar físico. O acesso a cuidados de saúde desde a concepção, na maioria dos casos é um fator determinante para o individuo se manter saudável. O indivíduo em equilíbrio interage com o meio envolvente e faz parte do grande ecossistema terrestre. Muitas variáveis podem ser consideradas função desse equilíbrio. As características genéticas, idade, sexo, comportamentos, hábitos, meio social e cultural, assim como região geográfica de habitação em conjunto com as características climáticas, são algumas das variáveis que contribuem para o estado de saúde de qualquer individuo.

Por exemplo, a combinação de sistemas sinóticos sobre o leste da América do Norte e a baixa intensa sobre a região da Islândia favorece o rápido (2-3 dias) transporte de poluentes através do Atlântico Norte até à Europa (Trickl et al., 2003), Creilson et al.(2003) sugeriu que a Oscilação do Atlântico Norte (OAN) pode ter um importante papel na modulação desses processos de transporte. As alterações de correntes de ventos e marinhas não só provoca impactos no ecossistema marinho, mas este impacto também se estende aos outros níveis tróficos. A variabilidade interanual do fitoplancton e zooplancton reflete a mudança dos ventos e temperatura oceânica (Colebrook, 1982), pode provocar alterações meteorológicas com efeitos sobre o transporte e dispersão de poluentes (Meleux et al., 2007). Durante as suas simulações Meleux detectou aumento na concentração média de ozônio durante o verão considerando um cenário das condições futuras do clima com redução da nebulosidade e precipitação e aumento da temperatura sobre a Europa. Nesse estudo, as simulações sugeriram que as condições

climáticas futuras podem afetar os níveis de poluentes e tornar vulneráveis os humanos, a agricultura e os ecossistemas naturais na Europa.

Na região de estudo a ocorrência de episódios de seca e de diminuição da qualidade do ar está, quase sempre, associada à variabilidade da Oscilação do Atlântico Norte que é o modo dominante da variabilidade atmosférica que ocorre no Atlântico Norte (Hurrell, 1995) O impacto da OAN é geralmente sentido devido a mudanças físicas no ambiente local, tais como nas variáveis atmosféricas como a velocidade do vento e direção, temperatura do ar, calor e transporte da mistura e precipitação (Hurrell et al., 2003). As variáveis atmosféricas exercem uma forçante sobre o oceano provocando mudança na temperatura e salinidade características da água, mistura vertical e circulação (Visbeck et al., 2002).

A fase positiva e negativa da OAN são freqüentemente explicadas em termos de balanço radiativo e cobertura nebulosa. O impacto da OAN nos campos de água precipitável e na taxa de precipitação também é bastante diferente, sendo o primeiro controlado pelo campo de anomalias da temperatura e o segundo pelo campo das anomalias da vorticidade (Trigo et al. 2002).

Os efeitos da variabilidade e mudanças climáticas e, especialmente do aquecimento global na saúde podem se assumir de forma direta ou indireta. Os impactos diretos incluem a relação da temperatura com as doenças e a mortalidade. Indiretamente o impacto segue um intrincado caminho que inclui a influência do clima (precipitação, umidade e temperatura, em especial) na densidade e distribuição microbiana, distribuição de vetores, menor resistência a infecções, quantidade de comida, água potável e qualidade do ar (Barcellos, 2009).

Segundo uma simulação de mudança climática realizada com HIRAM (Beniston, 2004) a distribuição das temperaturas máximas no verão de 2003 indicaram que – se a previsão estiver correta- este tipo de verão com temperaturas elevadas poderá vir a ser repetido como sendo o de normal ocorrência até ao fim deste século na Europa Central! Estes resultados estão de acordo com a média anual para a mudança de temperaturas esperadas no clima futuro, de 2041-2050, na Europa Central, comparado com o período controle de 1971-1980, o qual foi considerado como clima atual.

As ondas de calor, nos últimos anos, têm assolado a Europa. Segundo Lyamani et al.(2006), durante a primeira metade de agosto de 2003 o sistema de alta pressão sobre o oeste da Europa bloqueou o fluxo de umidade em 700 e 500 mb e em Granada (Espanha) observou-se, a nível regional, aumento significativo de aerossóis e alteração

das suas propriedades. Devido ao tipo de circulação atmosférica associado a onda de calor as trajetórias mostraram aerossóis vindos do deserto do Sara, Mediterrâneo e de emissões locais.

Portanto as relações entre o conforto térmico humano, a poluição do ar e a saúde humana são importantes tópicos da Biometeorologia sendo vistas em detalhes a seguir, nas seções 1.4 e 1.5..

1.4. As relações poluição e saúde

Têm sido publicados estudos que incluem todos os poluentes (Brunekreef e Holgate, 2002) ou que avaliam a influência de cada um em particular (Cassee et al., 2002) sobre as doenças respiratórias e cardiovasculares, assim como aqueles que avaliam só uma época do ano ao ainda aqueles que consideram os efeitos a curto-espaço de tempo e a longo termo de exposição. Cada um deles visa aperfeiçoar as técnicas e modelos matemáticos, físico, químicos e biológicos de análise, eliminar vieses, isolar fatores de confusão, além de, avaliar em que medida os seres vivos estão a ser afetados.

A poluição do ar atualmente é um dos problemas mais estudados e que tem ganho importância devido aos efeitos nefastos causados à saúde pública por exposição a certos compostos. O ozônio (O_3) e o material particulado (PM) com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 μm e 2,5 μm (PM_{10} e $PM_{2,5}$) são poluentes associados a eventos de crise asmática. O longo tempo de exposição a O_3, PM_{10} e dióxido de nitrogênio (NO_2) tem sido associado a doenças respiratórias crônicas e redução da função pulmonar, além de, aumentar a incidência de gripes (Gilmour et al., 2006; Trasande and Thurston, 2005; Brunekreef and Holgate, 2002)

Inalar ar poluído também pode afetar a freqüência cardíaca, a variabilidade da freqüência cardíaca, pressão sanguínea, tonos vascular, coagulação do sangue e a progressão da arteriosclerose (Simkhovich, 2008).

A exposição a monóxido de carbono (CO) pode provocar incapacidade de transporte de oxigênios pelo sangue. O CO compete com o oxigênio na combinação com a hemoglobina do sangue, uma vez que a afinidade da hemoglobina com o CO é cerca de 210 vezes maior que com oxigênio. Quando uma molécula de hemoglobina recebe uma molécula de CO forma-se a carboxihemoglobina, que diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio. Os sintomas da exposição ao monóxido de carbono dependem da quantidade de hemoglobina combinada com o monóxido de carbono.

Os distúrbios respiratórios são provocados tipicamente por reações alérgicas, infecções, ou inalações de poeiras ou produtos químicos, e podem ser influenciados pelo tempo e clima, diretamente, através de quedas súbitas na temperatura ou indiretamente, por exemplo, através do aumento dos níveis de poluentes (Schwartz et al., 1990).

Os efeitos adversos do material particulados, por exemplo, na atmosfera começam pelo aspecto estético, pois este interfere na visibilidade e está associado à corrosão e produção de sujeira em superfícies (edifícios, tecidos e outros materiais).

Oxidantes fotoquímicos é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar. O efeito mais relatado dos oxidantes fotoquímicos é a irritação dos olhos. Os principais componentes da mistura associados a este efeito são os peróxi-acitilnitratos (PAN- nitratos de peroxi-acitila e outros), o formaldeído e a acroleína (CETESB,1993). A presença dos oxidantes fotoquímicos na atmosfera também tem sido associada à redução da capacidade pulmonar e ao agravamento de doenças respiratórias, como a asma. Estudos realizados mostraram que o ozônio causa envelhecimento precoce, provoca danos na estrutura pulmonar e diminui a capacidade de resistir às infecções respiratórias (Koren et al., 1989). De acordo com Boelter e Davidson (1997), uma exposição curta ao ozônio pode causar ataques de tosse e a exposição contínua ao O_3 pode também resultar em câncer no pulmão.

No caso dos óxidos de NO e NO_2, somente o NO_2 é motivo de preocupação, pois, quando inalado, é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem às nitrosaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas. O dióxido de nitrogênio (NO_2) é também um poderoso irritante, podendo conduzir a sintomas de enfisema (CETESB,1993). Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante (Pryor e Lightsey, 1981).

Valores máximos horários de ozônio de 430 e 520 microgramas por metro cúbico ($\mu g/m^3$) foram medidos na Holanda e na Inglaterra, respectivamente (Van Aalst,1989). Em certos locais urbanos na Europa os níveis chegam a exceder $350\mu g/m^3$ (US Environmental Protection Agency).

Os níveis de ozônio natural variam com a altitude. O ozônio troposférico, originado por reações fotoquímicas tendo precursores biogênicos e antropogênicos, foi medido em locais distantes das fontes de poluição. Nos Estados Unidos a média anual é de $40\text{-}70\mu g/m^3$ e numa área não urbana o nível máximo diário registrado por hora é 60-

100µg/m^3, sendo que no verão a média horária sobe para 120-200µg/m^3 (US Environmental Protection Agency).

O ozônio pode induzir alterações genéticas em células humanas expostas à sua presença, segundo observações das seqüências de quatro "letras" (ou bases) químicas do ácido desoxirribonucléico (DNA). Normalmente, a base C (citosina) sempre está unida à G (guanina), enquanto a T (timina) se une à A (adenina). Em genes de células expostas ao ozônio, estas duplas aparecem trocadas ou numa ordem alterada, de forma similar à do câncer pulmonar de não-fumantes. (Berra, 2006)

Regiões de maior degradação, apresentam um nível tal de comprometimento da qualidade do ar que requerem um sistema de monitoramento que leve em conta, além do objetivo do acompanhamento dos níveis de poluição atmosférica a longo prazo, a possibilidade de ocorrência de episódios agudos de poluição do ar por O_3 e outros poluentes.

Em São Paulo, em geral, a caracterização da qualidade do ar e seu impacto à saúde têm acompanhamento. Municípios densamente povoados, áreas próximas de grandes centros urbanos e/ou industriais, regiões próximas de outras fontes poluidoras como, por exemplo, queimadas de palha de cana-de-açucar têm recebido especial atenção dos órgãos ambientais (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2005, 2006). Saldiva et al. (1994) concluiu que doenças pulmonares e vasculares estão associadas com o longo tempo de exposição à poluição do ar. Colocando a hipotese que as inflamações do epitélio e endotélio pulmonares, resultando em vias aereas e vasculares danificadas, são devido à exposição a ar poluido. Vários estudos experiementais com animais expostos a áreas poluidas da cidade de São Paulo mostraram associação entre as alterações pulmonares, como inflamações, e a poluição (Pereira et al., 1995; Saldiva, 2008).

Os níveis de ozônio diário variam de acordo com a localização, dependendo do balanço dos fatores que afetam a sua formação, transporte e destruição. Durante a manhã os valores são mínimos, mas de tarde ocorrem picos que são resultado de processos fotoquímicos (Schneider, 1989). Durante a noite, o ozônio é removido por processos que incluem transporte pelo vento e mistura vertical (Schneider,1989).

Além da poluição o conforto térmico é um dos fatores que mais impacto tem sobre a qualidade de vida da população. No proximo ponto são descritos alguns casos em que isso se tornou evidente.

1.5. Conforto térmico

O aumento da frequencia das ondas de calor, assim como, o aumento de mortes nas áreas urbanas devido ao calor opressivo tem impulsionado o interesse pelo desenvolvimento de sofisticados sistemas de alerta para salvar vidas.

Os humanos são homeotérmicos e precisam ter o seu corpo sempre a uma temperatura próxima de 37°C (com limites extremos de 32ºC a 42ºC). O organismo vivo gere e troca de energia constantemente com o microclima em volta através de processos fisiológicos e de comportamentos de adaptação e ajuste. De acordo com Auliceima e De Dear (1998), a gestão da homeotermia depende de três formas de troca de energia: radiativa, convectiva e evaporativa. Essas formas podem estar relacionadas com seis variáveis mensuráveis, das quais duas são pessoais e quatro são atmosféricas. As pessoais são a taxa metabólica e isolamento da roupa. As variáveis atmosféricas são: temperatura do ar, a troca de radiação térmica com o meio envolvente, velocidade do vento e umidade atmosférica.

A temperatura do corpo é regulada de forma autônoma e comportamental dos nervos termo-efectores. A regulação é conduzida principalmente pelo cérebro. Especialmente, a área pré-óptica no hipotálamo é abundante em neurônios termo-sensíveis que excitam as regiões cerebrais envolvidas no mecanismo de perda de calor e enviam sinais inibidores àquelas envolvidas em mecanismos de produção de calor (Tromp, 1980).

No calor, a desidratação afeta a termo-regulação autônoma e comportamental por fatores não termo-reguladores tais como a concentração elevada de Na^{+}.

Na biometeorologia moderna a gestão do conforto térmico humano numa visão fisiológica serve-se da interpretação do balanço de energia utilizando os resultados da equação dos fluxos de energia, roupa e parâmetros fisiológicos (Mayer, 1990). Hoje em dia, um dos modelos mais populares é o de Fanger (1972). Ele utilizou a ‘equação do conforto’, que também é chamada de ‘escolha média predita’. A qual prevê o resultado do ambiente térmico médio para uma amostra de pessoas de acordo com sete níveis.

Contudo, segundo vários autores (ex.: Kalkstein et al. 2008; WHO, WMO e UNEP, 1996) não é aconselhável considerar válido o resultado da relação conforto térmico-saúde para dois locais diferentes. As condições regionais e nacionais interferem no conceito de conforto de cada grupo de indivíduos. Pessoas acostumadas a temperaturas mais elevadas têm um limite de tolerância ao calor maior antes de ficarem

estressadas; além disso, em certas regiões com temperaturas elevadas durante o verão, a mortalidade é, geralmente menor do que em regiões com ondas de calor intermitentes (Kalkstein e Davis, 1989).

Neste sentido, cada país tomou a liberdade de desenvolver um sistema que mais se adéqüe às necessidades da população face aos eventos meteorológicos que são mais freqüentes no território nacional. Nos Estados Unidos o Serviço Meteorológico Nacional dividiu o país em região 'norte' e 'sul' com a diferença de tolerância de 5°F (3°C) (NOAA,1995). O número de vezes que esse limite é excedido varia muito de localidade para localidade. Na Europa os novos sistemas implementados por Itália (Michelozzi e Nogueira, 2004), França (Institute de Vielle Sanitaire, 2005), Espanha (Ministero de Sanidad y Consumo, 2005) definem limites por regiões. Em Portugal o sistema ICARO utiliza um limite simples de 32°C (Paixão e Nogueira, 2002).

Por isso, importa analisar quais as condições atmosféricas que mais contribuem para o conforto humano com relação ao ambiente externo.

1.6. Estudos na região em questão

No sul da Europa a experiência acumulada desde 1986 mostra que os problemas de qualidade do ar dependem de processos meteorológicos de meso-escala, do ciclo diurno e escala espacial de dezenas de Km (Lalas et al 1983, Millán et al. 1984, 1987).

A fim de caracterizar a dinâmica de poluentes no mediterrâneo e entender qual a circulação atmosférica envolvida a Comissão Européia (CE) desenvolveu os seguintes projetos: (1) ciclos meso-meteorológicos de poluição de ar na Península Ibérica (PI), especialmente elaborada para documentar a circulação atmosférica sobre ela (Millan et al. 1992); (Schneider, 1989), (2) os ciclos regionais de poluição do ar na área central oeste do mediterrâneo, o que incluiu a caracterização da costa do Atlântico de Portugal até Itália (Millan et al. 1997); e (3) (Van Aalst, 1989) ciclos de poluição do ar no sul da Europa em 1992-1995 (Millan et al. 1997; Kallos et al. 1998).

O projeto mostrou que existe um armazenamento de poluentes que permanecem e reagem durante 2 a 3 dias ao longo da costa mediterrânica de Espanha a 2-3 km de profundidade e mais de 300 km distância. Durante a noite, parte deste sistema movimenta-se ao longo da costa. Sob forte insolação a circulação reage fotoquimicamente, e muito do NOx e outros precursores se transformam em ácidos, aerossóis e ozônio (Millan 2003; Gangoiti et al. 2001; Millan et al. 1998).

Na área do mediterrâneo ocidental, as altas concentrações de ozônio estão muitas vezes associadas com sistemas de altas pressões em escala sinótica e formação de baixas térmicas. Os sistemas de baixas pressões induzem a convergência de fluxos para a península que força a brisa marítima a fluir (Castell, 2006).

A dinâmica dos contaminantes da costa mediterrânica vem condicionada em grande medida pelas circulações de meso-escala. Estes fluxos locais estão fortemente condicionados pelas características geográficas e climáticas da costa. (Millán Muñoz, 2003).

Devido às suas particularidades e orografia complexa desenvolvem-se intrincadas circulações na PI. As condições sinóticas mais usuais afetam os fluxos regionais de oeste e noroeste (Martín, 1987; Jorba *et al.*, 2003)

A situação geográfica do território de Portugal Continental é favorável à ocorrência de episódios de seca e de diminuição da qualidade do ar, quase sempre associados a situações de bloqueio em que o anticiclone subtropical do Atlântico Norte se mantém numa posição que impede que as perturbações da frente polar atinjam a Península Ibérica.

Na Península Ibérica (PI) os 6 anos mais quentes ocorreram nos últimos 12 anos. O ano de 2004 foi o 18º ano consecutivo com temperaturas mínimas acima da média 1961-1990, segundo o Instituto de Meteorologia Português (IM). Por exemplo, dias 6 e 7 de junho no Porto a estação meteorológica de Pedras Rubras registrou desvio de 14,8ºC acima da média para a estação do ano (verão). No verão de 2003 uma onda de calor afetou as regiões interiores norte e a região do Alentejo de Portugal assim como várias regiões da Europa (Luthebacher et al., 2004).

Além das características geográficas na AMP as fontes urbanas de poluição têm uma contribuição importante para a qualidade do ar. Segundo um estudo sobre o impacto do tráfego rodoviário na qualidade do ar urbano (Fontes, 2005) em 2000, 41% das emissões na Área Metropolitana do Porto foi devido a transportes. Destas 39% representavam os transportes rodoviários.

A qualidade do ar é uma das questões mais problemáticas da cidade do Porto e arredores, quer pela elevada densidade humana (cerca 1 400 000 de residentes em 2001), quer pelos elevados volumes de tráfego rodoviário. Contudo, elevadas concentrações de ozônio têm sido medidas em áreas rurais onde não existem fontes antropogênicas de ozônio nem seus precursores.

Em 2005, as estações de qualidade do ar da região norte de Portugal registraram 42 dias com concentração de ozônio acima do limite padrão primário, que é de 180 $\mu g/m^3$. Destes, 10 dias em junho, 13 em julho e 19 em agosto.

No mesmo ano, observaram-se 300 horas de ultrapassagem do limiar de informação ao público (padrão primário, de 180 microgramas por metro cúbico de ar) na estação de monitoramento de Lamas d´Olo, a cerca de 1086 metros de altitude no Parque Natural do Alvão. Chegando a registrar 361 $\mu g/m^3$, em 22 de junho. Sendo este local um parque natural, cabe saber como e de onde chegam concentrações elevadas deste poluente que acarreta problemas de saúde pública das populações locais.

As emissões de CO são principalmente atribuídas aos transportes rodoviários. Entre 71% e 67% do SO_2 emitido está associado à produção de energia, 21% à indústria transformadora e só 3% estão relacionados com os transportes (Fontes, 2005).

Têm sido feitos constantes avanços tecnológicos na mecânica dos veículos motorizados e no desenvolvimento de combustíveis mais amigos do ambiente aproximando a realidade às exigências legislativas da União Européia (Directiva 98/70/CE).

As variações diárias, semanais e sazonais dos poluentes em diversas localidades devem ser estudadas pela importância de se poderem controlar as emissões (fontes), a química (consumo e produção), a diluição e transporte (fenômenos meteorológicos e processos de camada limite) a fim de implementar estratégias de minimização desse impacto (Oliveira, 2004).

1.7. O Problema

O aprimoramento de técnicas de análise estatística de séries temporais, em estudos do tipo ecológico, predominante quando se analisa morbidade e sua associação com poluentes, sobretudo, confere confiabilidade aos resultados (Pope, 1992; Schwartz, 1996).

O objetivo do estudo da tese é determinar a possível relação entre a mudança de intensidade de exposição e as alterações na freqüência das doenças Cardiovasculares (DCV) com os códigos CID 9° revisão 401-405; 410-414 e 426-428 e respiratórias (DR) com os códigos 490-496 e 500-507, entre 2002 e 2005, na Área Metropolitana do Porto. Estas análises foram realizadas com recurso a modelos de regressão linear simples e multivariada. Este tipo de estudo é principalmente utilizado para gerar hipóteses ou

avaliar o impacto de programas sobre as populações, que poderão posteriormente ser investigadas a nível individual.

2. Localização e descrição da área de estudo

O continente Europeu é habitualmente dividido em conjuntos de países dos 4 quadrantes, sendo os países próximos ao antigo muro de Berlim (Europa central) quem continua a fazer a fronteira imaginária ente os países de Leste e do Ocidente. Portugal é o pais mais ocidental do sul da Europa, um dos paises mediterranicos pertencentes à Peninsula Ibérica (PI). Nesta divisão não se identificam somente diferenças politicas e históricas, mas também contrastes climáticos importantes.

Por sua vez, Portugal apesar de ser um dos menores paises da União Europeia apresenta diferenças climáticas relevantes entre as regiões norte e sul e interior e litoral.

A cidade do Porto é a segunda maior do país com cerca de 41,66 km² de área onde residem 216 080 habitantes (Portuenses) segundo o census de 2008 do Instituto Nacional de Estatistica, e a região metropolitana conta com cerca de 1,7 milhões de habitantes. A área de estudo corresponde a uma parte da Região Metropolitana do Porto (RMP), por isso resolveu-se denominá-la por Área Metropolitana do Porto (AMP).

A zona norte de Portugal, na qual está incluída a área de estudo, é coberta por uma rede de mais de 14 estações de qualidade do ar fixas, administradas pela Agencia Portuguesa do Ambiente. Contudo, só foi possível aceder às bases administrativas de 4 hospitais públicos (os maiores), dos vários hospitais públicos e privados da AMP. Neste sentido, foram escolhidas as estações em volta desses hospitais, assim como, foi delimitada a área de estudo em função dos dados que poderiam ser trabalhados.

A área de estudo possui localidades suburbanas, urbanas e industriais. A cidade do Porto é fortemente urbanizada. Possui trafego intenso durante o dia já que concentra a maioria dos locais de comércio, residência e prestação de serviços. As ‘cidades satélite’ como Gondomar e Valongo (ver localização no mapa da Figura 2.1.), do lado leste do Porto são principalmente cidades dormitório de trabalhadores da cidade central, Porto. Enquanto Maia e Matosinhos, a norte, possuem pólos industriais importantes misturados com localidades urbanas e suburbanas.

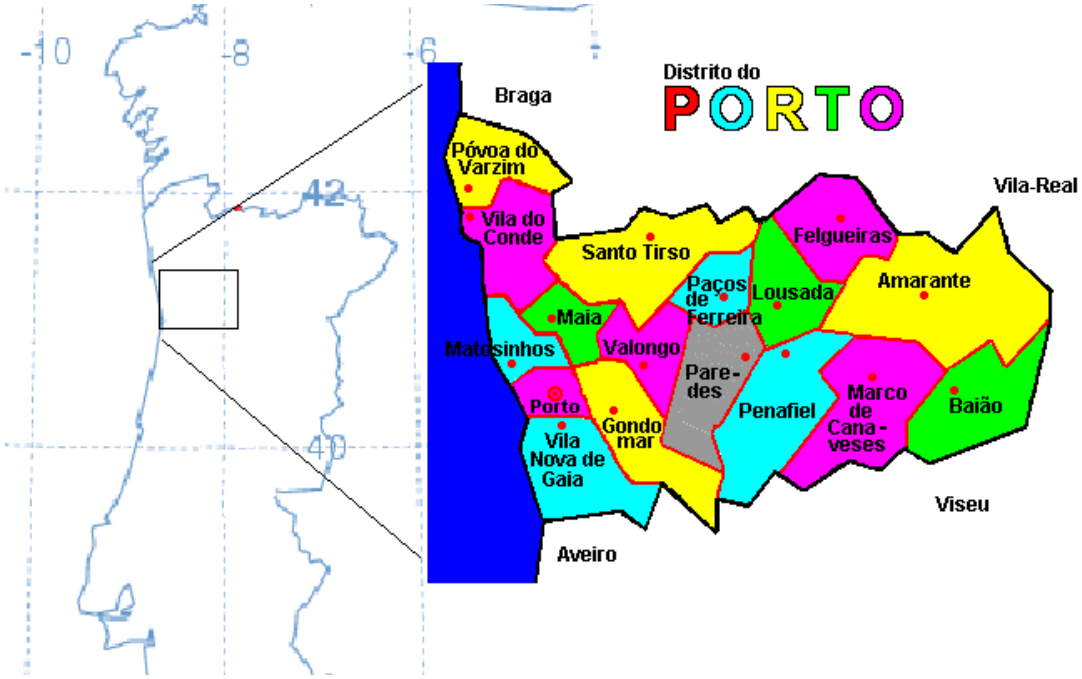


Figura.2.1. Localização da área de estudo. As cidades selecionadas foram Porto, Matosinhos, Maia, Valongo e Gondomar.

A área de estudo é uma região urbanizada e com alguns pólos industriais e situam-se entre 0 e cerca dos 150 metros de altitude. Considerando as coordenadas do mapa da figura anterior e aplicando ao da figura 2.2.os locais com altitudes menores são mais próximos do mar e para o interior a altitude vai aumentando.

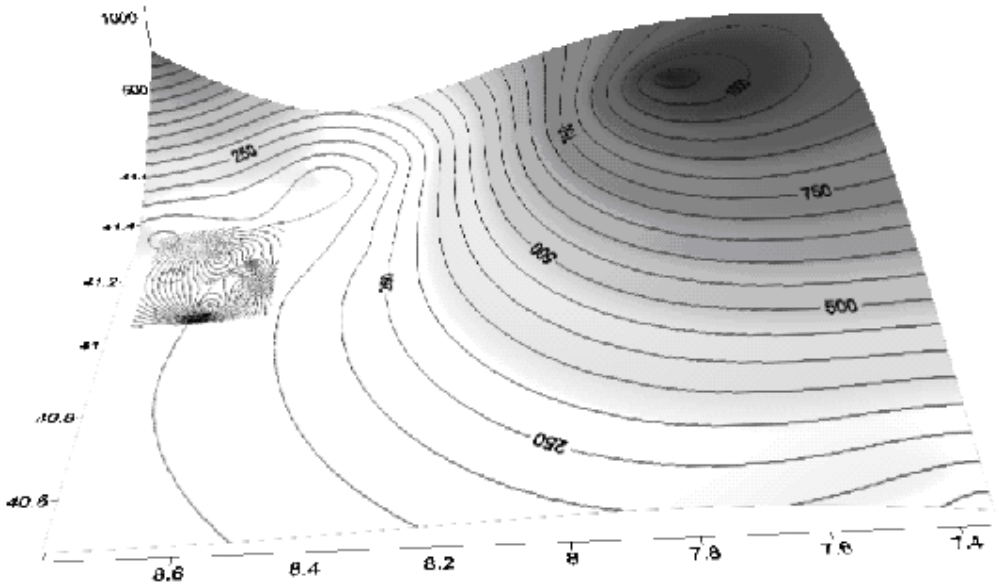


Figura 2.2. Isolinhas de altitude em eixos de latitude, longitude e altitude, referentes à região litoral norte de Portugal de área equivalente à figura anterior. A área com malha de isolinhas com maior resolução é referente á cidade do Porto. O ponto mais elevado na direita corresponde á estação de Lamas d'Olo (Vila Real) e o ponto mais elevado (1008 metros), à esquerda, corresponde a Senhora do Minho (Viana do Castelo).

Estas características geográficas são determinantes para um clima mediterrânico único com influências de clima marítimo e continental como explicado no próximo ponto.

2.1. O clima

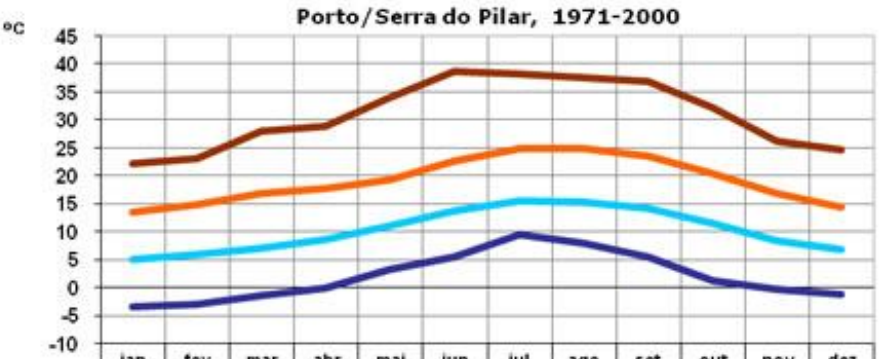
Clima de Portugal é considerado mediterrânico. Este tipo de clima caracteriza-se por ter verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos (Figuras 2.3.e 2.4.). As estações intermédias registram também valores de temperatura amenos e precipitação intermédios. A área de estudo tem influência do clima marítimo. A proximidade do mar torna o verão e o inverno mais amenos em relação à região interior do país, por exemplo, que apresentam influência de clima continental.

Principalmente durante o verão existe um período durante a tarde em que o vento sopra com maior intensidade à beira mar. Esse vento é de norte a noroeste, por isso, se designa de 'nortada'. Durante o Verão há massas de ar quentes e secas vindas do norte de África e das massas de ar quentes e úmidas transportadas de sudoeste pelo Anticiclone dos Açores. Quando a massa de ar Tropical continental se instala sobre a

Península Ibérica, provocando céu limpo e acentuado aquecimento à superfície. O diferencial energético que se verifica cerca de duas a três horas depois do meio dia solar, provoca uma deslocação de massa de ar, do oceano para o continente

Durante o inverno, um pouco por toda a Europa, existe, na primeira semana de novembro, um aumento ligeiro da temperatura durante o dia. Esse aumento pode ocorrer durante dois ou três dias ou mais de uma semana e é chamado em Portugal de 'Verão de São Martinho' ou na Alemanha de 'Verão das Velhas'.

Climatologicamente, considerando o período de 1971 a 2000, o Instituto de Meteorologia de Portugal divulgou os seguinte gráficos e tabelas das figuras 2.3. e 2.4..



	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Média da Máxima	13,5	14,8	16,8	17,7	19,4	22,8	25,0	25,0	23,7	20,4	16,8	14,4
Média da Mínima	5,0	5,9	7,1	8,6	11,0	13,8	15,5	15,2	14,1	11,5	8,3	6,8
Maior Máxima	22,3	23,2	28,0	28,9	34,1	38,7	38,3	37,6	36,9	32,2	26,3	24,8
Menor Mínima	-3,3	-2,8	-1,3	0,1	3,3	5,6	9,5	8,0	5,5	1,4	-0,3	-1,2

Figura 2.3. Normais da temperatura mínima e máxima do ar. *Fonte: Instituto de Meteorologia Português.*

Os meses mais quentes são os de verão (julho e agosto, principalmente) e os mais frios os de final de outono e inverno (dezembro a fevereiro). Em termo de precipitação total os meses de verão são os menos chuvosos e os de inverno os que registram maior quantidade de precipitação.

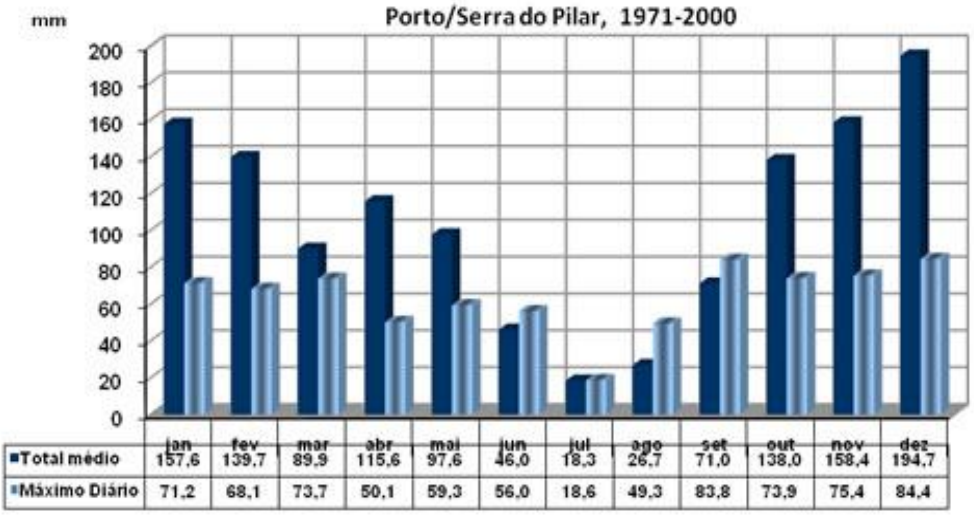


Figura 2.4. Normais dos valores da precipitação diária. *Fonte: Instituto de Meteorologia Português*

A análise espacial baseada nas normais de 1961/90 mostra a temperatura média anual a variar por volta de 7° C nas terras altas do interior norte e centro e por volta de 18°C no litoral sul.

Numa análise de décadas, a década de 2000-2009 foi mais seca que a de 1990-1999 e esta foi mais seca que as duas décadas anteriores. Verificou-se um decréscimo de precipitação desde 1970 de 939 mm na década de 70 para 779 mm na década de 2000. O que corresponde a uma perda média anual de cerca de 160 mm (Instituto de Meteorologia de Portugal, 2010). Notar que o inverno de 2004/05 foi o mais seco dos últimos 79 anos.

3. Materiais e metodologia

3.1 Material

3.1.1. Desenho do estudo

Este é um estudo ecológico de séries temporais. O estudo ecológico é um estudo epidemiológico que se caracteriza pelo enfoque de um grupo de indivíduos, em geral delimitados por uma área geográfica. Por não haver dados a nível individual, desconhecem-se as proporções de expostos doentes e não doentes e não expostos doentes e não doentes.

Para este tipo de estudo é necessário um conjunto de informações que são tratadas e analisadas estatisticamente a fim de se avaliar a possível relação entre as variáveis. Os dados são: de qualidade do ar, meteorológicos e hospitalares, e foram coletados respectivamente por diferentes instituições: hospitais, Agência Portuguesa do Ambiente, Instituto de Meteorologia.

Estes dados serão detalhadamente comentados nos pontos de 3.1.2. a 3.1.4..

3.1.2. Informações Hospitalares; dados de morbidade

As informações hospitalares disponíveis pertencem à base de dados administrativos que servem para outros fins que não estudos. Contudo, possui as informações essenciais para este tipo de estudo. Os dados de morbidade hospitalar foram recolhidos do sistema administrativo dos hospitais: Pedro Hispano (HPH), em Matosinhos, Geral de Santo Antonio (HGSA), no centro do Porto, São João (HSJ), Porto-oeste e Hospital de Valongo (HV) (Figura 3.1., no ponto 3.1.3.).

A base de dados que contem informações hospitalares foi construída através de critérios de inclusão e exclusão de informações.

Os critérios de inclusão foram idade superior ou igual a 65 anos para as DCV e DR e menores de 14 anos, para as DR, residentes na AMP, o primeiro diagnóstico depois da chegada ao serviço de urgência do hospital, ambos os sexos, dentro do período de estudo de janeiro de 2002 a dezembro de 2005.

Excluíram-se casos de não residentes ou sem indicação da residência, casos de consultas previamente programadas no serviço de urgência e casos com diagnóstico primário diferente dos códigos (segundo a Classificação Internacional de Doenças – CID 9ª revisão) de doença estudados. As doenças consideradas para o estudo são as listadas na tabela 3.1., incluindo os respectivos códigos.

Tabela 3.1. Doenças Cardiovasculares (DCV) e respiratórias (DR) consideradas para o estudo e respectivos códigos de acordo com CID 9ª revisão. Os nomes a negrito serão os que referenciam o grupo de doenças abaixo ao longo da tese.

Código CID 9° Revisão	
	Doenças Hipertensivas (DCV HT)
401	Hipertensão essencial
402	Doença cardíaca hipertensiva
403	Doença renal hipertensiva
404	Doença cárdio-renal hipertensiva
405	Hipertensão secundária
	Doenças Cardíacas Isquêmicas (DC IQ)
410	Enfarte agudo do miocárdio
411	Formas agudas ou subagudas de doença isquêmica do coração
412	Enfarte antigo do miocárdio
413	Angina de peito
414	Formas de doença isquêmica crônica do coração
	Insuficiência Cardíaca (IC)
426	Alterações da condução (coração)
427	Disritmias cardíacas
428	Insuficiência cardíaca
	Asma/Bronquite (A/B)
490	Bronquite, não especificada como aguda ou crônica
491	Bronquite crônica
492	Enfisema
493	Asma
494	Bronquiectasia
495	Alveolite alérgica extrínseca
496	Obstrução crônica das vias respiratórias
	Pneumoconioses (DR P)
500	Pneumoconiose dos trabalhadores em carvão
501	Asbestose
502	Pneumoconiose devida a sílicas ou silicatos
503	Pneumoconiose devida a poeiras inorgânicas
504	Pneumoconiose devida a inalação de poeiras
505	Pneumoconiose
506	Afecções respiratórias devidas a fumos, gases e vapores químicos
507	Pneumonite devida a sólidos ou líquidos

Foram escolhidas doenças cuja causa não fosse somente genética ou devido a fatores individuais como hábitos alimentares e de outros tipos de consumo, nem

doenças por acidente. As doenças acima alistadas foram também encontradas como objeto de estudo noutros trabalhos referenciados na introdução desta tese.

3.1.3. Dados de Qualidade do ar

Para o período de estudo escolheram-se 10 estações fixas da rede da Agencia Portuguesa do Ambiente (APA) na AMP (Figura 3.1) com medições automáticas e continuas.

Figura 3.1. Mapa da região norte de Portugal. Os números referem-se à localização aproximada de estações de qualidade do ar e, também, se referem à localização de hospitais. Os números entre o tracejado indicam a latitude e longitude. A estação Meteorológica de Pedras Rubras localiza-se perto da estação 9.Vermoim (a oeste desta). A estação de qualidade do ar de Leça fica entre a estação 6.Custóias e 9.Vermoim.

Os poluentes selecionados foram os seguintes:

- O_3, ozônio
- PM_{10}, material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm
- SO_2, dióxido de enxofre
- NO, monóxido de nitrogênio
- NO_2, dióxido de nitrogênio,
- $PM_{2,5}$, material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm e
- CO, monóxido de carbono

Apenas a estação de Vermoim possuía medições de $PM_{2,5}$ a partir de novembro de 2003. Por esse motivo todos os resultados que contenham este poluente excluem resultados estatísticos em período anterior.

Registros horários de cada poluente em diferentes estações em $\mu g/m^3$ foram obtidos através do site (http://www.qualar.org/) da Agencia Portuguesa do Ambiente, para o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2005. Esses valores horários foram convertidos em média diária para todos os poluentes, com exceção do Ozônio, para o qual se extraiu o valor máximo diário. Posteriormente, realizaram-se as análises propostas no trabalho.

A área de estudo está sujeita à legislação ambiental européia. Desta forma, os valores e análises deste trabalho terão como parâmetro de comparação os níveis e padrões vigentes na União Européia para este assunto. Assim sendo os limiares de alerta e informação encontram-se definidos na tabela 3.2. e os índices de qualidade do ar (IQar) na tabela 3.3..

Tabela 3.2. Valores de limiares (padrões) previstos na legislação européia.

Poluente	Limiar	Definição
O_3	**Limiar de Informação (padrão secundário)**	180 $\mu g/m^3$ (média horária)
O_3	**Limiar de Alerta (padrão primário)**	240 $\mu g/m^3$ (média horária)
NO_2	**Limiar de Alerta (padrão primário)**	400 $\mu g/m^3$ medido em, pelo menos, três horas consecutivas
SO_2	**Limiar de Alerta (padrão primário)**	500 $\mu g/m^3$ medido em, pelo menos, três horas consecutivas

Tabela 3.3. Classificação do Índice de qualidade do ar proposto para a Europa até 2010.

Poluente em causa / Classificação	CO		NO_2		O_3		PM_{10}		SO_2	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	12000	-----	400	-----	240	-----	120	-----	500	-----
Fraco	10000	11999	260	399	180	239	55	119	380	499
Médio	7000	9999	140	259	120	179	35	54	210	379
Bom	5000	6999	100	139	60	119	20	34	140	209
Muito Bom	0	4999	0	99	0	59	0	19	0	139

O Índice de Qualidade do Ar (IQar) de uma determinada área resulta da média aritmética calculada para cada um dos poluentes medidos em todas as estações da rede dessa área. Os valores assim determinados são comparados com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores sendo os poluentes com a concentração mais elevada os responsáveis pelo IQar.

Em Portugal, a poluição de origem industrial e urbana contribui para a definição do índice a cada dia. Aproximadamente 40% das emissões globais resultam da queima de combustível fóssil, o qual emite principalmente NO. Uma pequena fração inferior a 10% é de NO_2 (PORG, 1997), ou é produzida próximo do ponto de emissão devido a reações termo-moleculares do NO com o O_2:

$$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2 \qquad (1)$$

A reação anterior é fortemente dependente da concentração do NO. Assim, com altos níveis perto do ponto de emissão, a taxa de conversão de NO em NO_2 é rápida, mas a significância da reação (1) diminui drasticamente. Sob condições troposféricas a reação (1) é insignificante e o NO é convertido em NO_2 por reação com o O_3, como a equação seguinte:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (2)$$

Se existir a típica camada de concentração de 30 ppbv de O_3 esta reação ocorre numa escala de tempo de 1 minuto. Durante o período diurno, o NO_2 é re-convertido em NO como resultado da fotólise, o que permite a regeneração de O_3 como mostra a seguinte equação química:

$$NO_2 + h\upsilon\ (\lambda<420\ nm) \rightarrow NO + O\ (^3P) \qquad (3)$$

$$O(^3P) + O_2(+M) \rightarrow O_3\ (+M) \qquad (4)$$

onde M é o terceiro membro, habitualmente N_2. Neste sentido, as reações de (2)-(4) constituem um ciclo. Na ausência da reação de inter-conversão, o ciclo fica num estado fotoestacionário no qual a concentração de NO e NO_2 são relacionados com a concentração de O_3 pela seguinte expressão (Leighton, 1997):

$$[O_3] = (J_3[NO_2]/k_2[NO])$$

Onde J_3 é a taxa de fotolise de NO_2 e k_2 é o coeficiente de reação de NO com O_3.

O tempo de vida do NO_2 referente á fotolise depende da latitude, estação do ano e hora do dia. Um estudo no Reino Unido (Carpenter et al, 1998) mostrou que no verão, em condições típicas o tempo de vida é da ordem de 1,5 minuto, com média de período

diurno de tempo de vida de 3min. No inverno, estes valores são, em geral, duas a três vezes maiores.

O material particulado é outro poluente que freqüentemente define o IQar na região de estudo, devido aos seus níveis de concentração. Este poluente tem origem natural e/ou antropogênica. Há contribuição de fontes móveis devido à queima de combustíveis fósseis e devido ao transporte de poeiras do deserto. A sua permanência na atmosfera como veremos é muito dependente das condições meteorológicas.

3.1.4. Variáveis meteorológicas

Os valores das variáveis meteorológicas utilizadas foram medidas na estação de Pedras Rubras (aeroporto em Matosinhos) (Figura 3.1.). Para o estudo foram consideradas médias de temperatura (°C) máxima e mínima, precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa) ao nível do mar. Esta informação foi registrada de 5 em 5 minutos. Após tratamento estatístico extraiu-se o valor médio, máximo ou mínimo diário da temperatura e umidade conforme é indicado quando a variável aparecer citada e a soma diária ou mensal da precipitação.

Todas as séries foram tratadas estatisticamente de acordo com a análise que se pretendia para a pesquisa. Assim sendo, os valores diários de temperatura do ar e umidade relativa da estação meteorológica de Pedras Rubras foram incorporados nas equações matemáticas de alguns índices de conforto selecionados para este estudo, como é explicado no próximo ponto.

Utilizaram-se também dados de direção e velocidade do vento e vento zonal médio expressa em gráficos pertencentes à base de dados da NOAA disponíveis para acesso ao publico no site (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/). Valores diários e mensais do índice da Oscilação do Atlântico Norte também foram encontrados no site do NCEP/NOAA (em ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks).

Para a análise das variáveis descritas no ponto anterior utilizaram-se diferentes metodologias. Começou-se com análises estatísticas descritivas simples e posteriormente aplicaram-se técnicas mais complexas como análise de regressão linear e multivariada. As primeiras análises englobam as séries ao longo de todo o período de estudo e numa segunda etapa selecionaram-se períodos temporais específicos para uma análise mais detalhada. Nos tópicos seguintes é explicado, pormenorizadamente, cada procedimento utilizado para cada variável e cada técnica estatística.

3.2. Metodologia

O desenho de estudo ecológico de séries temporais requer a seleção de um conjunto de técnicas estatísticas que visam fornecer informação relevante sobre a relação entre as variáveis dependentes e independentes. Por hipótese as variáveis independentes são fatores que influenciam parcialmente em grupo ou individualmente os estados de morbidade.

O período de estudo envolve 4 anos (2002-2005) nos quais aconteceram vários eventos meteorológicos importantes e que tiveram impacto na qualidade do ar, conforto térmico e na saúde pública. De forma a retirar informação pertinente escolheu-se fazer uma análise estatística descritiva e de correlação para todas as séries isoladamente durante os 4 anos. E de seguida procedeu-se a análise sazonal e por último escolheram-se eventos raros seja meteorológicos ou de poluição para uma análise de caso.

Nos próximos pontos são indicados os métodos estatísticos utilizados ao logo da tese, para analisar do conforto térmico, assim como, de regressão linear e não linear aplicados às séries temporais.

3.2.1. Índices de conforto térmico humano

O conforto térmico é essencial para a manutenção do bem estar do individuo. Seja enquanto descansa ou durante a realização de uma atividade esportiva, de trabalho físico ou mental o conforto térmico é um fator que determina o maior ou menor sucesso no desempenho do organismo. Vários autores têm elaborado equações matemáticas, mais ou menos complexas, envolvendo duas ou mais variáveis meteorológicas que se relacionam, dependendo do meio e finalidade do estudo. Os índices visam identificar limites fisiológicos de sensibilidade à influência dos vários parâmetros meteorológicos mediante o comportamento do organismo perante as variações desses parâmetros.

A sensação térmica sentida por um humano num ambiente térmico médio, de acordo com Fanger é a constante na tabela 3.4..

Tabela 3.4. Critérios de Fanger para intervalos de temperatura em °C

Critério Fanger	(ºC)
Muito frio	<13
Frio	13-16
Frio moderado	16-19
Ligeiramente Frio	19-22
Confortável	22-25
Ligeiramente quente	25-28
Quente moderado	28-31
Quente	31-34
Muito quente	>34

Escolheram-se alguns Índices como o Índice Humidex (H), relaciona a temperatura e a pressão parcial do vapor de água; Índice de desconforto (ID) que relaciona a temperatura e a umidade e uma variação do ID que leva em consideração a velocidade do vento, o qual fornece a Temperatura efetiva (TEv).

- ***Índice Humidex (H)***

Masterton e Richardson (1979) desenvolveram o índice Humidex, que leva em consideração a temperatura do ar e a pressão parcial de vapor da água no ar, sendo esta última variável dependente da temperatura do ponto de orvalho ou da umidade. É importante ressaltar, que este índice não leva em conta as vestimentas ou metabolismo, a radiação e a velocidade do vento. Este índice pode ser calculado através de:

$$HU = t_{ar} + (5/9)(\rho_v - 10) \qquad (1)$$

onde: t_{ar} = temperatura do ar (ºC)

ρ_V = pressão parcial de vapor da água no ar (mmHg)

HU = índice Humidex (adimensional)

A variável ρ_V pode ser função da umidade relativa (UR) ou da temperatura de ponto de orvalho (T_d) como pode ser visto nas equações abaixo:

$$\rho_v = 6{,}11\exp\left[5417{,}7530\left[\frac{1}{273{,}16}\right] - \left[\frac{1}{T_d}\right]\right] \qquad (2a)$$

$$\rho_v = 6{,}112 * 10^{7{,}5 t_{ar} / 237{,}7 t_{ar}} * UR / 100 \qquad (2b)$$

onde : t_{ar} = temperatura do ar (ºC)

T_d = temperatura de ponto de orvalho (K)

ρ_V = pressão parcial de vapor da água no ar (mmHg)

HU = índice Humidex (adimensional)

Abaixo, na tabela 3.5., seguem os níveis de classificação do índice Humidex:

Tabela 3.5. Níveis de classificação do Humidex, Enviroment Canadá (2000)

Humidex (HU)	**Classificação**
≤ 30	Sem Desconforto
30 – 40	Algum Desconforto
40 – 45	Muito desconforto, evitar esforço físico
≥ 45	Situação de Perigo
≥ 54	Golpe térmico eminente

- ***Índice de Desconforto (ID)***

Em Thom (1959), há a descrição das pesquisas realizadas por Thom e Bosen sobre o problema de sistemas de ar-condicionado. Estas pesquisas desenvolveram um importante embasamento para o estudo do conforto térmico, o índice de Desconforto (Thom, 1959).

Como várias versões deste índice foram usadas, para este presente estudo utilizou-se a forma de Giles *et al.*, (1990) a partir da seguinte equação:

$$ID = t_{ar} - 0.55[(1 - 0.01UR)(t_{ar} - 14.5)] \qquad (3)$$

onde: t_{ar} = temperatura do ar (ºC)

UR = umidade relativa (%)

ID = Índice de Desconforto (ºC)

A tabela 3.6. fornece a classificação do índice ID (índice de desconforto):

Tabela 3.6. Níveis de Classificação do índice de desconforto

ID (ºC)	**Classificação**	**ID (ºC)**	**Classificação (de acordo com sensação térmica)**
<21	Sem Desconforto	<1,7	Muito Frio
21 - 24	Menos de 50 % da população sente desconforto	$1{,}7 \leq \text{ID} \leq 12{,}9$	Frio
24 - 27	Mais de 50 % da população sente desconforto	$13 \leq ID \leq 14{,}9$	Fresco
27 - 29	A maior parte da população sente desconforto	$15 \leq ID \leq 19{,}9$	Confortável
29 –32	Todos sentem estresse	$20 \leq ID \leq 26{,}4$	Quente
>32	Estado de emergência médica	$26{,}5 \leq ID \leq 29{,}9$	Muito Quente
		≥ 30	Tórrido

- ***Temperatura Efetiva em Função do Vento (TE_V) e Temperatura Efetiva (TE)***

Sabe-se que a sensação térmica da temperatura do ar é percebida pelas pessoas devido à magnitude do vento e da umidade relativa. Missenard (1937) encontrou uma relação que somente considerava a umidade relativa para designar temperatura efetiva (TE) (Ono e Kawamura, 1991) abaixo:

$$TE = T - 0.4[(1 - UR/100)(T - 100)] \qquad (4)$$

onde : T = temperatura (ºC)

UR = umidade relativa (%)

TE = Temperatura Efetiva (ºC)

Este modelo superestima o efeito da umidade relativa e não considera um efeito importante para a temperatura efetiva, o vento. Porém, Suping *et al.* (1992) designou a

temperatura efetiva em função da umidade e também do vento (TE_V). A forma da equação é:

$$TE_v = 37 - \frac{(37 - t_{ar})}{\left[0{,}68 - 0{,}0014UR + \frac{1}{1{,}76 + 1{,}4v^{0{,}75}}\right]} - 0{,}29t_{ar}\left(1 - \frac{UR}{100}\right) \qquad (5)$$

onde: t_{ar} = temperatura do ar (ºC)

UR = umidade relativa (%)

v = velocidade do vento (m/s)

TE_V = Temperatura Efetiva em função do Vento (ºC)

A tabela 3.7. informa os níveis de classificação para TE e TE_v:

Tabela 3.7. Níveis de classificação pra TE e TE_v

TE ou TEv (ºC)	**Sensação térmica (Tipo de CT)**	**Grau de estresse fisiológico**
< 13	Muito frio	Extremo estresse ao frio
13 — 16	Frio	Tiritar
16 — 19	Frio moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
19 — 22	Ligeiramente frio	Vaso-constrição
22 — 25	Confortável	Neutralidade térmica
25 — 28	Ligeiramente quente	Ligeiro suor; vaso-dilatação
28 — 31	Quente moderado	Suando
31 — 34	Quente	Suor em profusão
> 34	Muito quente	Falha na termo-regulação

Além destes cálculos foram também utilizados métodos estatísticos que são indicados no próximo ponto.

3.2.2. Estatística descritiva

Para realizar as análises estatísticas descritivas e de regressão de forma suscita retirando a melhor qualidade informação escolheu-se padronizar as informações de todas as séries de temporais dos dados hospitalares, meteorológicos e de qualidade do ar

(qualar). Do tratamento de padronização resultaram séries com valores diários, segundo cada unidade de variável, para cada tipo de dado para o período de 2002-2005.

Antes das análises descritivas submeteram-se os dados a testes de consistência com dois objetivos principais. O primeiro foi diminuir os valores faltantes em algumas séries e em segundo determinar qual seria a série temporal de qualar que representava melhor a área em estudo. Desta forma, escolheu-se realizar uma média ponderada para cada poluente, com exceção do CO e $PM_{2,5}$. A média foi ponderada na distancia geográfica concêntrica entre as estações. Uma das estações que apresenta correlação mais elevada (acima de 0,70 para a maioria dos poluentes, exceto O_3) e significativa com as outras estações foi Custóias, além disso, encontra-se numa posição central em relação à área de estudo. Neste sentido, na média ponderada a estação de Custóias ficou com peso de 0,5 e as restantes estações com pesos de 0,25 (Leça, Sra da Hora), 0,15 (Antas, Matosinhos, Vermoim) e 0,10 (Vila Nova da Telha, Boavista, Ermesinde e Perafita).

A análise descritiva foi feita separadamente para cada variável. Os resultados foram descritos através das medidas de tendência central como média, mediana e de dispersão como os percentis.

Escolheu-se como o valor de significância $p<0,05$.

Para a análise de distribuição dos valores diários da concentração dos poluentes utilizou-se a distribuição Log-normal. A distribuição Log-normal (usada pela primeira vez por Gaddum, 1945) tem a função de densidade de probabilidade:

$$f(x) = 1/[(x-\theta)\sigma(2\pi)^{1/2}\,] * e^{[-\{\log(x-\theta)-\mu\}2\,/2\sigma2]}$$

$$\theta < x < \infty,\ \mu > 0,\ \sigma > 0$$

Onde:

μ É o parâmetro de escala

σ É o parâmetro de forma

θ É o parâmetro limite

e É a base do logaritmo natural, também chamado de e de Euler.

A distribuição Log-normal padronizada com o parâmetro de forma é usada para representar a melhor distribuição.

3.2.3. Estrutura de defasagem ('lag')

A manifestação dos sintomas depois da exposição a poluentes temperaturas elevadas ou muito baixas pode levar alguns dias. No caso de doenças respiratórias é comum um período de encubação da doença e é habitual as pessoas não recorrerem ao hospital logo após os primeiros sintomas. Por isso, para uma adequada definição do modelo é importante a realização de estrutura de defasagem (Braga, 2002; Conde, 2001).

Optou-se por realizar defasagem de 2 e 3 dias já que para mais dias os resultados não foram satisfatórios. O método utiliza a antecipação para o ontem (atraso de 1 dia), para o anteontem (atraso de 2 dias) e assim sucessivamente até 3 dias. Desta forma tentou-se encontrar relações de defasagem entre os picos de morbidade e condições extremas de poluição ou de temperatura.

3.2.4. Métodos de regressão

3.2.4.1. Correlação

De inicio utilizaram-se modelos de regressão linear para explorar a correlação entre as admissões hospitalares e as variáveis de qualidade do ar e meteorológicas.

Desta forma o coeficiente de correlação pode ser definido como a medida do grau de associação entre duas características a partir de uma série de observações. Sendo a sua equação matemática a seguinte:

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}$$

O coeficiente de correlação varia entre -1 e +1. Resultados iguais a -1 indicam correlações negativas perfeitas, enquanto valores de correlação iguais a +1 representam relações positivas perfeitas. Resultados iguais a 0 indicam que não existe correlação.

3.2.4.2. Regressão Linear Múltipla

O propósito geral da regressão múltipla (Pearson, 1908) é entender melhor a relação entre um conjunto de variáveis independentes ou preditoras e a variável

dependente. Nas ciências naturais e sociais a regressão múltipla permite identificar 'o melhor preditor'. No caso deste estudo, este procedimento visa determinar quais as variáveis ambientais (meteorológicas e de qualidade do ar) são melhores preditoras do aumento de casos de doenças. Os valores a serem analisados são expressos por letras que representam, de acordo com o *software Statística* 7, o seguinte:

R. *R* é o campo que contem o coeficiente de correlação múltipla, o qual é a raiz quadrada positiva do R^2 (coeficiente de determinação múltipla). Este tipo de estatística é usado na regressão multivariada, quando se quer descrever a relação entre as variáveis.

F, df, e p. A estatítica *F*, *df* e o resultado de *p* é usado como uma sobreposição do teste *F* de relação entre a variável dependente e o grupo de variáveis independentes. Onde

F = Regressão Média quadrática/Média quadrática residual.

R^2. O R^2 representa o coeficiente de múltipla determinação, o qual mede a redução na variação total da variável dependente devido á variável independente (múltipla).

R^2 = 1 - [Residual SQ/Total SQ]

Residual SQ é a soma dos erros quadráticos e *Total SQ* é a soma total dos quadrados.

N. é o número de casos mínimos válidos da amostra dependente.

R^2 ajustado. O R^2 ajustado tem interpretação similar à do R^2, com exceção de que o R^2 ajustado toma em consideração o número de graus de liberdade. Ele é ajustado por se dividir a soma dos erros quadráticos e a soma total quadrática pelos seus respectivos graus de liberdade.

R^2 (adjustado) = 1 - [(Residual SQ/df)/(Total SQ/df)]

Erro padrão estimado. O *Erro padrão estimado* mede a dispersão dos valores observados sobre a linha de regressão.

Intercepto. A opção *intercepto* é usada na equação para descrever a relação entre algumas variáveis que serão preditas por terem um intercepto zero.

Erro padrão. Representa o *Erro Padrão* do intercepto.

t(df) e p. Os valores *t* e *p* são usados para testar as hipóteses de que o intercepto é igual a zero.

Beta. Este campo permite identificar qual a contribuição relativa da variável independe na previsão da variável dependente.

3.2.5. Análise Fatorial por Componentes Principais

O objetivo principal da análise de componentes principais (ACP) é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível da informação contida nas variáveis originais. Os componentes são extraídos na ordem do mais explicativo para o menos explicativo. Teoricamente, o número de componentes é sempre igual ao número de variáveis.

As variáveis podem apresentar unidades de medida diferentes com valores médios bastante distintos, sugerindo que os dados sejam centrados. Quando a dispersão das variáveis é muito diferente ou quando as variáveis diferem quanto à sua natureza sendo expressas em unidades de medida não comparáveis. Este problema pode ser ultrapassado reduzindo as variáveis, ou seja, tornando-as adimensionais com média nula e variância unitária. O termo geral do *X*, neste caso, é dado por:

$$X_{ij} = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{q_{ij} - \overline{q_j}}{S_j}$$

onde, $\overline{q}$ é a média aritmética dos valores tomados pela variável j, s_j é o desvio padrão da variável *j*.

A matriz $X^T X$ transforma-se na matriz das correlações experimentais.

A rotação da matriz traduz-se numa translação da nuvem, de modo a fazer coincidir o centro de gravidade com a origem. A influência do nível geral de cada variável é, assim, eliminada. O coeficiente $\frac{1}{\sqrt{n}}$ tem por objetivo fazer coincidir a matriz $X^T X$ com a matriz variância-covariância. Para obter a explicação a quantidade de variância equivalente à explicada por cada uma das variáveis originais faz a retenção dos componentes cujos *eigenvalues* são iguais ou superiores a um (critério desenvolvido por Kaiser em 1960). Rodar a matriz otimiza as posições das variáveis e maximiza a variância da 'nova variável' (componente). A técnica mais usada é a rotação VARIMAX (Variance Maximizing) Normalizada (Ferreira, 2000). O procedimento da rotação VARIMAX maximiza a variância dos pesos dos fatores em cada vetor, sob a restrição de que os fatores permaneçam ortogonais. A matriz P é rodada, produzindo uma nova matriz, F,

F=PR

onde $\mathbf{R}_{(q \times q)}$ é a matriz de rotação e $\mathbf{F}_{(n \times q)}$ é a matriz dos pesos dos fatores VARIMAX. Cada linha de **F** corresponde a um objeto e cada coluna de **F**, a um fator.

Alguns poucos componentes são responsáveis por grande parte da explicação total. Neste estudo o processamento da análise de componentes principais teve partida na matriz de variâncias.

3.2.6. Análise da distribuição em quantis

Para determinar a existência de efeito dose-resposta, as séries temporais (2002 a 2005) dos poluentes e das temperaturas foram permutadas com as séries de doenças consideradas para este estudo, em modelos separados, por 4 categorias de níveis de concentração assim definidas:

1° quartil : 25% mais baixos;
2° quartil : valores entre 26% e 50%;
3° quartil : valores entre 51% e 75%;
4° quartil : os 25% mais elevados.

A mediana e os percentis com valores máximos e mínimos foram utilizados para o cálculo da distribuição em quantis por ser considerada a mais representativa da distribuição dos valores das séries em estudo.

Os resultados foram divididos em três partes principais: análise de cada tipo de variável separadamente durante o período de estudo, análise sazonal e estudos de caso (anuais ou sazonais) escolhendo períodos específicos com eventos meteorológicos de muito calor, ausência de precipitação prolongada ou períodos com excedência aos padrões de concentração para alguns poluentes.

Todas as análise estatísticas foram realizadas utilizando o pacote *Statistica* **7.**

4. Resultados

Como estipulado na metodologia, os resultados foram divididos em 3 partes principais para melhor compreensão:

4.1 Análise estatística do período temporal na integra,

4.2 Análise sazonal e

4.3 Estudo de Casos, isto é, estudos de eventos específicos, com metodologias próprias, descritas em cada ponto.

4.1. Análise do período temporal na íntegra

Este ponto tratará de apresentar resultados do tratamento estatístico das séries temporais individualmente ao longo de todo o período de estudo. Os resultados das séries temporais das doenças respiratórias e cardiovasculares, das variáveis meteorológicas, assim como, de cada poluente será descrito estatisticamente de forma isolada. Será também apresentado o resultado dos cálculos do conforto térmico humano com diferentes índices.

Resposta de todas as séries de poluentes

Antes das análises propriamente ditas fizeram-se alguns testes com as séries com o objetivo de determinar qual seria a metodologia mais adequada para qualquer um dos métodos que seriam utilizados ao logo da tese. Havia algumas questões a resolver quanto às séries temporais de qualidade do ar (qualar) apresentarem algumas lacunas nas concentrações de certos poluentes, são várias estações a medirem o mesmo poluente, mas a série utilizada deveria representar o melhor possível a área total de estudo. Por outro lado, as séries temporais hospitalares, de qualar e meteorológicas não estavam na mesma unidade de tempo de medição.

Para minimizar tal fato, realizaram-se algumas análises estatísticas a fim de conhecer genericamente as medições realizadas por cada série selecionada para o estudo. Através, dos resultados descritivos, verificou-se que diferentes estações têm séries do mesmo poluente com valores médios e desvio padrão equivalentes. Esta informação é confirmada pela análise de correlação que apresenta correlações positivas acima de 0,50, a maioria sendo significativas acima de 0,70. Para cada poluente existem pelo menos duas estações próximas geograficamente que se correlacionam. Excetua-se

Perafita no caso do SO_2 e NO e Leça quando analisado o O_3. Estas duas estações apresentam séries dos referidos poluentes sem correlação com outras estações. Estes três casos de não correlação entre as séries pode ter como explicação a localização, influência de fontes próximas e/ou estado de funcionamento das estações.

A fim de melhorar a qualidade das séries e simplificar os cálculos para análise dos poluentes em conjunto com outras variáveis decidiu-se realizar uma média ponderada na distancia geográfica concêntrica entre as estações. Uma das estações que apresenta correlação mais elevada (acima de 0,70 para a maioria dos poluentes, exceto O_3) e significativa com as outras estações foi Custóias, além disso, encontra-se numa posição central em relação à área de estudo. Neste sentido, realizou-se a média ponderada como descrito no ponto 'Metodologia'. Não se realizou média ponderada para o CO visto que este poluente apresenta várias falhas nas séries de dados de várias estações, comprometendo assim o resultado da série de média ponderada. Para minimizar a falha na seqüência de dados para o CO utilizou-se a média aritmética simples. Vermoim é a única estação que mede $PM_{2,5}$, para este poluente também foi utilizada a série de média diária das séries horárias fornecidas pela Agencia Portuguesa de Ambiente (APA).

Desta forma, os resultados que serão apresentados, salvo indicação especifica, procedem da média ponderada das séries temporais dos poluentes.

Nos próximos pontos serão observados os valores descritivos registrados para cada série temporal de dados isoladamente durante todo o período.

4.1.1. Comportamento das variáveis meteorológicas durante o período de estudo

A Área Metropolitana do Porto (AMP) em estudo tem a particularidade de sofrer influência marítima. Esta proximidade do mar ameniza as temperaturas máximas e mínimas (Figura 4.1.), raramente passando dos 35° C de máxima e de zero nas mínimas.

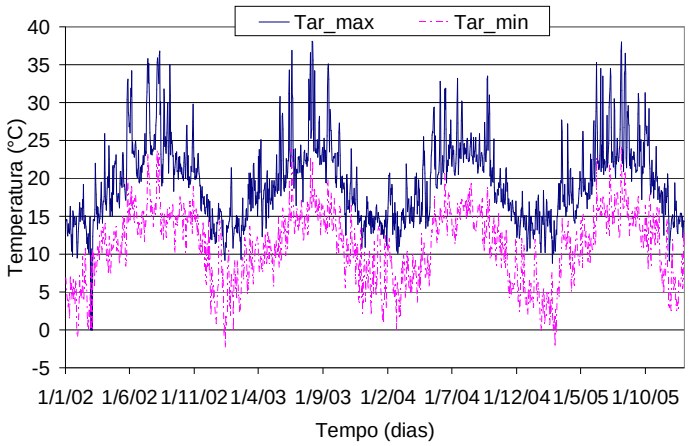


Figura 4.1. Distribuição da temperatura máxima (Tar_máx) e mínima (Tar_min) registradas na estação meteorológica de Pedras Rubras (Matosinhos) no período de 2002 a 2005.

A precipitação é mais freqüente durante o fim do outono e inverno. Segundo normais entre 1971-2000 o total médio foi de 146 mm por mês entre dezembro–março. É de notar que a precipitação diminuiu progressivamente de 939 mm década de 70 para 779 mm década de 2000. Durante o período em consideração (2002-2005) ocorreram períodos longos sem precipitação durante o inverno. O verão é, em geral, a estação menos chuvosa (Figura 4.2.).

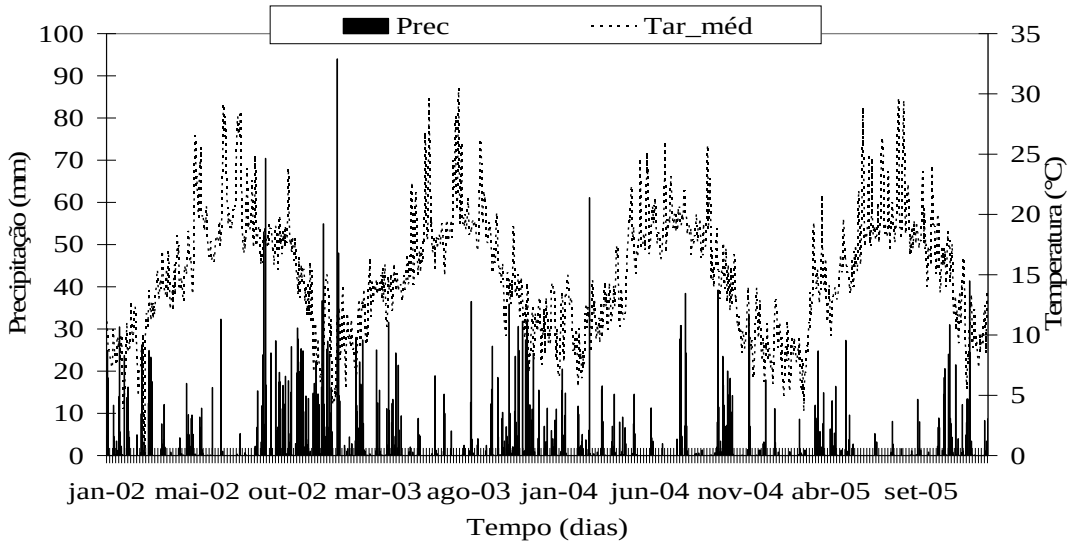


Figura 4.2. Distribuição da precipitação (Prec) e temperatura média (Tar_med) registradas na estação meteorológica de Pedras Rubras no período de 2002 a 2005.

Resumindo a informação dos gráficos anteriores e considerando também as variáveis umidade relativa e velocidade do vento temos os resultados da tabela 4.1..

Tabela 4.1. Valores médios (méd), máximos (máx) e mínimos (min) de temperatura do ar (Tar) umidade (Ur), precipitação (Prec) e velocidade do vento (vel). O valor da precipitação corresponde á média da precipitação anual acumulada, para o período de 2002-2005.

Tar_méd (°C)	Tar_máx (°C)	Tar_min (°C)	UR_méd (%)	Prec (mm)	vel_méd (m/s)
14,76	38,10	-2,40	73,32	1112	3,19

A precipitação na área em estudo é quase sempre associada á passagem de sistemas frontais. Portugal sofre a influência do anticiclone dos Açores, que é parte do sistema da célula de Hadley. Durante o solstício de Verão o anticiclone desloca-se para norte provocando 'bloqueio' à passagem de sistemas frontais que se desenvolvem no Atlântico e se deslocam para leste. Durante o solstício de Inverno o sistema anticiclonico desloca-se para sul permitindo a passagem de sistemas frontais pelo sul da Europa.

Em conjunto com estas variações sazonais existem outros fatores locais e regionais, como a proximidade do mar, como já referido, a orografia (cotas inferiores a 180 metros) e zonas urbanas e industriais, estas últimas, pontuadas por zonas rurais.

Além destes fatores de escala menor existem fatores de grande escala meteorológica que afeta a área em estudo. Um deles é a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), que é analisada em detalhe no ponto '*4.1.5. O impacto da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) na variabilidade da qualidade do ar de 2002 a 2005'* desta tese. O índice que mede a intensidade da OAN é baseado na diferença de pressão entre a baixa pressão localizada perto da Islândia e a alta pressão localizada sobre a região do arquipélago dos Açores (Figura 4.3.).

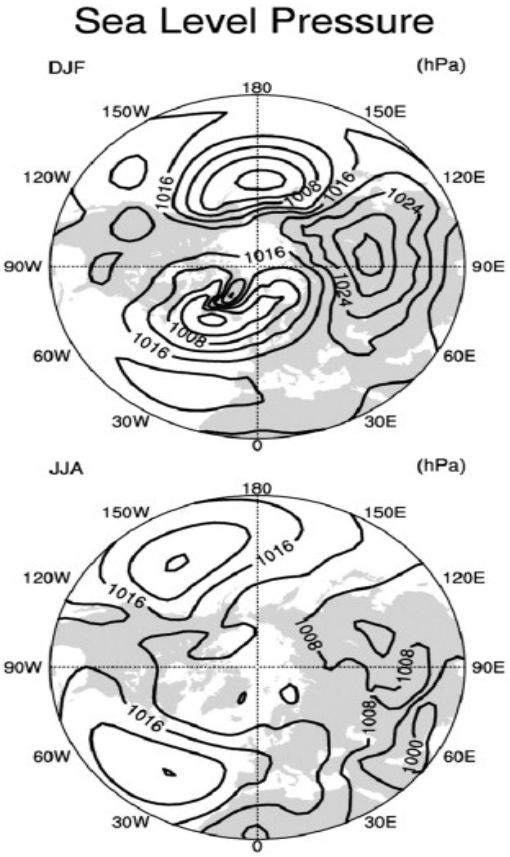


Figura 4.3. Pressão média ao nível do mar (figura cima) no inverno boreal (dezembro-fevereiro) e (em baixo) Verão boreal (junho-agosto). Os dados de re-análise pertencem ao projeto NCEP/NCAR entre 1958-2006 (Kalnay et al., 1996) e o incremento do contorno é de 4 hPa.

O cálculo do índice da OAN pode ser baseado nas médias da diferença de pressão entre os Açores e a Islândia (Rogers, 1985) de dezembro a fevereiro, ou entre dezembro e março tendo em consideração as médias entre Lisboa e a Islândia (Hurell, 1995) já que não foram detectadas diferenças significativas nos estudos efetuados. O índice apresenta valores positivos e negativos em torno de zero (Figura 4.4.).

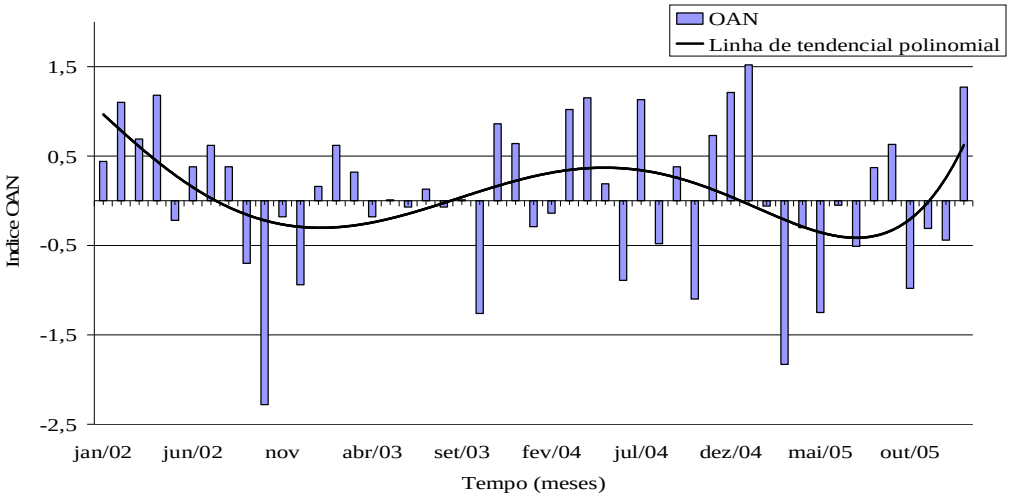


Figura 4.4. Valores mensais do índice OAN entre 2002 e 2005.

A combinação de sistemas sinóticos sobre o leste da América do Norte e a baixa intensa sobre a região da Islândia favorecem o rápido (2-3 dias) transporte de poluentes através do Atlântico Norte até à Europa (Trickl et al., 2003), Creilson et al.(2003) sugeriam que a OAN pode ter um importante papel na modulação desses processos de transporte de poluentes. No ponto 4.3.2. desta tese será feito um estudo de caso para a AMP onde se avalia a influência da OAN sobre o transporte e dispersão de poluentes.

4.1.2. Conforto Térmico

Como descrito na Metodologia, ponto 3.2., a sensação térmica varia, não só com a temperatura, mas também com a umidade e velocidade do vento, além da radiação incidente. Também depende do metabolismo de cada pessoa e da quantidade e tipo de roupas vestidas. È possível avaliar a sensação térmica estabelecendo relações entre os parâmetros meteorológicos. Neste ponto serão observados alguns resultados mediante a aplicação de diferentes relações entre os parâmetros meteorológicos, através de índices de desconforto: índice de desconforto (ID) que relaciona a temperatura com a umidade relativa, índice que calcula a temperatura efetiva (TEv), relaciona temperatura, umidade e velocidade do vento e o índice Humidex (H), que relaciona a temperatura do ar, a temperatura do ponto de orvalho e a pressão parcial de vapor de água

Do cálculo utilizando o Índice de Desconforto (ID) (ponto 3.2.1.) com a variação de temperatura do ar máxima (Tar máx) e umidade relativa mínima (Urmin) podemos

identificar que mais de 50% dos dias do período em estudo apresentam sensação térmica inferior a 18 °C (Ver Tabela 4.2.).

Tabela 4.2. Distribuição dos dias por intervalos de temperatura segundo o ID Tmáx Urmin. A sombreado intervalo de temperatura média.

Intervalo temperatura (°C)	Freqüência Observada	Freqüência Relativa %	Freqüência acumulada %
<= 8,0	0	0,0	0,0
9,0-10,0	3	0,2	0,2
11,0-12,0	29	2,0	2,2
13,0-14,0	146	10,0	12,2
15,0-16,0	325	22,2	34,4
17,0-18,0	261	17,9	52,3
19,0-20,0	232	15,9	68,2
21,0-22,0	277	19,0	87,1
23,0-24,0	141	9,7	96,8
25,0-26,0	36	2,5	99,2
27,0-28,0	11	0,8	100,0

De acordo com a classificação de Fanger (Tabela 3.4.) mais de 150 dias a sensação térmica foi de frio ou muito frio e em cerca de 800 dos 1078 dias os habitantes da Área Metropolitana do Porto tiveram sensação de frio ligeiro a moderado. Somente 47 (3,2%) dias foram desconfortáveis pela sensação de calor ligeiro.

Tendo em consideração que a sensação de frio é a mais freqüente na área estudada podemos permutar os valores de temperatura e analisar o que acontece á sensação quando os termômetros registram temperaturas mínimas para cada dia.

Se for utilizado o mesmo índice, mas para temperaturas mínimas e umidade relativa máxima, que representa a sensação de frio acompanhada de umidade, teremos os resultados expressos na tabela 4.3..

Tabela 4.3. Distribuição dos dias por intervalos de temperatura segundo o ID Tmin Urmáx. A sombreado intervalo de temperatura médio.

Intervalo de Temperatura (°C)	Freqüência Observada	Freqüência Acumulada	Freqüência relativa %	Freqüência relativa Acumulada %
<= -2,0	0	0	0,0	0,0
-1,0-0,0	1	1	0,1	0,1
1,0-2,0	14	15	1,0	1,0
3,0-4,0	54	69	3,7	4,7
5,0-6,0	128	197	8,8	13,5
7,0-8,0	157	354	10,7	24,2
9,0-10,0	227	581	15,5	39,8
11,0-12,0	235	816	16,1	55,9
13,0-14,0	262	1078	17,9	73,8
15,0-16,0	216	1294	14,8	88,6
17,0-18,0	136	1430	9,3	97,9
19,0-20,0	24	1454	1,6	99,5
21,0-22,0	7	1461	0,5	100,0

Mais de 50% dos dias tem um conjunto de temperatura mínima e umidade relativa que provoca sensação térmica inferior a 12°C. Todos os dias, do período do estudo, são considerados desconfortáveis pelo frio, de acordo com a classificação de Fanger.

O índice de Temperatura Efetiva (TEv) com as variações de temperatura mínima (Tmin), umidade relativa máxima (Urmáx) e velocidade do vento máxima (Vmáx), como mostra a tabela 4.4., permitem avaliar a sensação térmica envolvendo mais uma variável com muita influência na sensação térmica em ambientes exteriores, o vento.

Tabela 4.4. Distribuição dos dias por intervalos de temperatura segundo o índice TEv Tmin Urmáx Vmáx. A sombreado intervalo de temperatura médio e com maior número de observações.

Intervalo de Temperatura (°C)	Freqüência Observada	Freqüência Acumulada	Freqüência relativa %	Freqüência relativa Acumulada %
-24,0- -20,0	2	2	0,14	0,14
-19,0- -15,0	44	46	3,01	3,15
-14,0- -10,0	193	239	13,21	16,36
-9,0- -5,0	315	554	21,56	37,92
-4,0- 0,0	378	932	25,87	**63,79**
1,0- 5,0	328	1.260	22,45	86,24
6,0- 10,0	156	1.416	10,68	96,92
11,0- 15,0	12	1.428	0,82	97,74
16,0- 20,0	31	1.459	2,12	99,86
21,0- 25,0	2	1.461	0,14	100,00

Através deste índice verifica-se que no período de estudo se for considerada a temperatura mínima, mais de 60% dos dias registraram sensação térmica inferior a 0°C.

Segundo a classificação de Fanger 99,86% dos dias são desconfortáveis pelo frio quando o termômetro registra a temperatura mínima diária.

Quando o individuo sente frio o seu organismo tende a acelerar o metabolismo para produzir mais calor, a fim de compensar a perda de calor e manter o corpo a uma temperatura ótima para o seu bom funcionamento. Já que a maioria dos dias apresenta temperaturas mínimas capazes de provocar desconforto e até stress por frio, o organismo humano deverá gastar mais calorias.

O índice Humidex utilizando a temperatura máxima diária, mostra que a sensação térmica extrema por frio foi -6°C, e a temperatura mais elevada foi de 22 °C (Tabela 4.5.). Existiram 63 dias (4,32% dos dias) com sensação térmica abaixo de 0°C, mais de 50% dos dias apresentaram sensação térmica inferior 10°C.

Tabela 4.5. Distribuição de dias por sensação térmica segundo o índice Humidex com Tar_máx e Ur_min. A sombreado valor de temperatura com maior número de observações.

Sensação térmica (°C)	Freq. Observada	Freq. Acumulada	Freq. Observada (%)	Freq. acumulada (%)
-6,0	1	1	0,07	0,07
-4,0	6	7	0,41	0,48
-2,0	17	24	1,17	1,64
0,0	39	63	2,67	4,32
2,0	111	174	7,61	11,93
4,0	152	326	10,42	22,34
6,0	182	508	12,47	34,82
8,0	200	708	13,71	48,53
10,0	210	918	14,39	62,92
12,0	253	1171	17,34	80,26
14,0	183	1354	12,54	92,80
16,0	85	1439	5,83	98,63
18,0	13	1452	0,89	99,52
20,0	6	1458	0,41	99,93
22,0	1	1459	0,07	100,00

Em mais de 80% dos dias a sensação térmica foi inferior a 12°C (valor aproximado do limite do 3° quartil) segundo o índice Humidex, o que totaliza 1171 dias dos 1459. Quando é considerada umidade relativa mínima e temperatura mínima a sensação térmica é de cerca menos 2°C em relação aos valores encontrados para a umidade relativa máxima.

A sensação térmica é um dos fatores meteorológicos que contribui para a qualidade de vida dos habitantes da área de estudo. Outro fator atmosférico importante é

a concentração dos gases e partículas. No próximo ponto são consideradas as características qualitativas e quantitativas dos poluentes do ar.

4.1.3. Distribuição das concentrações de cada poluente

Nas cidades as concentrações dos poluentes são acrescidas devido ao uso de tecnologias não amigas do ambiente. A atmosfera não tem fronteiras. Na presença das variáveis meteorológicas, a dispersão, transporte e reações químicas e físicas dos poluentes são livres.

Na figura 4.5. estão resumidos os valores máximos, mínimos e a mediana de cada poluente considerado no estudo.

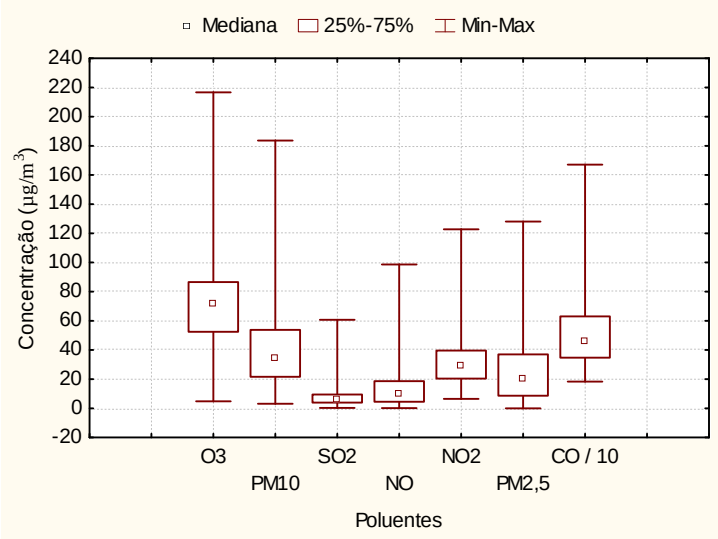


Figura 4.5. Percentil e mediana de cada poluente (ozônio, material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm, dióxido de enxofre, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio, material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm e monóxido de carbono, respectivamente na seqüência), ao longo do período estudado (2002-2005). Os valores da série temporal de CO foram divididos por 10 para se adequar à escala. Todos os poluentes estão expressos em $\mu g/m^3$.

Os índices e correspondentes valores de qualidade do ar, para cada poluente, vigentes na União Européia a serem cumpridos até 2010 foram os indicados na tabela 3.3.. Por comparação com os valores tabelados menos de 75% das concentrações medidas ficaram abaixo do padrão secundário, apesar de terem sido registrados valores máximos muito acima do padrão primário para o ozônio. Os níveis de qualidade do ar para o PM_{10} estiveram 25% dos dias abaixo de 'médio'

No conjunto de alíneas seguinte serão identificados os níveis mais freqüentes durante o período de estudo (2002-2005) na Área Metropolitana do Porto (AMP), para cada poluente. Os gráficos de distribuição normal das séries apresentam equações de distribuição. O primeiro fator da equação representa o número de casos dessa distribuição, o segundo fator refere-se ao número de casos por cada barra. O valores de cada poluente referem-se às médias diárias ponderadas das séries de cada estação, com exceção do Ozônio que é a média ponderada dos valores máximos diários, o CO é a média diária de todas as estações e o $PM_{2,5}$ é a média diária da estação de Vermoim.

a) $PM_{2,5}$

Mais de 50% dos dias, referentes ao período entre 2002 e 2005, apresentaram concentração média de $PM_{2,5}$ inferior a 30 µg/m^3. Contudo, existiram alguns dias (13 dias, 1,84%) em que a concentração foi superior a 100 µg/m^3 (Figura 4.6.).

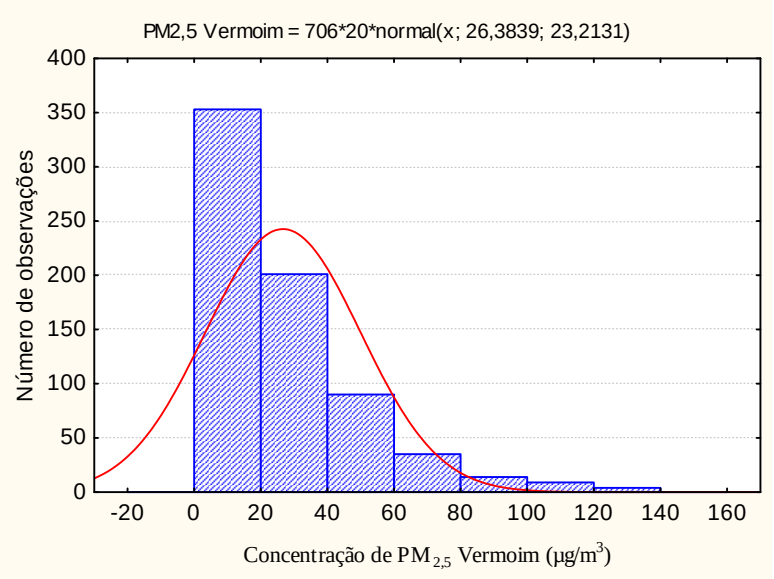


Figura 4.6. Distribuição normal da série temporal do $PM_{2,5}$, período de 2002 a 2005.

b) PM_{10}

No caso do PM_{10} pode-se verificar pela figura 4.7. que em cerca de metade do período a concentração média ponderada não excedeu os 40 µg/m^3.

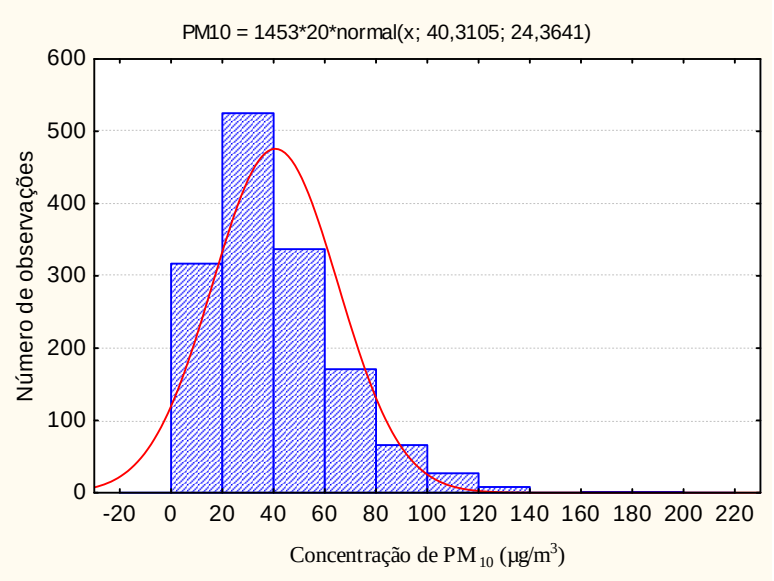


Figura 4.7. Distribuição normal da série temporal do PM_{10}, período de 2002 a 2005. Média ponderada de todas as localidades em estudo.

O maior número de observações situa-se entre 0 e 60 µg/m^3 (cerca de 80% dos dias). O que indica que segundo o índice de qualidade do ar vigente em Portugal e na Europa, para este poluente a maioria dos dias em estudo tiveram qualidade do ar entre 'muito bom' a 'médio'. Segundo o índice de qualidade do ar para este poluente, as concentrações acima de 50 µg/m^3 indicam qualidade do ar abaixo da classificação 'médio'. É de ressaltar que houve mais de 250 dias (dos 1455 dias) em que a concentração foi superior a 50 µg/m^3, o que significa que a qualidade do ar esteve entre 'fraco' e 'mau'. É durante o inverno do hemisfério norte que ocorre a passagem de mais sistemas frontais que provocam precipitação. Contudo, existem também períodos, mesmo durante o inverno, que podem ser de alguns dias até várias semanas, sem chover. Esta relação será mais pormenorizada no ponto 4.3.1. onde são analisados casos de Eventos extremos.

Vários trabalhos (Rodríguez et al., 2001; Rodríguez et al., 2002; Viana et al., 2002; Viana et al., 2003; Querol et al., 2004; Escudero et al., 2005; Escudero et al., 2006) têm citado que existe influência de transporte de Material Particulado (2,5 e 10 µm) Africano nos elevados níveis deste poluente na Península Ibérica (PI). Com a precipitação no verão o material particulado é reduzido. Além disso, no verão Africano intrusões e plumas de poeira viajam em altas altitudes (41500 m) enquanto, que na superfície estão presentes condições de gradiente de baixa pressão. Por outro lado, durante o inverno Africano (novembro-abril) as poeiras diminuem (Escudero et al,

2005), mas as excedências de material particulado de ambos os diâmetros registradas na PI continuam a registrar-se. Estas situações são muito dependentes da localização do anticiclone sobre a PI na superfície. Este anticiclone cria uma curva de pluma que afeta a PI começando no flanco oeste.

Excedências aos valores diários limitados por diretiva da EU (50µg/m^3) são freqüentes principalmente durante o inverno (europeu) devido ao transporte de poeiras, re-suspensão associada à dinâmica convectiva da atmosfera e pouca precipitação que favorece a re-suspensão e o elevado tempo de residência do PM. Além da contribuição regional de aerossóis derivados de transformações fotoquímicas de precursores gasosos coincidentes com o transporte de poeiras durante o verão do continente Africano.

Pode-se também identificar, na figura 4.8., aumento gradual das concentrações de PM_{10} desde 2002 (média ponderada 37,2) até 2005 (média ponderada 44,05). O $PM_{2,5}$ (considerando a série disponível a partir de novembro de 2003) segue a mesma oscilação que o PM_{10} com valores de concentração cerca de 5 a 10 µg/m^3 menores.

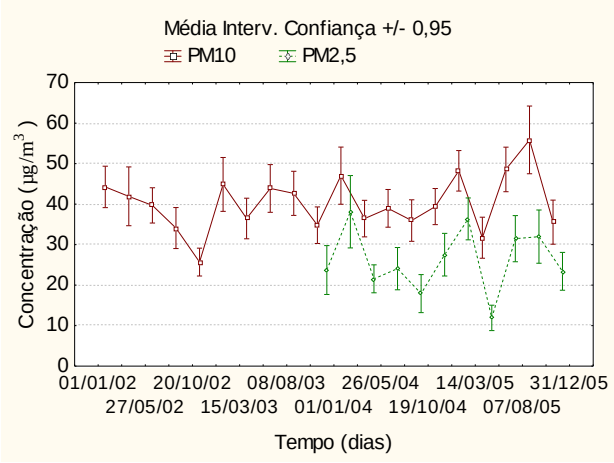


Figura 4.8. Distribuição média ponderada do PM_{10} e $PM_{2,5}$ (Vermoim) ao longo do período de estudo (2002-2005).

c) CO

O CO apresentou o seu valor médio mais elevado na estação das Antas (2106 µg/m^3), nas outras estações não excedeu os 2000 µg/m^3. Como não foi possível fazer uma média ponderada para este poluente, devido às falhas nas séries temporais dos dados das estações, o resultado da distribuição da média de todas as estações em estudo mostrou que na maior parte do período as concentrações foram inferiores a 800 µg/m^3

(Figura 4.9.). Muito inferiores ao estipulado pelo índice de qualidade do ar que refere o limite máximo para uma classificação do ar 'muito bom' (0 a 4999 µg/m^3).

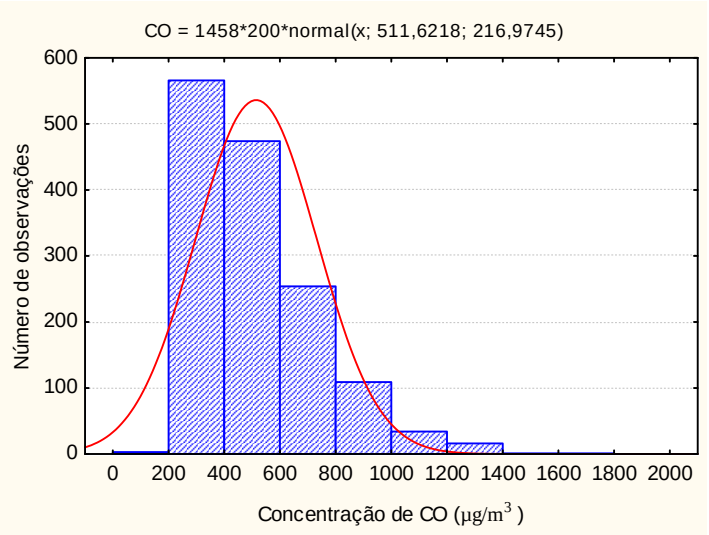


Figura 4.9. Distribuição da concentração de CO no período de 2002-2005.

O resultado obtido está de acordo com a literatura (Gros et al, 1998). Durante o verão existem valores mínimos de concentrações de CO e máximos no inverno. Além disso, é consistente com a variação sazonal do radical OH e com uma das principais fontes de CO sazonais que é a queima de biomassa em África que ocorre especialmente entre junho e novembro (Figura 4.10.). Apesar de Portugal se localizar no hemisfério norte, correntes vindas de África conseguem atingir o mediterrâneo e o sul da Europa como já referenciado no caso do PM.

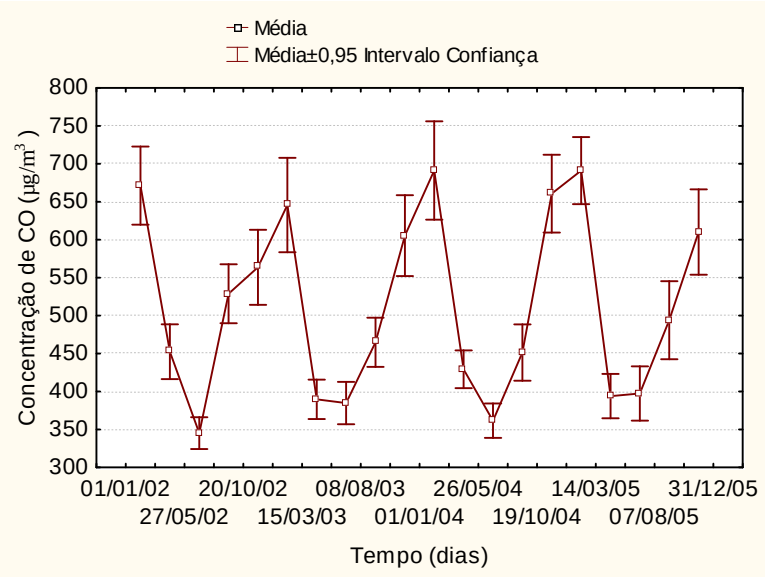


Figura 4.10. Concentrações médias de CO em intervalos de confiança de 0,95.

d) SO_2

O SO_2 é o poluente com concentrações mais baixas ao longo do período de estudo (percentil 75% abaixo de 15 µg/m^3, Figura 4.5.). Para tal têm contribuído as recomendações e diretivas emitidas pela Comunidade Européia para todos os países membros, de redução de enxofre no combustível fóssil utilizado nos veículos automóveis. No gráfico da figura 4.11. verifica-se que o maior número de observações ficam entre 0 e 10 µg/m^3, dando a classificação de qualidade do ar muito boa considerando este poluente.

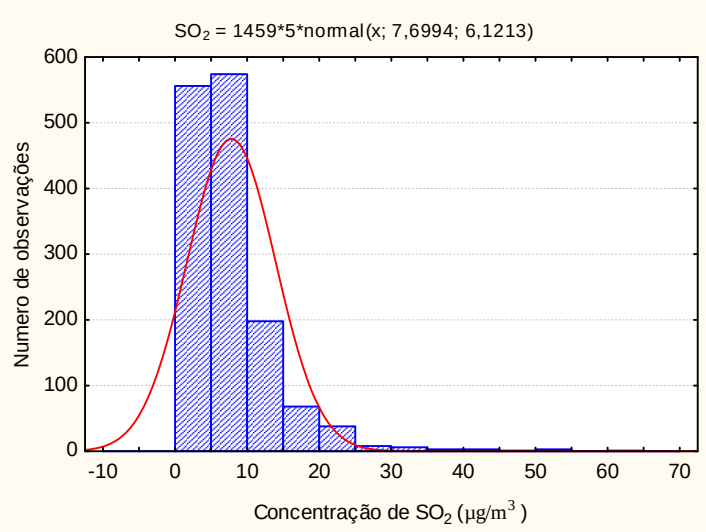


Figura 4.11. Distribuição da concentração de SO_2 ao longo de 2002-2005.

Para o SO_2 o maior número de observações foram registradas entre os valores 0 e 10 µg/m^3. No entanto, ocorreram mais de 200 observações em que as concentrações foram acima de 10 µg/m^3, que, segundo o índice de qualidade do ar, representa qualidade do ar muito boa (0 a 139 µg/m^3, Tabela 3.3.).

Das 10 estações de qualidade do ar consideradas, 9 fazem medições continuas de SO_2. Em Portugal a frota automóvel é composta por veículos a gasolina, diesel e gás. Existem ainda alguns ônibus movidos a hidrogênio (no centro da cidade do Porto). No entanto, os veículos de transporte tanto de mercadorias como de passageiros (a maioria dos ônibus, de curto e longo curso, carros cedidos por empresas a funcionários, vans e caminhões de mercadorias, entre outros utilitários) são, em geral, movidos a diesel. Este combustível possui ainda enxofre na sua composição, apesar dos esforços das refinarias

em reduzi-lo, cumprindo com as exigências ambientais européias (Directiva 2001/81/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2001, relativa ao estabelecimento de valores-limite nacionais de emissão de determinados poluentes atmosféricos [Jornal Oficial L 309 de 27/11/2001], com data limite de transposição para os estados-membros somente em 27/11/2002), quanto aos índices de qualidade do ar como limiares (ou padrões, como mostra a Tabela 3.2. e 3.3.). Neste sentido, identifica-se uma diminuição acentuada da concentração de SO_2 a partir do final de 2002 em diante (Figura 4.12.). Apesar de aumentar a meio de 2004 e ocorrerem oscilações nos meses seguintes, as concentrações médias não voltam a subir aos níveis médios anteriores a 2003 (Figura 4.12.)

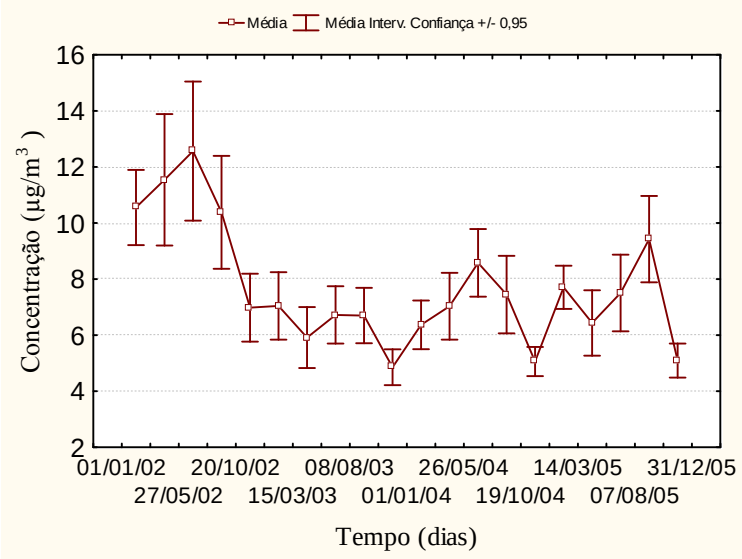


Figura 4.12. Concentração média de SO_2 em intervalos de confiança de 0,95.

e) O_3

Para o O_3 foram determinados os valores máximos ponderados, com os mesmos valores de porcentagem para cada estação, realizado para os outros poluentes.

O resultado da distribuição normal (Figura 4.13.) revela que os valores centrais da distribuição, cerca de 50% das observações situam-se no intervalo de concentrações 40 a 100 µg/m^3. Considerando que o padrão primário é 160 µg/m^3, então em média a AMP apresentou na maior parte do período de estudo concentrações indicadoras de qualidade do ar muito boa a média (0 a 120 µg/m^3, Tabela 3.3.).

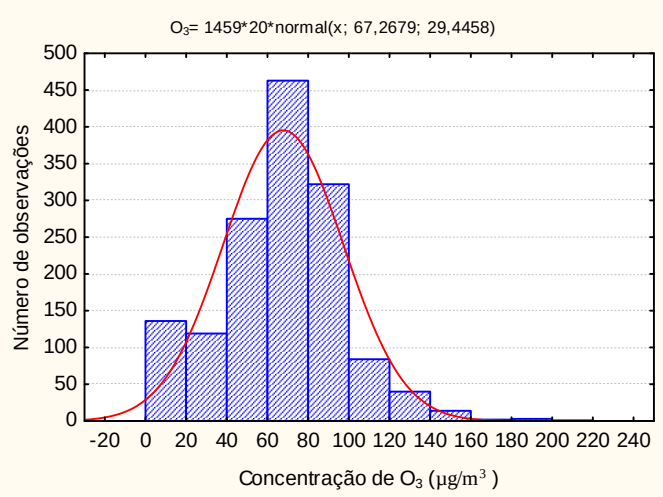


Figura 4.13. Distribuição da concentração de O_3 no período de 2002-2005.

Á semelhança de outros poluentes o O_3 em 2002 apresentou concentrações médias idênticas em torno de 75 a 80 µg/m^3. A partir do inicio de 2004 identificam-se oscilações marcadas. Períodos com concentrações médias 20 µg/m^3 inferiores às que vinham sendo padrão, seguido de períodos com concentrações médias 20 µg/m^3 superiores (Figura 4.16.).

f) NO

O NO é um dos poluentes fotoquímicos que apresentou incidência de observações nos primeiros intervalos de valores de concentração entre 0 e 20 µg/m^3. No entanto, podem-se observar (figura 4.14.) somente dois dias em que as concentrações médias ponderadas chegaram a 95,5 e 98,6 µg/m^3.

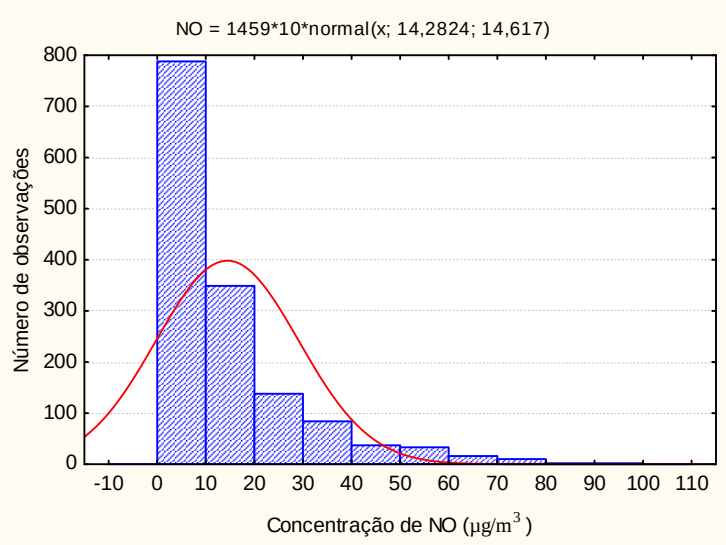


Figura 4.14. Distribuição da concentração de NO, período de 2002-2005

g) NO_2

Para o NO_2 o intervalo com mais observações está compreendido entre as concentrações de 10 e 50 µg/m^3 (Figura 4.15.). Apesar das concentrações médias em todas as estações se situarem dentro da curva de distribuição normal como mostra a figura 4.15.. No entanto, 130 µg/m^3 não foi o valor médio mais elevado. Por exemplo, Perafita apresentou um valor médio de 296 µg/m^3, assim como, outras estações mostraram alguns dias (2 a 5 dias) com concentrações acima de 90 e de 130 µg/m^3. Contudo, para este poluente o valor de padrão primário situa-se em 400 µg/m^3 e valores inferiores a 140 µg/m^3 situam-se no intervalo de qualidade do ar 'muito bom' a ' bom'.

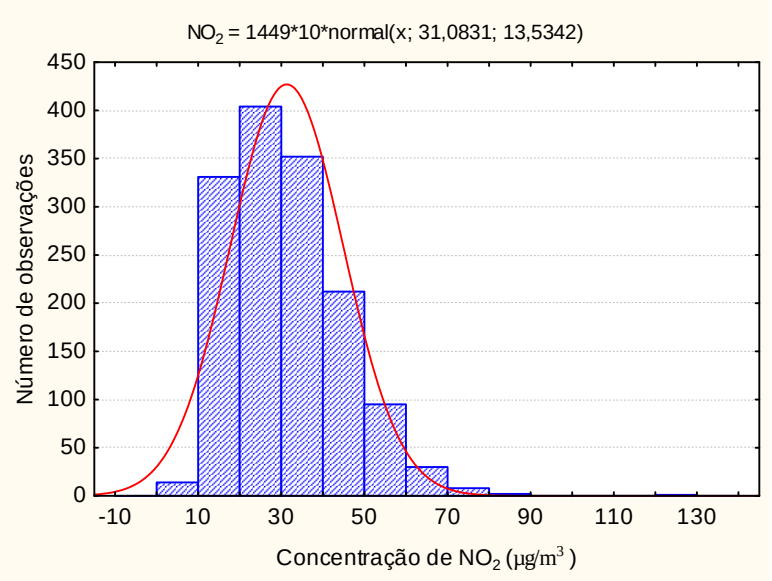


Figura 4.15. Distribuição da concentração de NO_2 no período de 2002-2005

Analisando a distribuição das concentrações médias ao longo do tempo (Figura 4.16.), verifica-se, claramente, sazonalidade nos níveis dos três poluentes.

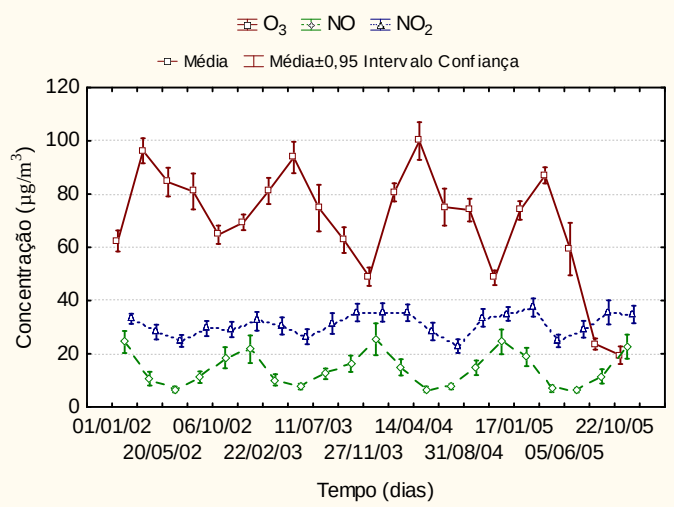


Figura 4.16. Concentrações médias de O_3, NO e NO_2 com os respectivos intervalos de confiança de 0,95.

Durante o outono até ao inverno há aumento gradual das concentrações e durante a primavera até ao final do verão as concentrações diminuem. Apesar das concentrações de NO serem inferiores às de NO_2, a amplitude das concentrações sazonais para o NO (cerca de 25 µg/m^3) é maior do que para o NO_2 (cerca de 20 µg/m^3).

A diminuição destes dois últimos poluentes está relacionada com o aumento do período diurno e da radiação durante os meses de verão. Estes poluentes são precursores do ozônio. Em condições favoráveis à formação de ozônio (maior período diurno, menor período de céu encoberto, isto é, no verão) os NO e NO_2 reagem fotoquimicamente sendo consumidos mais rapidamente. Por isso, as concentrações nos meses de verão são inferiores, como mostra a figura 4.16..

Tanto as variáveis atmosféricas como os poluentes tem influência significativa nos estados de morbidade da população. No próximo ponto é considerada a distribuição geral das morbidades em estudo.

4.1.4. Distribuição das morbidades

Escolheram-se 3 grupos de doenças cardiovasculares (DCV) e 2 grupos de doenças respiratórias (DR). Ambos os grupos de doenças podem ter fatores causais ou

comportamentais, sócio/culturais, genéticos, acidentais entre outros associados a essas doenças. Assim como, também, podem ser resultado ou serem agravadas por fatores ambientais tais como meteorológicos e de poluição atmosférica a curto médio ou longo prazo conforme literatura já citada no ponto *1. Introdução* desta tese.

Como amostra das DCV serão analisadas admissões no serviço de urgência hospitalar (4 hospitais públicos, conforme mencionado no ponto 4.1.2. desta tese).

De uma maneira muito genérica considerando uma saída única em percentil com extremos dos casos admitidos no serviço de urgência, obteve-se o gráfico da Figura 4.17..

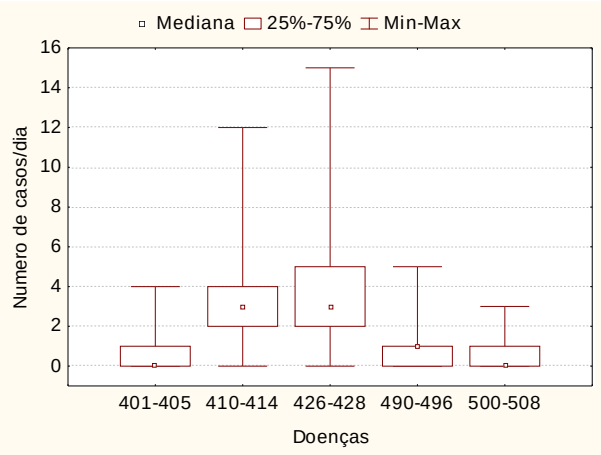


Figura 4.17. Percentil e mediana de casos admitidos por cada tipo de doença (cardiovasculares: 401-405 (HT);410-414 (IQ);426-428 (IC) e respiratórias: 490-496 (A/B);500-507 (P)) nos quatro hospitais em estudo.

Ocorreram 571 casos de DCV HT durante o período de estudo.

As DCV IQ apresentaram 1398 casos, cerca de 40% dos dias com 4 a 12 casos.

Registraram-se 1406 casos de IC, sendo que 45% dos dias os hospitais receberam entre 4 a 15 casos.

Por A/B os hospitais admitiram um total de 349 casos, 76% dos dias 1 caso por dia.

Os 4 hospitais registraram 410 casos de DR Pneumoconioses no período de estudo.

Para as DCV Hipertensivas (401-405) e DR Pneumoconioses (500-507), existem vários dias em que não foram registrados casos. Por isso, a sua mediana ser próxima de zero.

A observação descritiva e integral no tempo dos dados registrados por diferentes instituições é fundamental como base para uma análise estatística mais completa e que inter-relacione todas as variáveis acima mencionadas. Ainda considerando o período de estudo na integra, no próximo ponto será dada uma visão da variabilidade meteorológica e como esta tem impacto na qualidade do ar.

4.1.5. O impacto da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) na variabilidade da qualidade do ar de 2002 a 2005

A Oscilação do Atlântico Norte (OAN) é um dos fenômenos climáticos de grande escala que afeta a Península Ibérica e de uma forma geral a Europa (ver ponto *4.1.1. Comportamento das variáveis meteorológicas durante o período de estudo)*. Esta oscilação é responsável pela variação da intensidade de todas as variáveis meteorológicas. As variações meteorológicas de velocidade e direção de vento, assim como, regime de precipitação são dois fatores que estão fortemente associados à maior ou menor concentração de poluentes.

Quando no *modo positivo da Oscilação do Atlântico Norte*, um sistema de baixa pressão se estabelece sobre a Islândia, com ventos circulando no sentido anti-horário ao redor do mesmo, como explicado acima. Enquanto isso, um sistema de alta pressão, com circulação de ventos no sentido horário, se fixa próximo dos Açores. Estes ventos em contato com águas aquecidas pela Corrente do Golfo influenciam o inverno do norte europeu, tornando-o úmido e moderado. Mas, a Península Ibérica (PI) fica sujeita a um bloqueio à passagem desses sistemas frontais tornando os invernos secos e frios.

Já no *modo negativo da Oscilação do Atlântico Norte*, o sistema de baixa pressão se movimenta para os Açores. Com isso, os ventos úmidos acabam redirecionados para o sul, tornando o inverno mais frio no norte da Europa e mais ameno na PI.

Ao longo do período de estudo o índice OAN parece apresentar uma periodicidade de cerca de 8-10 meses (Figura 4.18).

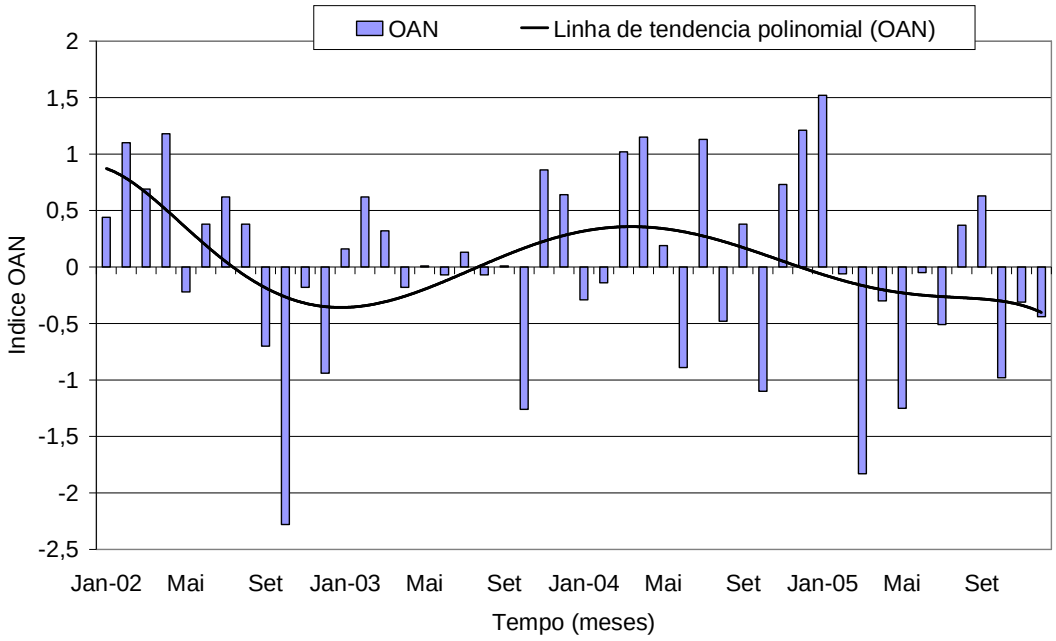


Figura 4.18.Variabilidade da OAN entre 2002 e 2005 e sua linha de tendência polinomial.

Para entender como este fenômeno contribui para a variabilidade da qualidade do ar fez-se análise estatística de correlação e multivariada (ACP) para todo o período de estudo. Incluiu-se as séries de qualidade do ar com médias ponderadas de todas as estações incluídas no estudo (como descrito na metodologia desta tese), dados de meteorológicos da estação de Pedras Rubras e de índice OAN mensais da NOAA. Obtiveram-se os valores constantes na tabela 4.6.. Na tabela foi retirado o $PM_{2.5}$ em 2002 e 2003, porque apresenta uma série incompleta com dados só a partir de 2004, o que diminui o número de casos incluídos no modelo.

O índice de OAN varia positivamente com o PM_{10} e o SO_2 no segundo fator e negativamente com a precipitação. O que significa que na fase positiva da OAN ocorre diminuição de precipitação e aumento dos poluentes citados. Seja no primeiro ou segundo fator, a precipitação varia opostamente com o O_3 e positivamente com os seus precursores o que está de acordo com a literatura, que diz que existe aumento de ozônio com maior radiação.

Tabela 4.6. Análise fatorial por Componentes Principais com rotação VARIMAX normalizada, para OAN (valor de índice diário), precipitação temperatura média e diferentes poluentes com média ponderada diária (exceto CO e $PM_{2,5}$ que apresentam-se com média aritmética). Os valores em negrito tem significância superior a 0,50.

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,24	**-0,78**	0,64
Tar_med	**-0,71**	0,15	0,49
O_3	**-0,62**	**0,58**	0,73
PM_{10}	0,38	**0,84**	0,78
SO_2	0,10	**0,88**	0,73
NO	**0,96**	0,10	0,95
CO	**0,95**	0,02	0,93
NO_2	**0,80**	0,38	0,82
OAN	0,01	**0,60**	0,43
Expl.Var	3,57	2,95	
Prp.Totl	0,40	0,33	

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	-0,21	**0,74**	0,63
Tar_méd	0,00	**-0,87**	0,78
O_3	-0,13	**-0,65**	0,48
PM_{10}	**0,87**	-0,36	0,83
SO2	0,49	-0,15	0,40
NO	**0,74**	**0,59**	0,93
CO	**0,74**	**0,65**	0,97
NO_2	**0,89**	0,08	0,82
OAN	0,28	0,15	0,21
Expl.Var	3,02	2,68	
Prp.Totl	0,34	0,30	

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	-0,09	**-0,72**	0,54
Tar_méd	**-0,65**	0,34	0,80
O_3	**-0,57**	**0,66**	0,86
PM_{10}	**0,62**	**0,73**	0,91
SO_2	-0,08	**0,82**	0,62
NO	**0,95**	0,01	0,93
CO	**0,99**	0,04	0,98
NO_2	**0,76**	**0,54**	0,94
$PM_{2,5}$	**0,76**	**0,54**	0,87
OAN	0,04	0,44	0,53
Expl.Var	4,19	3,05	
Prp.Totl	0,42	0,30	

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,77**	0,15	0,69
Tar_méd	0,33	**-0,77**	0,95
O_3	-0,01	-0,40	0,62
PM_{10}	**0,92**	0,21	0,96
SO_2	**0,78**	-0,13	0,64
NO	0,18	**0,93**	0,85
CO	0,38	**0,90**	0,97
NO_2	**0,65**	**0,65**	0,89
$PM_{2,5}$	**0,86**	0,34	0,92
OAN	0,45	0,11	0,22
Expl.Var	3,68	3,07	
Prp.Totl	0,37	0,31	

Os anos de 2002, 2004 e 2005 apresentaram altas associações, algumas delas com valores de 0,70. As comunalidades são também altas. O fator 2 de 2002 e 2004 mostrou associação entre alguns poluentes e a OAN, explicando 33% e 30% da variância, respectivamente. O índice mostra associação positiva com a OAN de 0,44 (2004) e 0,60 (2002 e está negativamente associado com a precipitação, -0,78 (2002) e -0,72 (2004). Ozônio, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2 e NO_2 mostraram associação positiva.

O ano de 2005 apresentou os melhores resultados no fator 1, explicando 37% da variância, na qual se observa associação positiva da OAN (0,45) com os poluentes (PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2 e NO_2) e negativamente com a precipitação (-0,77). No entanto, a comunalidade da OAN é de 0,22 (idêntica à de 2003, 0,21) tendo somente alguns casos de associação.

Considerando um período que não corresponde ao período sazonal escolhido para outros pontos da tese. A precipitação em 2002 e 2004 (Tabela 4.7.) *durante o final da Primavera e o Verão (considerando de maio a setembro),* foi de cerca de 26% do total anual de precipitação, o que provavelmente causou impacto na concentração dos poluentes. Por outro lado 2003 e 2005 tiveram menos precipitação (12,6% e 16,7%, respectivamente) no período maio-setembro (Tabela 4.7.) o que pode explicar parcialmente a baixa associação. Por outro lado ainda, no verão de 2003 ocorreu uma onda de calor e este ano registra fraca associação entre a OAN e os poluentes no Fator 1. O índice de OAN durante abril- outubro foi próximo de zero (Figura 4.19.).

Tabela 4.7. Precipitação anual e no período de maio-setembro (fim da Primavera/Verão).

Precipitação (mm)	anual	maio -setembro
2002	1536,7	398,3
2003	1374	172,9
2004	978,2	258,7
2005	609,2	101,5

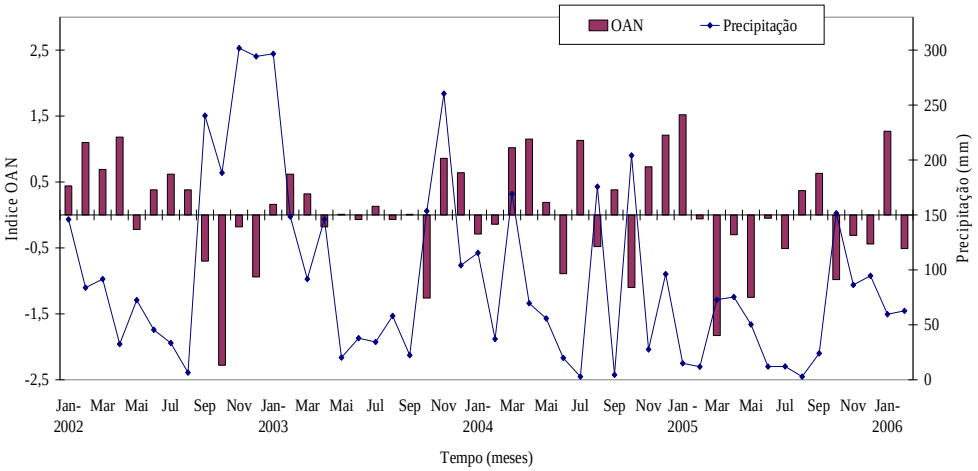


Figura 4.19. Precipitação e índice OAN durante o período de 2002 a 2005.

Resumindo o índice OAN está claramente relacionado com SO_2, $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$ e com pouco peso com o Ozônio, CO e NO_x e negativamente associado com a precipitação. A associação negativa com a precipitação indica que o PM e o SO_2 podem ser removidos pela chuva e parcialmente por outros poluentes. Assim, a variabilidade do PM_{10}, SO_2, $O_{3,}$ CO, NO e NO_2 pode ser parcialmente explicada pela relação positiva com variabilidade da OAN. Além disso, a variabilidade sazonal pode também ser explicada parcialmente pela variabilidade do índice.

A Oscilação do Atlântico Norte é um dos maiores fenômenos que afeta a Península Ibérica e a Europa. Esta oscilação é responsável pela intensidade registrada pelas variáveis meteorológicas. A velocidade e direção do vento, bem como, da precipitação está fortemente associada á maior ou menor concentração de poluentes. A correlação anual entre a OAN e os poluentes foi menor do que os resultados encontrados considerando os meses de março a dezembro. Pokrovsky (2009) concluiu que no inverno a taxa de precipitação é mais intensa no sul Europeu devido às fortes correntes que transportam umidade do Atlântico para essa área. A circulação

atmosférica parece mover-se para norte durante o período de 1980 e 1990 possivelmente respondendo ao aquecimento global. Criando assim dois extremos, muito seco no verão e muito chuvoso no inverno. Tendo em consideração que a pluviosidade no inverno faz variar significativamente a relação OAN/poluentes realizou análise de correlação, primeiro para o ano inteiro e depois para um período sem os meses de inverno, de abril-dezembro (Tabela 4.8.). Onde se verifica que no período anual de 2002 o PM_{10} e o SO_2 estão correlacionados com a OAN 0,66 e 0,70, respectivamente. Considerando o período abril-dezembro as correlações aumentam. O coeficiente de correlação entre PM_{10} e OAN para 2002 foi 0.75; $PM_{2,5}$ em 2004 obteve 0.74 e SO_2, 0.79 em 2002 e 0.84 em 2005.

Tabela 4.8. Valores de correlação entre OAN e cada poluente por ano e entre abril e dezembro. A negrito os valores de correlação superiores a 0,50.

2002	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	
	Correl anual	0,08	**0,66**	**0,70**	-0,03	-0,18	0,12	
	corr.abr-dez	0,34	**0,75**	**0,79**	**-0,58**	**-0,68**	-0,25	
2003	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	
	Correl anual	-0,31	0,15	-0,18	0,38	0,40	0,07	
	corr.abr-dez	-0,25	0,07	-0,18	0,37	0,33	-0,01	
2004	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	$PM_{2,5}$
	Correl anual	0,04	0,22	0,17	0,09	0,17	0,21	0,31
	corr.abr-dez	-0,04	**0,50**	0,13	0,37	0,41	0,41	**0,74**
2005	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	$PM_{2,5}$
	Correl anual	-0,28	0,25	0,39	0,23	0,25	0,13	0,32
	corr.abr-dez	-0,23	**0,54**	**0,84**	0,03	0,05	0,33	0,36

Nesta análise de correlação bem como na ACP o ano de 2003 não apresenta valores significantes. Os poluentes que apresentaram correlação acima de 0,50 foram o PM_{10} e $PM_{2,5}$ e SO_2, especialmente em 2002 e 2004. Em 2002, cinco meses tiveram fase positiva e outros cinco registraram fase negativa e em 2004 sete meses registraram fase positiva. Nos outros anos a fase negativa foi dominante. No entanto, com valores de correlação menor que 0,50 do CO, NO_2 e NO também indicam correlação parcial com OAN.

O PM_{10} tem correlação baixa na análise do período anual, mas significativa num período que exclui os meses de inverno. Este fato pode estar na origem de relações baixas ou não significativas encontradas com as doenças quando se analisa as relações considerando o período de estudo todo.

A mesma comparação, mas durante os meses de inverno foi feita na tabela 4.9..

Tabela 4.9. Valores de correlação entre OAN e cada poluente por ano e período de inverno. A negrito os valores de correlação superiores a 0,50.

2002	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	
	corr.jan-abr	-0,23	-0,34	0,19	-0,04	0,19	0,38	
2003	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	
	corr.dez-mar	0,26	**0,72**	-0,32	0,23	0,32	**0,63**	
2004	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	$PM_{2,5}$
	corr.dez-mar	**0,70**	**-0,59**	0,16	**-0,64**	**-0,71**	**-0,50**	**-0,56**
2005	OAN/POL	O_3	PM_{10}	SO_2	NO	CO	NO_2	$PM_{2,5}$
	corr.dez-mar	**-0,98**	**-0,76**	**-0,67**	**0,87**	**0,91**	**-0,82**	**0,91**

É de salientar a associação positiva de 0,72 do PM_{10} e de 0,63 do NO_2 em 2003 e depois em 2004 apresentam associação negativa de -0,59 e -0,50, respectivamente e em 2005 para PM_{10} e para o NO_2 de -0,76 e -0,82, respectivamente. Indicando condições meteorológicas e de dispersão dos poluentes diferentes em cada ano. No entanto, para 2005 o $PM_{2,5}$ apresenta uma correlação de 0,91 em contraste com a relação negativa (-0,56) de 2004.

Assim como no período março-dezembro a análise de dezembro-março mostra alguns valores de correlação significantes com alguns poluentes. Como esperado em alguns casos quando a relação é positiva (negativa em março-dezembro, ela é negativa (positiva) na correlação de dezembro-março. Isto pode explicar a não existência de significância na correlação anual, especialmente para o PM_{10}. Por outro lado, deve-se ter em consideração a química atmosférica. Por exemplo, quando o ozônio apresentou correlação negativa o NO teve correlação positiva com a OAN. Indicando assim, que em condições de tempo que permite a formação do ozônio (céu limpo, temperatura mais alta, etc) há diminuição da concentração de NO e NO_2 e vice-versa.

Durante a fase negativa da OAN os sistemas frontais são mais frequentes na Península Ibérica e, por isso, ocorre mais precipitação. Esta situação sinótica pode contribuir para a remoção de poluentes (Cancio, 2008). Por outro lado, na fase positiva é observada acumulação de poluentes, o que está em acordo com as altas correlações entre os poluentes e a fase de OAN observadas na figura 4.20..

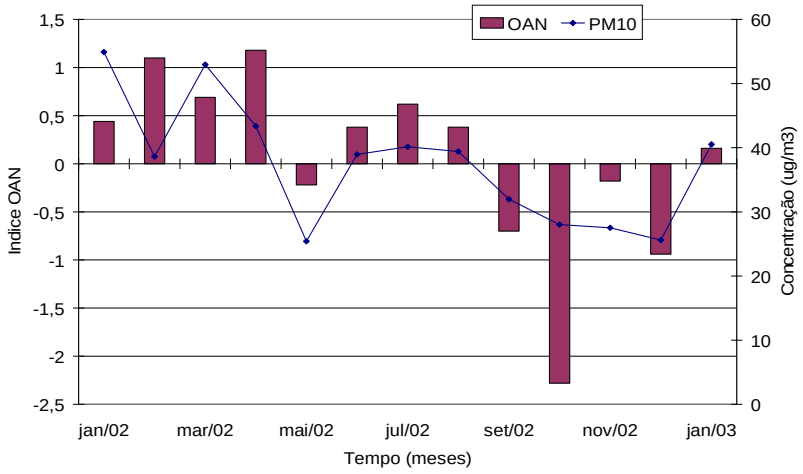


Figura 4.20. Variação da concentração média ponderada de PM_{10} (histograma) e do índice da OAN (linha) para o ano de 2002.

A variabilidade dos poluentes é claramente dependente dos fenômenos meteorológicos e sua intensidade a diferentes escalas. Como mencionado acima a OAN é um fenômeno de escala sinótica, mas afeta os fenômenos a meso-escala. Por outro lado, a concentração dos poluentes pode ser influenciada por diferentes escalas. Por exemplo, em períodos em que a fase positiva e negativa da OAN varia de um mês para outro, como foi observado em junho-dezembro de 2004, a correlação com $PM_{2,5}$ foi de 0,85 (Figura 4.21.). Alguns estudos têm sugerido que as mudanças climáticas podem modificar a intensidade e regularidade da OAN, afetando assim a circulação geral da atmosférica, o que pode ter impacto direto na dispersão de poluentes em pequena escala.

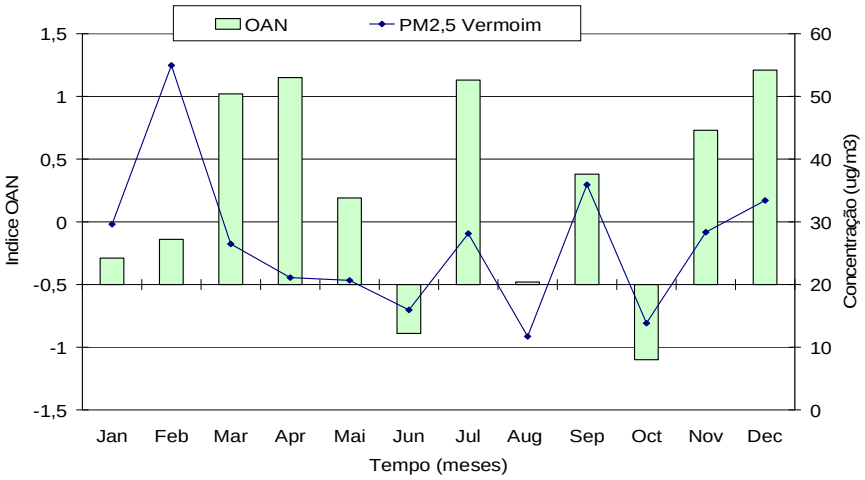


Figura 4.21. Concentração de $PM_{2.5}$ (estação de Vermoin) e índice OAN, durante 2004.

A estação de Vermoim está localizada em ambiente urbano, mas com influência industrial e próxima do Aeroporto Internacional Sá Carneiro (5 Km oeste da estação). É a única estação que mede $PM_{2,5}$, na AMP. É conhecido que os aviões civis usam como combustível o querosene e durante o processo de combustão é produzido *balck carbon*, sulfatos, CO e NO_x (Lee, 2009). Esta pode ser uma das importantes fontes de $PM_{2,5}$ nesta área.

Resumindo, a variabilidade da OAN afeta principalmente a trajetória dos sistemas ciclônicos que atravessam o Oceano Atlântico tendo impacto na variabilidade das chuvas no norte da Europa (Hurrell, 1995). A fase positiva (intensificação), na Península Ibérica é caracterizada por céu limpo, baixas temperaturas e vento fraco.o que promove o aumento da concentração de poluentes já que as condições atmosféricas dificultam a dispersão e remoção por precipitação. Neste sentido, a qualidade do ar na APM é afetada pela variabilidade do índice OAN. Na fase negativa a alta pressão dos Açores intensifica-se e promove características sinóticas de vento fraco associado a céu limpo e baixa umidade do ar que se correlaciona com aumento do material particulado. Os poluentes fotoquímicos são bem explicados e correlacionados com a OAN durante o período de inverno.

A variabilidade da concentração dos poluentes pode ser influenciada por diferentes escalas. Em períodos que a OAN varia de fase de um mês para outro foi identificada correlação significativa com o $PM_{2,5}$ em particular na segunda metade de 2004 e 2005. Isto é importante já que alguns estudos sugerem que mudanças climáticas podem alterar a intensidade e regularidade da OAN, afetando a circulação atmosférica em geral e isso pode ter impactos diretos na dispersão dos poluentes em escalas menores. Vermoim é uma estação suburbana, mas que sofre influência da área industrial e está próxima do Aeroporto Internacional Sá Carneiro os quais podem ser uma das mais importantes influências das altas concentrações encontradas para o $PM_{2,5}$ com correlação 0,91 durante 2005.

No período de março a dezembro é o material particulado de ambos os diâmetros e SO_2 que estão correlacionados com a OAN. Estes resultados são importantes pelo fato que a saúde humana e morbidades causadas pela poluição do ar podem ser prevenidas usando a previsão climática da OAN. Esta prevenção poderá ajudar as políticas públicas nos cuidados com a saúde humana. Especialmente no verão que o anticiclone Atlântico está mais próximo da Península Ibérica e durante o período de estudo ocorreram significantes ondas de calor na Europa. Estes resultados pode também contribuir para

mais esclarecimentos sobre o impacto que essas ondas de calor tiveram sobre a saúde pública, especialmente, em Portugal.

Os dois tamanhos de material particulado analisados são do tipo inalável, logo o aumento da sua concentração pode provocar danos á saúde da população. No ponto '4.3. Estudos de Caso' será tratado o ano de 2004 (ponto 4.3.2.) para estudo pormenorizado da relação entre o material particulado com a OAN e a saúde pública.

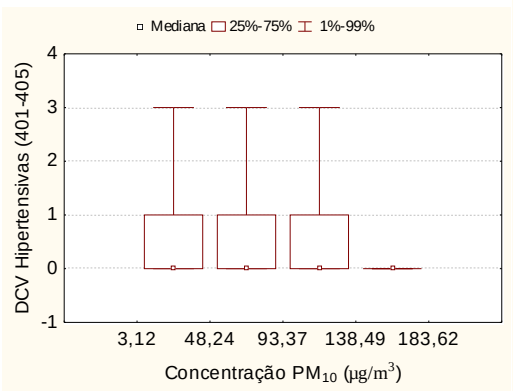
Seguidamente será feita a analise das séries completas identificando a variabilidade das doenças mediante intervalos de concentração dos poluentes e de temperatura e pressão.

4.1.6. Modelos de regressão linear

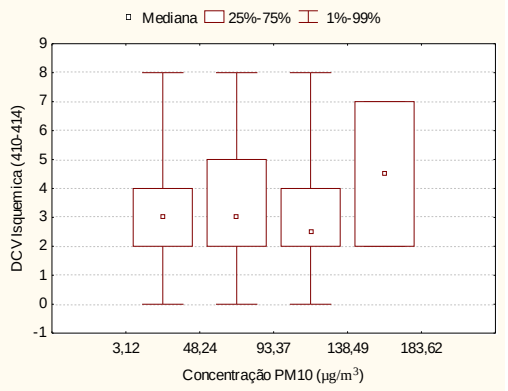
Neste ponto serão analisadas as séries temporais mediante o recurso á regressão de Poisson para determinar a relação entre os poluentes e a morbidade e a temperatura e a morbidade. Desta forma será possível identificar quais os intervalos de concentrações e de temperaturas que mais afetam as doenças em estudo.

4.1.6.1. Análise da distribuição em quantis de doenças vs. poluentes

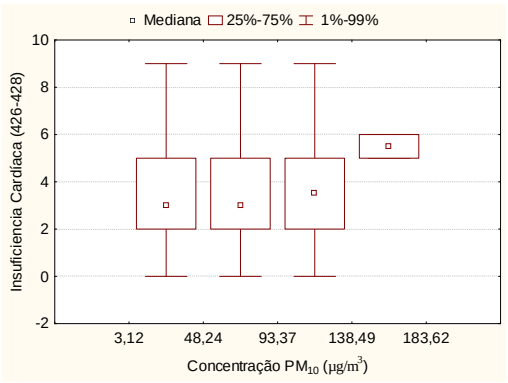
Os resultados da distribuição em quantis estão apresentados sob a forma de gráficos das figuras 4.22. até 4.27.. Mostram a relação entre cada grupo de doenças cardiovasculares (DCV) e respiratórias (DR), considerando o aumento por categorias dos poluentes em estudo, para a AMP.



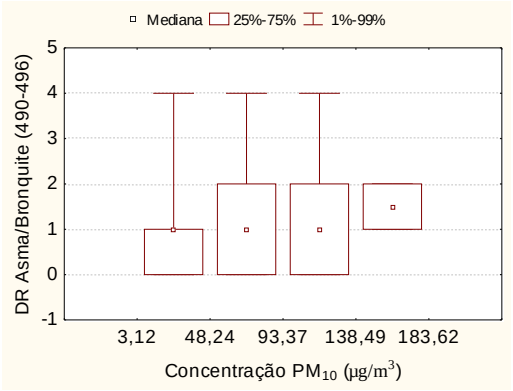
a)



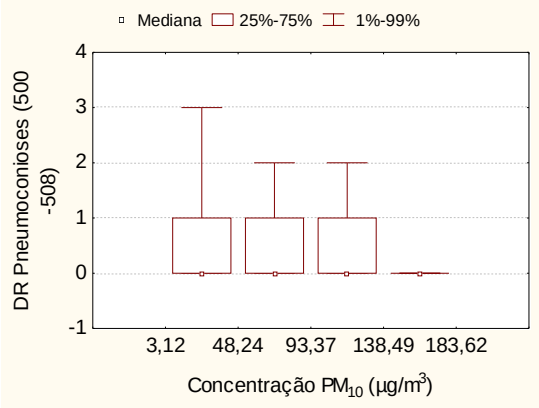
b)



c)



d)

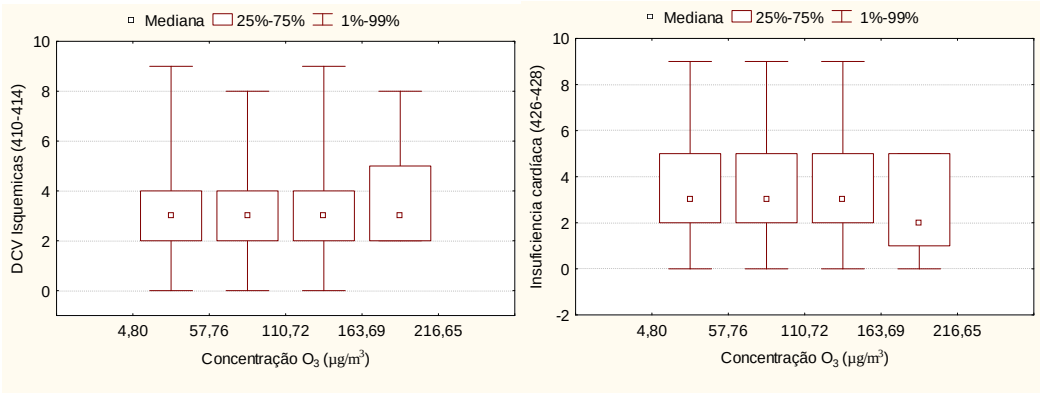


e)

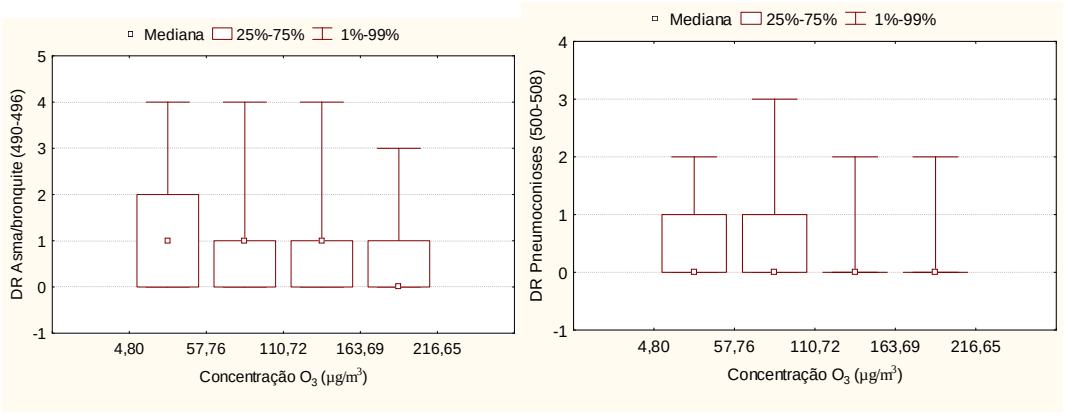
Figura.4.22. Distribuição em quantisrelativo para as doenças em estudo com concentrações crescentes de PM_{10}.

Para todas as doenças, os intervalos de concentração de PM_{10} mais baixos apresentam maiores máximos. No entanto, o percentil 25-75%, no último intervalo de concentrações, é o que indica maior risco, o que seria de se esperar exceto para as DCV HT e DR P. Este fato pode estar relacionado principalmente com a consistência dos dados e, por isso, nos próximos casos não serão apresentados resultados com as DCV Hipertensivas. Nos casos em que o valor da mediana é zero (exemplo, Figura 4.22. e)), significa que existe uma grande porcentagem de dias em que não foram admitidos casos nesse intervalo de concentrações.

Nos gráficos da figura 4.23. estão apresentados os resultados da análise de RR para o O_3.



a) b)

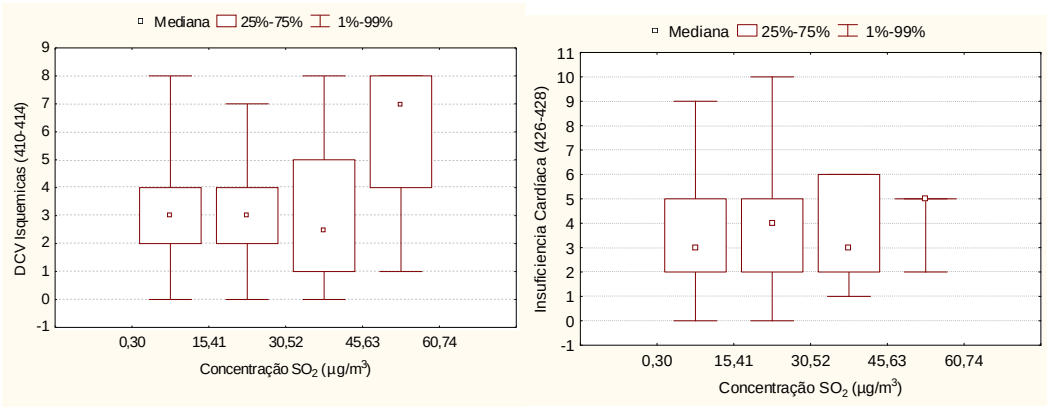


c) d)

Figura 4.23. Distribuição em quantis para doenças em estudo com concentrações crescentes de O_3.

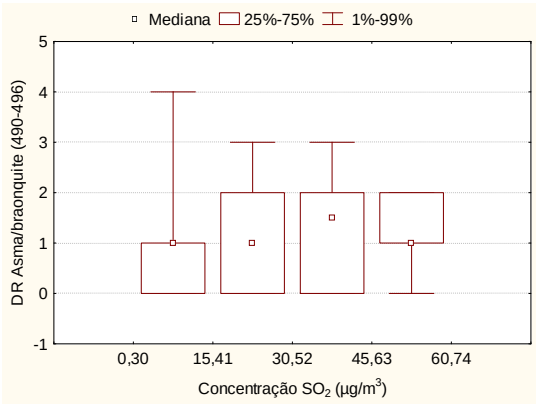
Aparentemente o Ozônio apresenta máximos de admissões em concentrações mais baixas tanto para as DR como para as DCV em estudo. Como já analisado no ponto 4.2.2. Ozônio varia de forma inversa com a precipitação e de forma direta com a temperatura. Estas duas variáveis meteorológicas são importantes fatores no estado das morbidades e das reações fotoquímicas entre o O_3 e seus precursores. Podendo assim as variáveis meteorológicas ter uma contribuição maior sobre o número de casos de doenças do que o O_3. Por outro lado, a maior frequencia de dias com concentrações mais baixas pode ser a explicação para o maior número de casos nas categorias de concentração menores. Enquanto que o número de dias com concentrações mais elevadas é menor não apresentando mais casos do que os intervalos de concentração inferior.

Os próximos gráficos da figura 4.24. apresentam o RR considerando o SO_2.

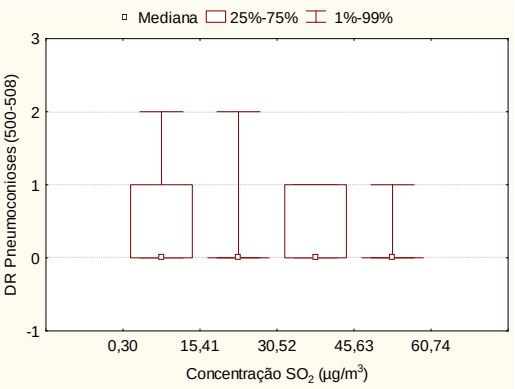


a)

b)



c)

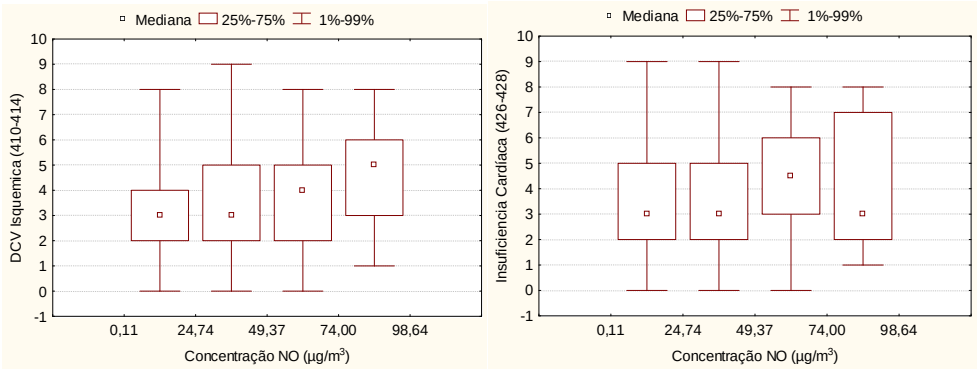


d)

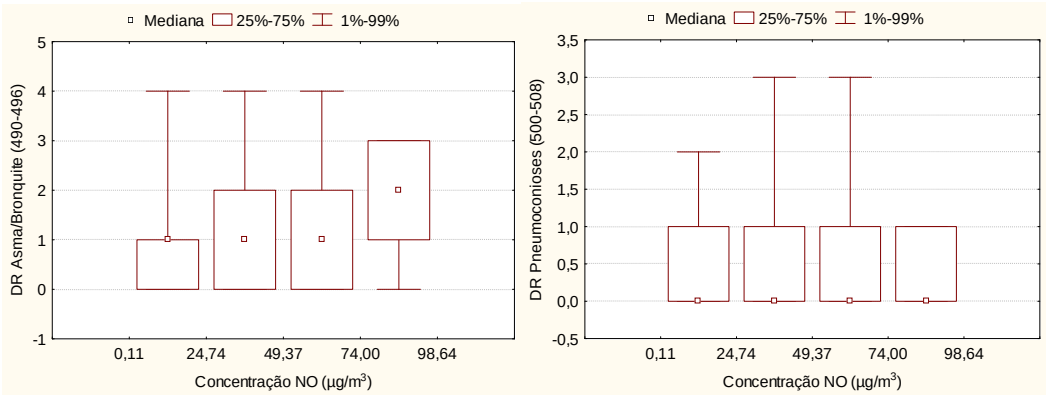
Figura 4.24. Distribuição em quantis para as doenças em estudo com concentrações crescentes de SO_2.

O RR apresentado pelo SO_2 à primeira vista parece variar de forma aleatória para cada doença. Contudo, se considerar só o quartil 25%-75% consegue-se fazer um generalização. Com exceção das DR Pneumoconioses, para valores crescentes de concentração o RR também aumenta pelo menos 150%. As DCV IQ apresentam acréscimo em mediana de 4 indivíduos entre o primeiro intervalo de concentrações e o último e o grupo da IC aumenta 2 indivíduos em mediana entre esses intervalos de concentração.

A análise do RR para o NO é baseada nos gráficos da figura 4.25..



a) b)

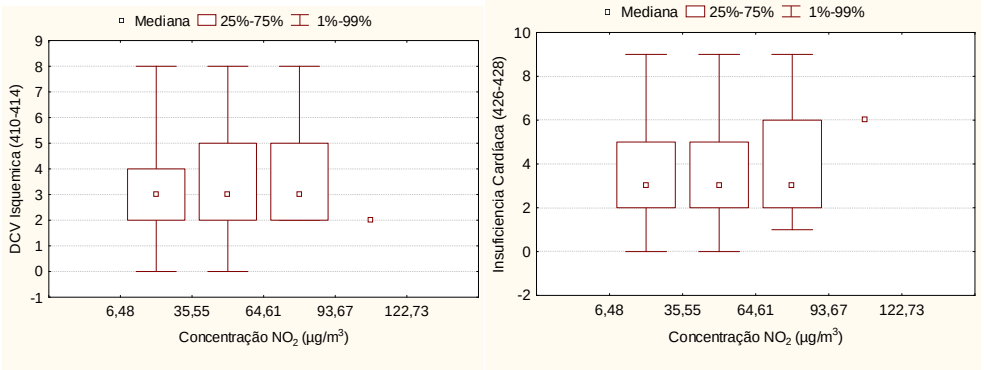


c) d)

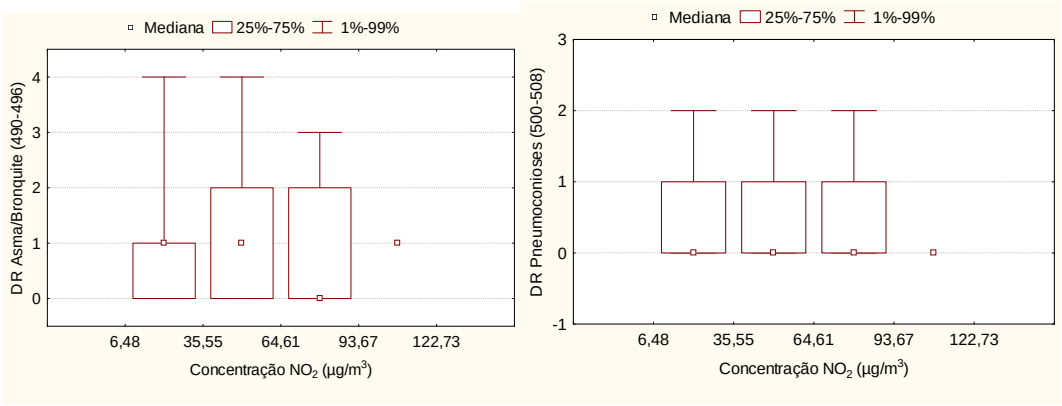
Figura 4.25. Distribuição em quantis para as doenças em estudo com concentrações crescentes de NO.

O aumento da concentração do poluente NO parece apresentar um RR crescente, especialmente, para o grupo das DCV IQ que apresenta aumento na mediana de 40%, entre o primeiro e último intervalo de concentrações, o grupo das IC mostra aumento no percentil 75% de 30% e no grupo das DR A/B o percentil 75% sofreu um aumento de 3 casos.

Os gráficos da figura 4.26. referem-se à análise de RR para o NO_2.



a) b)

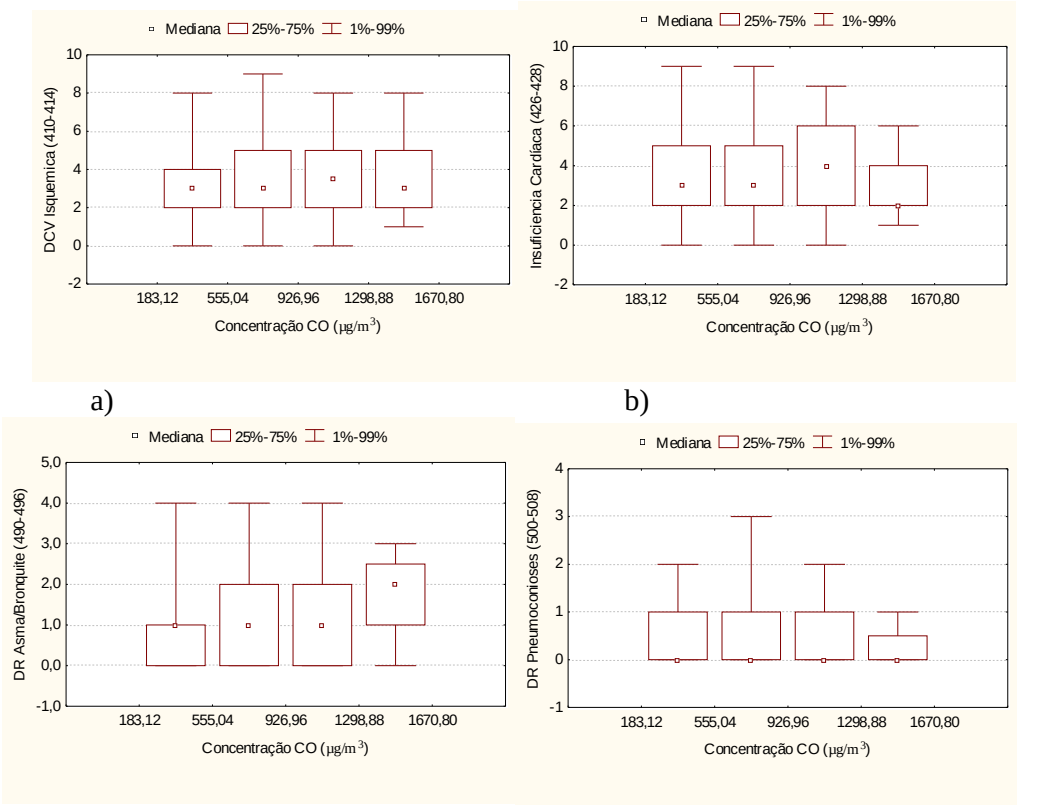


c) d)

Figura 4.26. Distribuição em quantis para doenças em estudo com concentrações crescentes de NO_2.

O caso de RR do NO_2 é idêntico ao do NO.

O conjunto de gráficos da figura 4.27. mostram os resultados da análise de RR com o poluente CO.



a) b)

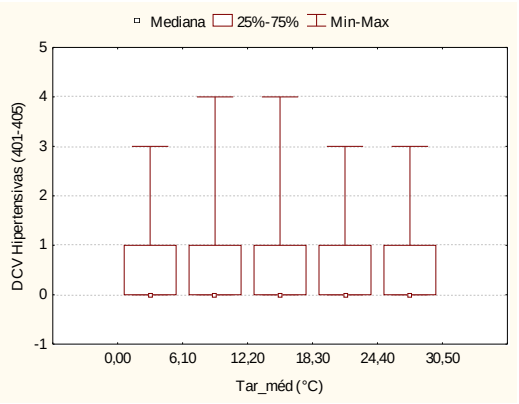
c) d)

Figura 4.27. Distribuição em quantis para doenças em estudo com concentrações crescentes de CO.

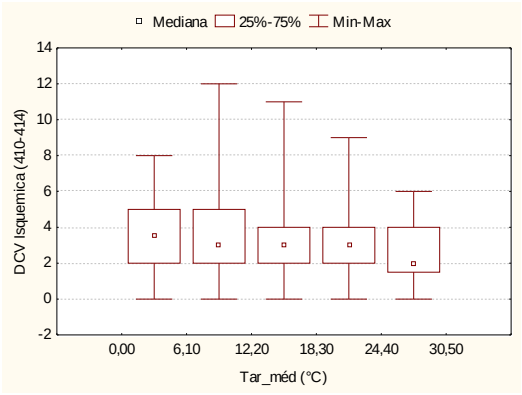
De uma forma generalizada, o RR perante o CO aumentou cerca de 20% em mediana nas DCV IQ e IC até ao terceiro intervalo de concentração (926,96-1298,88) e para o grupo das DR A/B aumentou 100% em mediana até ao último intervalo de concentrações.

4.1.6.2. Análise da distribuição em quantis de doenças vs. temperatura

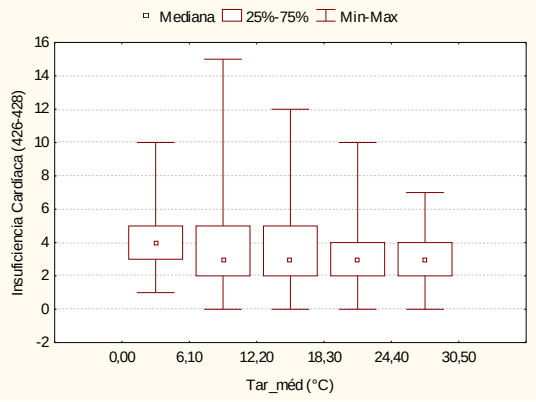
O conjunto de gráficos da figura 4.28. mostram o RR para a AMP para as categorias de Temperatura do ar média (Tar_méd), para intervalos de confiança de 95%.



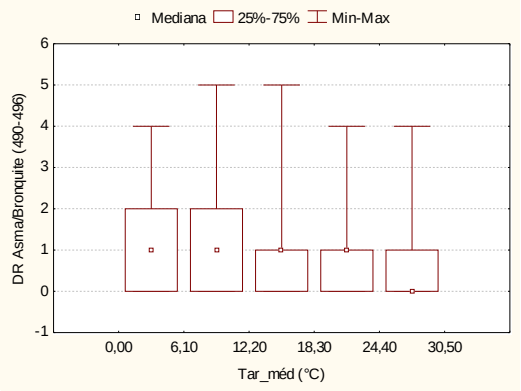
a)



b)



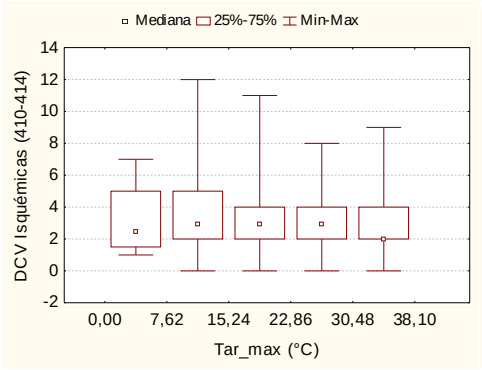
c)



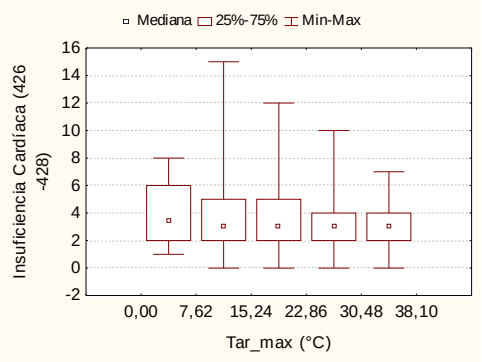
d)

Figura 4.28. Distribuição em quantis para os grupos de doenças respiratórias e cardiovasculares, com categorias crescentes de temperatura do ar média.

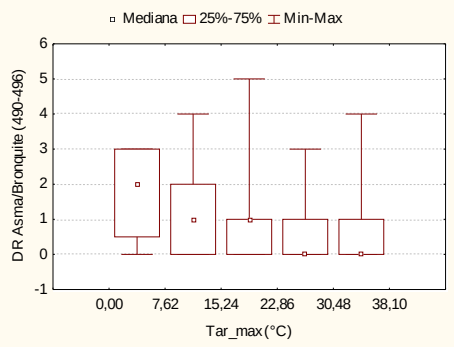
Dos gráficos anteriores o intervalo de temperatura que parece apresentar mais risco é o segundo 6,1 a 12,2 °C. Na AMP este intervalo de temperatura durante o inverno é o mais freqüente. Por outro lado, temperaturas abaixo de 6°C são mais frequentes durante a noite. Quando ocorrem temperaturas mais baixas que esse intervalo as pessoas tende a criar situações de conforto mais adequadas. Como ficar em casa ou em ambientes protegidos do frio. Quando são registradas temperaturas acima de 25°C, especialmente durante o verão, a sensação térmica fica dentro dos limites de conforto térmico para os habitantes, como considerado no ponto 4.1.2. Conforto Térmico. O que pode explicar o fato de o risco diminui em temperaturas mais altas (Figura 4.28.): o número de casos máximos de IQ e IC diminuem para metade e as DR A/B diminuem de 1 caso em mediana, considerando o segundo e último intervalos de temperatura. Se forem consideradas temperaturas máximas (Figura 4.29) o número de casos para A/B decresce 2 casos em mediana. Contudo, verifica-se que para temperaturas acima de 30°C, as DCV IQ e DR A/B apresentaram aumento do risco de 1 caso, o que para o grupo IQ representou aumento de 11% e para o grupo A/B de 25%.



a)



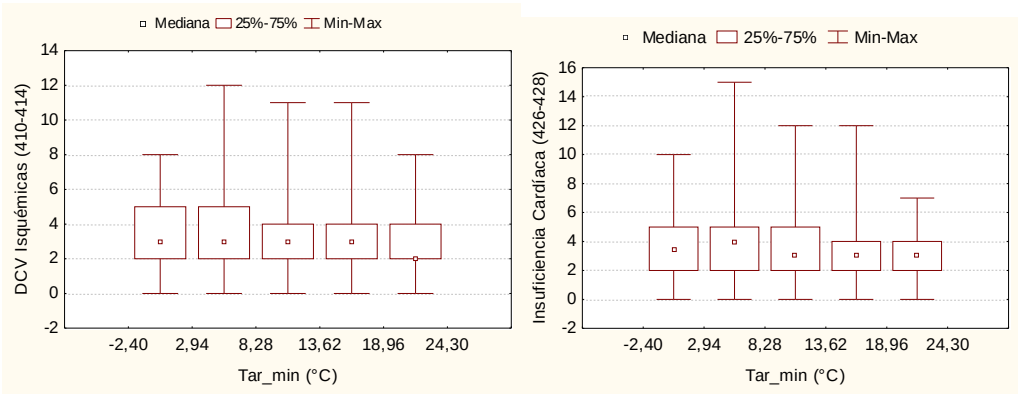
b)



c)

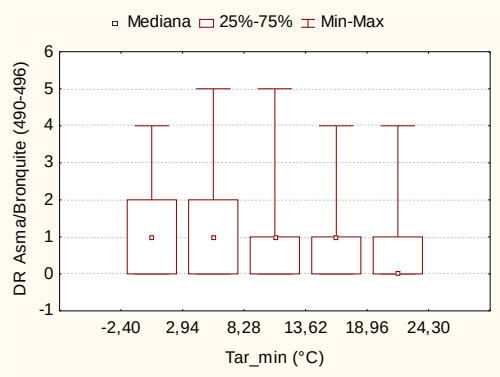
Figura 4.29. Distribuição em quantis para intervalos de temperatura do ar máxima e casos de doenças consideradas para o estudo entre 2002 e 2005.

Se forem considerados os máximos dos percentis é o segundo e terceiros intervalos que de forma geral apresentam maior risco. No entanto, se também for considerado o percentil entre 25-75% o risco para a DCV Isquêmica, Insuficiência cardíaca e DR Asma/Bronquite são mais elevados no primeiro intervalo de temperaturas. E isso é confirmado se forem consideradas as temperaturas mínimas como segue no próximo conjunto de gráficos da figura 4.30..



a)

b)



c)

Figura 4.30. Distribuição em quantis para intervalos de temperatura do ar mínima e casos de doenças consideradas para o estudo entre 2002 e 2005.

Mediante os dados observados acima se verificou que a população da AMP sofre com maior frequencia de stress devido às baixas temperaturas. A maioria dos casos para as doenças analisadas ocorre em temperaturas inferiores a 13°C. No entanto, também existe uma pequena porcentagem que sofre devido a altas temperaturas (ver gráficos em forma de U, a partir da Figura 4.32.), mas com menor frequencia porque as altas temperaturas também são mais raras.

O grupo das DCV Hipertensivas não mostrou resultados significativos com as variáveis de qualidade do ar nem com a temperatura. Contudo, apresenta risco quando se analisa esse grupo mediante a pressão atmosférica (Figura 4.31.).

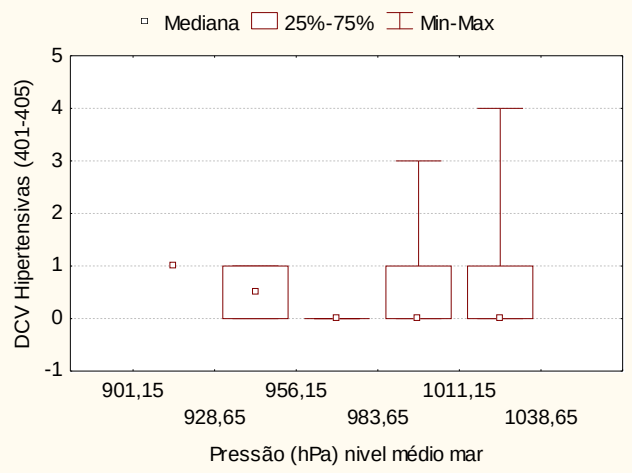


Figura 4.31. Distribuição em quantis para intervalos de pressão atmosférica e casos da doença cardiovascular Hipertensão consideradas para o estudo entre 2002 e 2005.

O gráfico em forma de U para o efeito da pressão sobre a Hipertensão denota que existe risco nos extremos de pressão. Abaixo de 930 hPa a mediana é 1 caso. Em 25% dos dias com pressão acima de 1010 hPa ocorreram entre 1 a 4 casos de HT, apesar da mediana ter sido zero.

Este tipo de gráfico em forma de U é conhecido na literatura há muito tempo (Danet et al., 1999). Sharovsky (2001) encontrou associação significativa, em forma de U, entre a temperatura e as mortes por doenças cardiovasculares em São Paulo. A menor mortalidade para o período de estudo de Sharovsky foi entre 21,6°C e 22,6°C, aumentando abaixo e acima desta faixa. Tendo em mente as condições térmicas estabelecidas por Fanger (1970) e os decis usados por Sharosvky em sua tese realizamos uma análise com os dados de internamento e sensação térmica pelo índice ID registrados para a AMP. Em vez de se utilizar a média de casos hospitalares utilizou-se a soma dos casos, já que a unidade fica mais clara. Os resultados para cada doença são observados das figuras 4.32. a 4.34., considerando intervalos de 2°C de sensação térmica utilizando o índice de desconforto térmico ID, com Temperatura do ar máxima (Tar_max) e umidade relativa mínima e doenças.

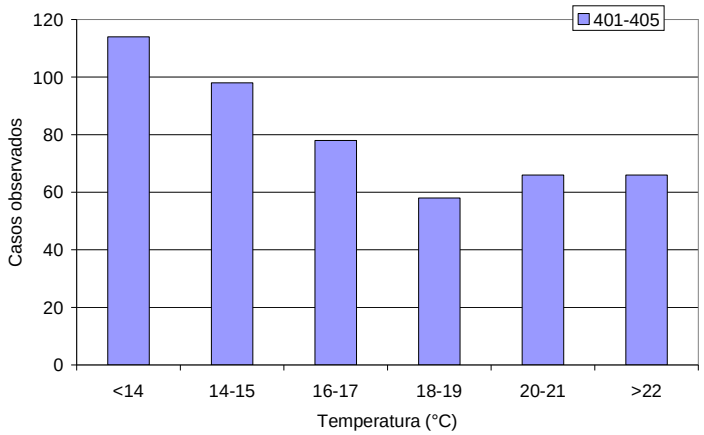


Figura 4.32. Soma diária de casos de Doenças Hipertensivas (401-405) registrados durante o período de 2002 a 2005, considerando os decis de temperaturas usados por Sharovsky (2001).

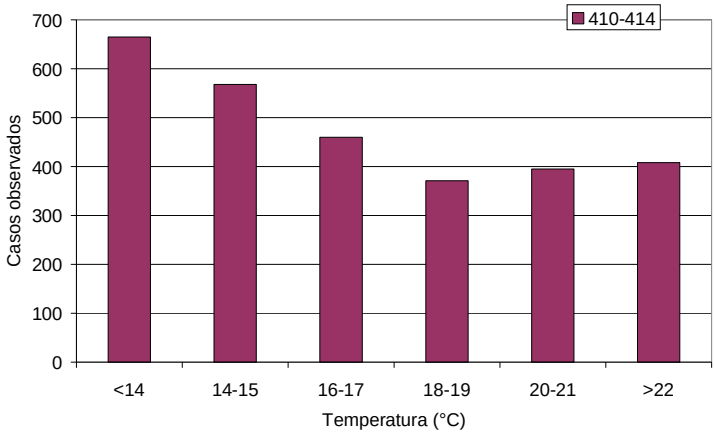


Figura 4.33. Soma diária de casos de DCV Isquêmica (410-414) registrados durante o período de 2002 a 2005, considerando os decis de temperaturas usados por Sharovsky (2001).

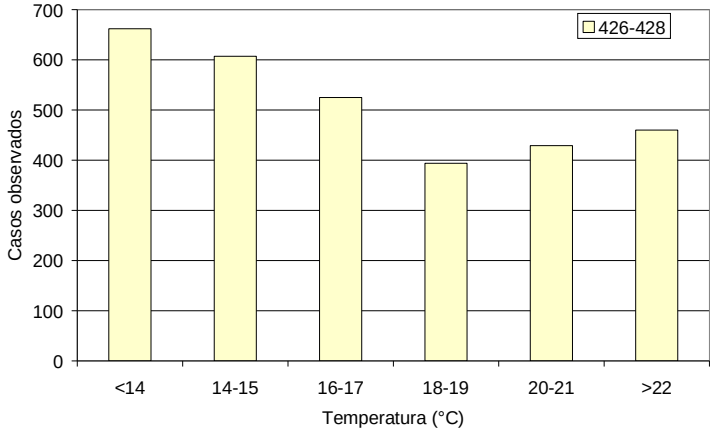


Figura 4.34. Soma diária de casos de Insuficiência cardíaca (426-428) registrados durante o período de 2002 a 2005, considerando os decis de temperaturas usados por Sharovsky (2001).

Para as doenças cardíacas verificou-se que a temperatura entre 18°C a 19°C é a que mostra menos casos indicando o conforto térmico nessa faixa de temperatura. Este intervalo é abaixo do encontrado por Sharovsky para São Paulo (22,6 e 23,8°C), o que parece normal tendo em consideração o clima de São Paulo ser diferente do de Portugal e já que também existem diferenças de temperatura mínimas e de sua frequencia. Por isso, um portuense considera a zona de conforto cerca de 4°C abaixo de um paulistano.

Se forem considerados somente os valores anuais para as mesmas doenças foram encontradas diferenças entre os anos que existiram temperaturas mais elevadas como 2003 e 2005 e os anos típicos como 2002 e 2004. A distribuição dos casos observados de internamento hospitalar pelos decis de temperatura fica sem a característica em U em alguns grupos de doenças, como mostra as figuras 4.35. e 4.36..

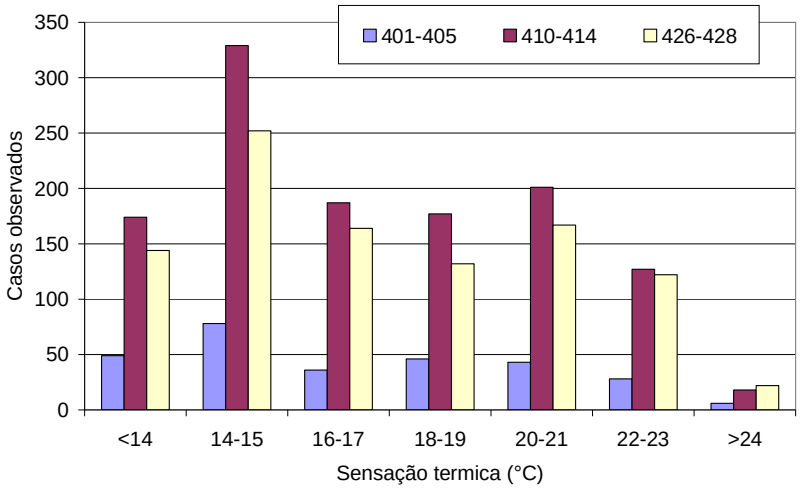


Figura 4.35. Distribuição de casos por decis de sensação térmica (ID Tar_máx Umin) para as DCV, ano de 2004.

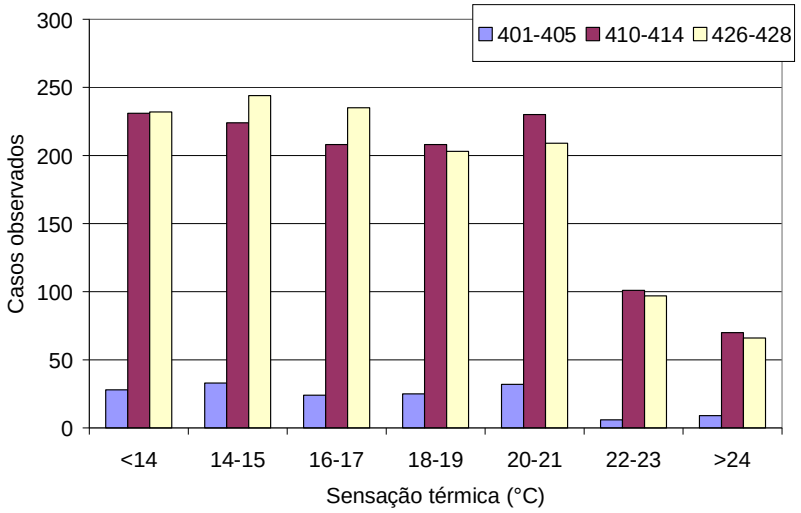


Figura 4.36. Distribuição de casos por decis de sensação térmica (ID Tar máx Umin) para as DCV, ano de 2003.

De acordo com Gonçalves et al., (2006) a relação entre as DCV, as variáveis meteorológicas e os índices térmicos é grande, principalmente por stress causado pelo frio. O resultado desse estudo para São Paulo mostrou que a mortalidade por doenças cardiovasculares são sazonais, o que também é verdade para a AMP. Para temperaturas abaixo de 16-17°C e acima de 19°C ocorrem mais casos de DCV.

Devido a essa variabilidade entre os anos atípicos de maiores valores de temperaturas e anos típicos existam dificuldades de encontrar correlações simples e multivariadas entre as variáveis considerando o período de estudo na íntegra.

Neste sentido, no próximo ponto as análises irão tratar as séries de forma mais isolada considerando períodos anuais ou sazonais para facilitar a compreensão das relações.

4.1.7. O impacto das variáveis meteorológicas e da qualidade do ar na morbidade

Além da qualidade do ar as condições meteorológicas influenciam os estados de morbidade. Considerando a multi-causalidade para cada doença os resultados acima obtidos podem ser considerados significantes. Mas, resta verificar o impacto de outras variáveis como as meteorológicas admitindo que muitas outras poderiam ser consideradas. Recorreu-se para isso a Análise de Componentes Principais (ACP) para avaliar a contribuição de cada variável para cada grupo de doenças. A análise é feita ano

a ano para se identificarem melhor as diferenças meteorológicas e de qualidade do ar e usando a técnica estatística da integração dos dados de 10 em 10 dias com vista a adquirir maior consistência nos resultados o que está de acordo com Bojariu e Gimeno (2003). Em seu estudo observaram que a flutuação atmosférica é intrinsecamente caótica e as anomalias térmicas e de pressão criadas na atmosfera são dependentes da perda radiativa e da turbulência de superficie na escala de tempo inferior a um mês. Os autores usaram dados de reanálise do NCEP-NCAR para o período de inverno boreal entre 1958-1997 e verificaram que a componente de alta frequencia da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) poderia ser interpretada como um processo estocástico com um intervalo de tempo de 9,5 dias. O intervalo de tempo curto indica que uma perturbação intrínseca dos parâmetros da OAN é limitada por períodos menores que alguns dias. Devido a este efeito memória, o índice da OAN e os parâmetros (precipitação, temperatura, pressão, umidade) que contribuem para o fenômeno podem não ter correlação. Por isso, foi feita integração das variáveis de 10 em 10 dias antes de se realizar a ACP. Os resultados da análise anual são apresentados com a permutação entre o conjunto das variáveis Temperatura do ar (Tar) e Umidade relativa (Ur) presentes sob a forma de índice de desconforto (ID) e em separado. Assim fica mais fácil identificar quais destas variáveis meteorológicas têm mais peso para a explicação da doença. Só serão apresentados resultados cujas comunalidades sejam superiores a 0,26.

Todos os resultados podem ser observados nas tabelas seguintes, começando com o ano de 2002 na Tabela 4.10. Onde se pode destacar no segundo fator, explicando 31% da variância, a associação negativa entre o ID Tmáx e as DCV HT e no primeiro fator essa mesma relação com os grupos das DCV IQ e das DR A/B, com 39% da variância explicada.

Tabela 4.10. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação padronizada para o máximo de variância, para 2002. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,10	**-0,77**	0,78
ID Tmax Urmin	**-0,54**	**0,53**	0,95
ID Tmin Urmax	**-0,54**	0,20	0,94
O_3	**-0,52**	**0,60**	0,75
PM_{10}	0,47	**0,81**	0,79
SO_2	0,20	**0,87**	0,72
NO	**0,97**	0,00	0,95
CO	**0,94**	-0,05	0,92
NO_2	**0,81**	0,31	0,83
DCV Hipertensivas (401-405)	0,20	**-0,51**	0,30
Expl.Var	3,63	3,06	
Prp.Totl	0,36	0,31	

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,24	**-0,69**	0,77
ID TmaxUrmin	**-0,65**	0,47	0,95
ID TminUrmax	**-0,58**	0,15	0,94
O_3	**-0,63**	**0,46**	0,75
PM_{10}	0,28	**0,89**	0,79
SO_2	0,01	**0,91**	0,72
NO	**0,94**	0,20	0,95
CO	**0,92**	0,15	0,93
NO_2	**0,70**	**0,51**	0,83
DC Isquêmicas (410-414)	**0,60**	-0,04	0,28
Expl.Var	3,88	2,88	
Prp.Totl	0,39	0,29	

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,22	**-0,70**	0,77
ID TmaxUrmin	**-0,69**	0,49	0,95
ID TminUrmax	**-0,64**	0,16	0,94
O_3	**-0,59**	0,47	0,77
PM_{10}	0,32	**0,89**	0,80
SO_2	0,05	**0,91**	0,74
NO	**0,92**	0,18	0,96
CO	**0,89**	0,13	0,93
NO_2	**0,69**	0,49	0,83
Asma/Bronquite (490-496)	**0,64**	0,01	0,51
Expl.Var	3,93	2,88	
Prp.Totl	0,39	0,29	

Ainda em 2002 as DCV Hipertensão (401-405) e Isquêmica (410-414), assim como o grupo das DR Asma/bronquite (490-496) tem associação positiva com o CO, óxido e dióxido de nitrogênio e negativa com o O_3 e o ID, no primeiro fator, com uma

variância explicada de 36% e 39%. Só o grupo das DCV HT mostrou associação negativa com o PM_{10} e o SO_2.

Analisando as variáveis temperatura e umidade em separado verifica-se que elas estruturam resultados diferentes, como segue na tabela 4.11..

Tabela 4.11. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2002. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,22	**-0,78**	0,67
Tar_méd	**-0,68**	0,15	0,48
O_3	**-0,58**	**0,63**	0,77
PM_{10}	0,42	**0,83**	0,80
SO_2	0,14	**0,83**	0,77
NO	**0,96**	0,05	0,94
CO	**0,95**	-0,01	0,92
NO_2	**0,83**	0,35	0,86
DCV Hipertensivas (401-405)	0,25	**-0,53**	0,34
Ur méd 2002	-0,20	**-0,78**	0,73
Expl.Var	3,67	3,42	
Prp.Totl	0,37	0,34	

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,29	**-0,73**	0,66
Tar_méd	**-0,71**	0,11	0,46
O_3	**-0,65**	**0,56**	0,78
PM_{10}	0,31	**0,88**	0,80
SO_2	0,02	**0,86**	0,77
NO	**0,94**	0,16	0,94
CO	**0,94**	0,10	0,92
NO_2	**0,76**	0,47	0,85
DC Isquêmicas (410-414)	**0,60**	-0,04	0,29
Ur méd 2002	-0,12	**-0,80**	0,73
Expl.Var	3,84	3,27	
Prp.Totl	0,38	0,33	

2002	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,27	**-0,74**	0,67
Tar_méd	**-0,78**	0,14	0,73
O_3	**-0,62**	**0,59**	0,77
PM_{10}	0,35	**0,86**	0,80
SO_2	0,07	**0,86**	0,79
NO	**0,93**	0,12	0,94
CO	**0,92**	0,07	0,92
NO_2	**0,76**	0,44	0,85
Asma/Bronquite (490-496)	**0,62**	0,02	0,62
Ur méd 2002	-0,13	**-0,80**	0,73
Expl.Var	3,89	3,25	
Prp.Totl	0,39	0,32	

As DCV Hipertensivas aparecem no segundo fator diretamente associadas com a precipitação e umidade e de forma negativa com o Ozônio, PM_{10} e SO_2, com 34 % da variância explicada. Os grupos das DR Asma/bronquite e DCV Isquêmicas mantêm o mesmo padrão de associação positiva para os poluentes e precipitação, no primeiro fator, explicando 38% e 39% da variância, e negativa com a temperatura. O que está de acordo com os resultados encontrados no ponto anterior '4.1.6.2.', no qual se identificou risco entre este grupo de doenças e temperaturas mais baixas. **Note que há casos de relações inversas, demonstrando que aumento das concentrações estão negativamente associadas a internações. Isto se deve ao fato de que o "bom tempo" mesmo com concentrações elevadas tem um efeito benéfico.**

.

Para o ano de 2003 encontraram-se algumas diferenças como mostra a tabela 4.12., onde DCV HT estão associadas de forma inversa com a temperatura e o ozônio. E no segundo fator, de forma direta com a umidade e precipitação e os poluentes NO e CO, com 32% da variância explicada. O grupo das IC e A/B aparecem associadas positivamente com os mesmos poluentes no primeiro fator com 33% e 35% da variância explicada, respectivamente, mas negativamente com a temperatura e ozônio.

Tabela 4.12. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2003. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	0,09	**0,68**	0,63
Tar_méd	0,08	**-0,82**	0,77
O_3	0,11	**-0,70**	0,53
PM_{10}	**-0,82**	-0,37	0,82
SO_2	**-0,51**	-0,22	0,46
NO	**-0,77**	**0,55**	0,94
CO	**-0,77**	**0,61**	0,97
NO_2	**-0,91**	0,03	0,88
DCV Hipertensivas (401-405)	0,18	**0,53**	0,26
Ur méd 2003	**0,50**	**0,64**	0,67
Expl.Var	3,26	3,18	
Prp.Totl	0,33	0,32	

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**0,65**	-0,29	0,63
Tar_méd	**-0,86**	0,16	0,83
O_3	**-0,66**	0,09	0,54
PM_{10}	-0,14	**0,90**	0,83
SO_2	-0,03	**0,52**	0,39
NO	**0,73**	**0,59**	0,94
CO	**0,79**	**0,57**	0,97
NO_2	0,26	**0,88**	0,87
Insuficiência Cardíaca (426-428)	**0,54**	0,09	0,43
Ur méd 2003	0,45	**-0,67**	0,69
Expl.Var	3,33	3,09	
Prp.Totl	0,33	0,31	

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_ mm	**0,67**	-0,27	0,67
Tar_méd	**-0,86**	0,14	0,81
O_3	**-0,64**	0,06	0,52
PM_{10}	-0,18	**0,90**	0,82
SO_2	-0,12	**0,53**	0,58
NO	**0,71**	**0,61**	0,94
CO	**0,77**	**0,60**	0,97
NO_2	0,25	**0,89**	0,87
Asma/Bronquite (490-496)	**0,74**	-0,04	0,67
Ur méd 2003	0,44	**-0,64**	0,69
Expl.Var	3,55	3,11	
Prp.Totl	0,35	0,31	

Neste ano podem-se observar os efeitos positivos que a diminuição da concentração do SO_2 teve a partir de 2003, como indicado no ponto '4.1.3. Distribuição das concentrações de cada poluente'.

Se considerarmos as variáveis Tar e Ur juntas através do calculo do índice ID obtemos os resultados seguinte (Tabela 4.13.). Onde se encontrou os grupos das DCV HT e IC no primeiro fator com variância explicada de 36% e 38%, respectivamente, associados diretamente com a precipitação, NO e CO e de forma inversa com o ozônio e o ID. O grupo das DR A/B também apresentou as mesmas associações com variância explicada de 41%.

Tabela 4.13. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2003. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,71**	-0,17	0,67
ID TmaxUrmin	**0,92**	0,04	0,98
ID TminUrmax	**0,88**	-0,10	0,98
O_3	**0,56**	-0,12	0,50
PM_{10}	0,33	**0,85**	0,82
SO_2	0,18	**0,54**	0,55
NO	**-0,58**	**0,74**	0,95
CO	**-0,65**	**0,74**	0,98
NO_2	-0,09	**0,89**	0,84
DCV Hipertensivas (401-405)	**-0,50**	-0,23	0,26
Expl.Var	3,61	3,01	
Prp.Totl	0,36	0,30	

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**0,70**	-0,24	0,67
ID TmaxUrmin	**-0,95**	0,13	0,98
ID TminUrmax	**-0,93**	-0,02	0,98
O_3	**-0,50**	-0,11	0,51
PM_{10}	-0,26	**0,88**	0,83
SO_2	-0,09	**0,51**	0,50
NO	**0,61**	**0,70**	0,95
CO	**0,68**	**0,69**	0,98
NO_2	0,14	**0,89**	0,84
Insuficiência Cardíaca (426-428)	**0,62**	0,07	0,43
Expl.Var	3,81	2,90	
Prp.Totl	0,38	0,29	

2003	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**0,70**	-0,22	0,71
ID TmaxUrmin	**-0,93**	0,11	0,98
ID TminUrmax	**-0,91**	-0,04	0,98
O_3	-0,49	-0,13	0,50
PM_{10}	-0,28	**0,87**	0,82
SO_2	-0,17	**0,53**	0,64
NO	**0,61**	**0,72**	0,95
CO	**0,68**	**0,70**	0,98
NO_2	0,16	**0,88**	0,84
Asma/Bronquite (490-496)	**0,81**	-0,03	0,67
Expl.Var	4,05	2,91	
Prp.Totl	0,41	0,29	

Segundo a análise em pontos anteriores, os grupos das DCV Hipertensivas e Insuficiência Cardíaca tiveram relações distintas com as variáveis em estudo se for considerado o período completo. Mas para o ano de 2003 verificou-se que o grupo das Hipertensivas (401-405) aparece positivamente associado à umidade, precipitação e aos poluentes CO e NO e negativamente com o ID, assim como, o grupo Insuficiência Cardíaca (426-428). Neste ano ao contrário de 2002, o grupo das DR Asma/bronquite aparece positivamente associado com a precipitação e negativamente com a temperatura, o que indica a diferença interanual e como conseqüência diferentes impactos meteorológicos sobre a saúde.

Para o ano de 2004 realizaram-se os mesmo procedimentos estatísticos, mas incorporando a série de $PM_{2,5}$, disponível a partir deste ano (Tabela 4.14.). Os resultados revelam as DCV HT e as DR A/B no primeiro fator com 39% e 42%, respectivamente, de variância explicada com associação direta com todos os poluentes, exceto o SO_2.

Tabela 4.14. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2004. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	-0,04	**-0,69**	0,57
Tar_méd	**-0,69**	0,27	0,79
O_3	**-0,65**	**0,62**	0,92
PM_{10}	**0,54**	**0,79**	0,92
SO_2	-0,18	**0,79**	0,63
NO	**0,94**	0,11	0,93
CO	**0,97**	0,16	0,98
NO_2	**0,68**	**0,65**	0,94
$PM_{2,5}$	**0,68**	**0,62**	0,89
DCV Hipertensivas (401-405)	**0,55**	-0,09	0,60
Ur med 2004	0,09	**-0,62**	0,77
Expl.Var	4,28	3,42	
Prp.Totl	0,39	0,31	

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	-0,18	**0,68**	0,58
Tar_méd	**-0,58**	-0,40	0,79
O_3	-0,49	**-0,75**	0,90
PM_{10}	**0,71**	**-0,64**	0,92
SO_2	0,04	**-0,79**	0,63
NO	**0,94**	0,11	0,93
CO	**0,98**	0,07	0,98
NO_2	**0,82**	-0,47	0,94
$PM_{2,5}$	**0,81**	-0,43	0,89
Asma/Bronquite (490-496)	**0,61**	0,06	0,41
Ur med 2004	0,04	**0,69**	0,72
Expl.Var	4,66	3,11	
Prp.Totl	0,42	0,28	

A temperatura aparece com associação negativa. Estes resultados enfatizam a importância da temperatura na morbidade respiratória e cardiovascular.

Se a temperatura e umidade foram incorporadas no ID os resultados ainda para 2004 são os seguinte (Tabela 4.15.). Onde as variâncias são explicadas no segundo fator com 36% (HT), 34% (IQ), 32% (IC).

Tabela 4.15. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2004. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,58**	0,23	0,50
ID TmaxUrmin	0,02	**-0,87**	0,97
ID TminUrmax	-0,11	**-0,83**	0,97
O_3	0,17	**-0,74**	0,85
PM_{10}	**0,97**	0,06	0,93
SO_2	**0,65**	**-0,57**	0,68
NO	**0,58**	**0,70**	0,93
CO	**0,61**	**0,76**	0,98
NO_2	**0,89**	0,29	0,94
$PM_{2,5}$	**0,89**	0,27	0,89
DCV Hipertensivas (401-405)	0,11	**0,60**	0,51
Expl.Var	4,05	3,96	
Prp.Totl	0,37	0,36	

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,56**	-0,23	0,66
ID TmaxUrmin	-0,03	**0,90**	0,97
ID TminUrmax	-0,15	**0,84**	0,96
O_3	0,12	**0,71**	0,86
PM_{10}	**0,97**	0,00	0,92
SO_2	**0,61**	**0,62**	0,71
NO	**0,63**	**-0,63**	0,96
CO	**0,66**	**-0,72**	0,98
NO_2	**0,91**	-0,25	0,94
$PM_{2,5}$	**0,91**	-0,21	0,91
DC Isquêmicas (410-414)	0,06	**-0,52**	0,74
Expl.Var	4,15	3,77	
Prp.Totl	0,38	0,34	

2004	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**0,50**	0,38	0,50
ID TmaxUrmin	0,19	**-0,87**	0,97
ID TminUrmax	0,30	**-0,79**	0,96
O_3	0,03	**-0,70**	0,85
PM_{10}	**-0,95**	-0,18	0,92
SO_2	-0,49	**-0,70**	0,68
NO	**-0,74**	**0,54**	0,94
CO	**-0,78**	**0,59**	0,98
NO_2	**-0,93**	0,09	0,94
$PM_{2,5}$	**-0,93**	0,06	0,88
Insuficiência Cardíaca (426-428)	0,11	**0,54**	0,44
Expl.Var	4,44	3,49	
Prp.Totl	0,40	0,32	

Desta maneira as doenças aparecem inversamente associadas com a temperatura dada pela sensação térmica do índice ID e com o ozônio e SO_2. E de forma positiva com

o NO e CO. Como observado no ponto ‘4.1.3.’ durante o verão deste ano houve um aumento da concentração de SO_2, por isso, este poluente aparece aqui diretamente relacionado com a temperatura no segundo fator.

Em 2005 foi possível obter os seguintes resultados expressos nas tabelas 4.16 e 4.17.. Primeiro com as variáveis temperatura e umidade em separado. Onde se verifica a relação direta no segundo fator das doenças cardíacas com o NO, NO_2 e CO e negativa com a temperatura. As DC IQ aparecem com variância explicada de 27% e IC de 30%.

Tabela 4.16. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2005. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,73**	0,18	0,76
Tar_méd	0,23	**-0,84**	0,95
O_3	-0,04	-0,30	0,67
PM_{10}	**0,94**	0,07	0,97
SO_2	**0,73**	-0,19	0,69
NO	0,28	**0,90**	0,88
CO	**0,50**	**0,83**	0,97
NO_2	0,74	**0,56**	0,94
$PM_{2,5}$	**0,90**	0,21	0,93
DC Isquêmicas (410-414)	-0,22	0,44	0,45
Ur med 2005	**-0,72**	-0,16	0,75
Expl.Var	4,27	2,96	
Prp.Totl	0,39	0,27	

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,74**	0,17	0,75
Tar_méd	0,25	**-0,84**	0,95
O_3	-0,04	-0,25	0,70
PM_{10}	**0,93**	0,12	0,97
SO_2	**0,74**	-0,16	0,69
NO	0,25	**0,89**	0,88
CO	0,46	**0,85**	0,98
NO_2	**0,72**	**0,59**	0,94
$PM_{2,5}$	**0,89**	0,24	0,93
Insuficiência Cardíaca (426-428)	-0,15	**0,70**	0,58
Ur med 2005	-0,73	-0,17	0,75
Expl.Var	4,18	3,28	
Prp.Totl	0,38	0,30	

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_quant mm	**-0,73**	0,14	0,76
Tar_méd	0,23	**-0,83**	0,95
O_3	-0,01	-0,30	0,66
PM_{10}	**0,93**	0,12	0,97
SO_2	**0,75**	-0,19	0,70
NO	0,25	**0,92**	0,88
CO	0,47	**0,85**	0,97
NO_2	**0,74**	**0,54**	0,94
$PM_{2,5}$	**0,88**	0,26	0,92
Asma/Bronquite (490-496)	-0,07	**0,68**	0,53
Ur med 2005	**-0,75**	-0,09	0,77
Expl.Var	4,20	3,23	
Prp.Totl	0,38	0,29	

As DR A/B seguiram o mesmo conjunto de associações que as DCV e com variância explicada de 29%.

Na tabela 4.17. são apresentados os resultados de ACP para o ano de 2005, mas com o índice ID. Apesar da variância continuar a ser explicada no segundo fator, esta é mais alta que na tabela 4.16. onde se tratou o mesmo ano, mas sem o índice (com temperatura e umidade em separado). O grupo IQ apresenta variância explicada de 32%, IC de 35% e A/B de 35%.

Tabela 4.17. Análise fatorial por Componentes Principais e Comunalidades com Rotação normalizada para o máximo de variância, para 2005. Os valores a **negrito** indicam associação igual ou superior a 0,50.

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,62**	0,21	0,70
ID TmaxUrmin	0,21	**-0,93**	0,97
ID TminUrmax	-0,02	**-0,94**	0,97
O_3	-0,21	-0,12	0,71
PM_{10}	**0,95**	-0,12	0,97
SO_2	**0,69**	-0,28	0,65
NO	0,47	**0,80**	0,86
CO	**0,65**	**0,72**	0,98
NO_2	**0,84**	0,39	0,91
$PM_{2,5}$	**0,93**	0,04	0,92
DC Isquêmicas (410-414)	-0,20	**0,50**	0,48
Expl.Var	4,12	3,47	
Prp.Totl	0,37	0,32	

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,65**	0,18	0,70
ID TmaxUrmin	0,28	**-0,91**	0,97
ID TminUrmax	0,05	**-0,94**	0,97
O_3	-0,2	-0,1	0,71
PM_{10}	**0,95**	-0,04	0,96
SO_2	**0,72**	-0,23	0,65
NO	0,42	**0,82**	0,86
CO	**0,59**	**0,77**	0,98
NO_2	**0,81**	0,46	0,90
$PM_{2,5}$	**0,92**	0,1	0,93
Insuficiência Cardíaca (426-428)	-0,08	**0,74**	0,58
Expl.Var	4	3,83	
Prp.Totl	0,36	0,35	

2005	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
Prec_mm	**-0,66**	0,11	0,70
ID TmaxUrmin	0,34	**-0,89**	0,97
ID TminUrmax	0,11	**-0,93**	0,97
O_3	-0,17	-0,15	0,68
PM_{10}	**0,95**	0,03	0,96
SO_2	**0,74**	-0,21	0,65
NO	0,35	**0,87**	0,88
CO	**0,53**	**0,81**	0,98
NO_2	**0,78**	0,47	0,90
$PM_{2,5}$	**0,91**	0,18	0,92
Asma/Bronquite (490-496)	-0,01	**0,67**	0,47
Expl.Var	3,90	3,84	
Prp.Totl	0,35	0,35	

O ano de 2005 segue o mesmo tipo de relação entre as doenças e os poluentes, NO e CO que 2004. Neste ano, assim como nos anteriores, com este tipo de relação não foi possível encontrar relação entre o PM_{10} e as doenças. Este poluente será exaustivamente analisado em períodos de tempo menores, no ponto '4.3. Estudo de Casos', onde se entenderá melhor a sua influência.

Assim como em 2002, para 2004 e 2005 as DR Asma/bronquite não aparecem relacionadas no mesmo fator que a precipitação.

A introdução do $PM_{2,5}$ na análise de 2004 e 2005 fez aumentar estatisticamente a relação das doenças com o SO_2, como houve diminuição expressiva da concentração de SO_2 a partir de 2003 este assim não deve ter relação causa-efeito fisiológica com as doenças, superior á relação que tinha em 2002 ou 2003.

A análise de componentes identifica que a população da área metropolitana do Porto sente **agravos às doenças cardiovasculares e respiratórias Asma/bronquite**

por influência, principalmente, dos poluentes NO, NO_2 e CO, da precipitação e da temperatura. Inclusive em 2004 achou-se associação positiva entre as DCV Hipertensão e as DR Asma/bronquite com o $PM_{2,5}$.

No próximo ponto será feita a análise sazonal para tentar identificar se estas relações se mantêm ou aumentam em determinadas épocas do ano.

4.2. Análise sazonal

Como verificado na análise descritiva no ponto anterior (4.1.1), alguns poluentes mostraram variações sazonais bem definidas.

Este capítulo será dividido nas 4 estações do ano, contendo, assim, somente a análise das séries correspondentes a esse período para os 4 anos de estudo. Em cada estação do ano serão avaliadas todas as variáveis em conjunto, temporalmente correlacionadas. Para esta análise de regressão não foi considerada a precipitação, mas é considerada a umidade relativa como parte da variável sensação térmica para cada estação. A relação da precipitação com as doenças e as outras variáveis foi identificada de forma geral no ponto anterior com a ACP e também, será analisada com detalhe no ponto '4.3. Estudo de casos', relacionada principalmente com os poluentes.

4.2.1. Primavera

Para a análise do período da primavera incluíram-se os meses de abril a junho de cada ano. A Primavera do clima Mediterrânico apresentou valores de temperatura ligeiramente crescentes durante o período de estudo (como evidenciado pelo aumento de dias com temperaturas mais altas de conforto térmico no ponto 4.1.2.) e períodos de precipitação decrescentes e de menor intensidade que no inverno, como mostra a figura 4.37..

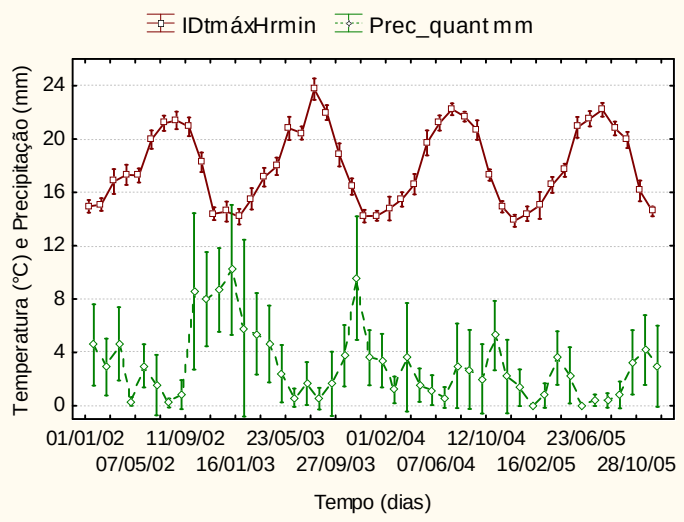


Figura 4.37. Sensação térmica pelo índice de desconforto (ID) e precipitação ao longo do período de estudo de 2002 a 2005, em intervalos de confiança de +/-95% em torno do ponto médio.

A análise de regressão múltipla permite avaliar o peso que um conjunto de fatores independentes tem sobre a doença selecionada. Somente os casos de regressão múltipla com valores de significância foram colocados nas tabelas seguintes.

A tabela 4.18. mostra a influência de diferentes variáveis sobre as doenças cardiovasculares HT

Tabela 4.18. Sumário de regressão múltipla, para os meses de Primavera, para a variável dependente: DCV Hipertensivas (401-405); R=0,0359 R^2= 0,129; R^2(ajustado)=0,076 F(9,149)=2,45 p<0,01243 ; erro padrão estimado: 0,755. Os valores em negrito são significativos para a regressão.

N=159	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(149)	p
Intercepto			**2,531**	**0,781**	**3,24**	**0,001**
O_3	-0,099	0,143	-0,003	0,005	-0,70	0,488
PM_{10}	**0,860**	**0,212**	**0,037**	**0,009**	**4,07**	**0,000**
SO_2	-0,127	0,105	-0,018	0,015	-1,21	0,228
NO	-0,011	0,202	-0,002	0,029	-0,05	0,956
CO	-0,223	0,173	-0,002	0,001	-1,29	0,199
NO_2	-0,022	0,235	-0,001	0,015	-0,09	0,927
$PM_{2,5}$ Vermoim	-0,300	0,176	-0,015	0,009	-1,71	0,090
ID Tmin Urmáx	0,127	0,149	0,030	0,036	0,85	0,395
ID TmáxUrmin	**-0,360**	**0,155**	**-0,105**	**0,045**	**-2,32**	**0,022**

É nesta estação que existe a polinização de vários tipos de vegetais, aumentando a dispersão de material particulado orgânico, como o pólen. Este fato pode contribuir para

a relação forte (Beta=0.860) da doença com o PM_{10}, indicando que existe um grande aumento de casos por esta doença associados ao aumento deste particulado, na denominada febre-do-feno, típica de latitudes médias (Tromp, 1980). Por outro lado, a relação com o ID Tmáx Urmin é negativa (Beta =-0,360) indicando que em temperaturas altas há menos casos e vive-versa.

A Insuficiência cardíaca mostrou-se relacionada com o NO (Tabela 4.19.).

Tabela 4.19. Sumário da regressão múltipla, para a Primavera, para a variável dependente: Insuficiência Cardíaca (426-428); R=0,0272 R^2=0,074; R^2 (ajustado)=0,018; F(9,149)=1,32 p<0,232; Erro padrão estimado: 2,03. Os valores em negrito são significativos para a regressão.

	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(149)	p
Intercepto			**4,797**	**2,096**	**2,29**	**0,024**
O_3	0,198	0,147	0,018	0,013	1,34	0,181
PM_{10}	-0,133	0,218	-0,015	0,024	-0,61	0,543
SO_2	-0,143	0,109	-0,052	0,039	-1,32	0,190
NO	**0,510**	**0,208**	**0,187**	**0,077**	**2,45**	**0,015**
CO	-0,322	0,178	-0,007	0,004	-1,80	0,074
NO_2	0,113	0,242	0,019	0,041	0,46	0,643
$PM_{2,5}$ Vermoim	-0,073	0,181	-0,010	0,024	-0,40	0,689
ID tmin Urmáx	0,194	0,154	0,121	0,096	1,26	0,210
IDtmáxUrmin	-0,178	0,160	-0,135	0,122	-1,11	0,270

Durante o período da primavera a correlação múltipla entre as variáveis (R) foi pequena para ambas as DCV HT e IC. Os coeficientes de correlação R^2ajustado, o qual considera a redução no total de variações da variável independente devido às suas variações mediantes o número de graus de liberdade, apesar de serem baixos são os melhores entre os resultados encontrados para este período.

No próximo ponto é feita a análise somente com os meses de verão de 2002 a 2005.

4.2.2. Verão

Selecionaram-se os meses de julho a setembro de cada ano para a análise do período de verão, porque são estes meses que apresentam uma climatologia, geralmente, típica do verão do clima mediterrânico. O verão mediterrânico é uma estação considerada seca e apresenta as temperaturas mais elevadas do ano. No entanto, a precipitação ocorre com alguma intensidade em determinados dias (Figura 4.38.).

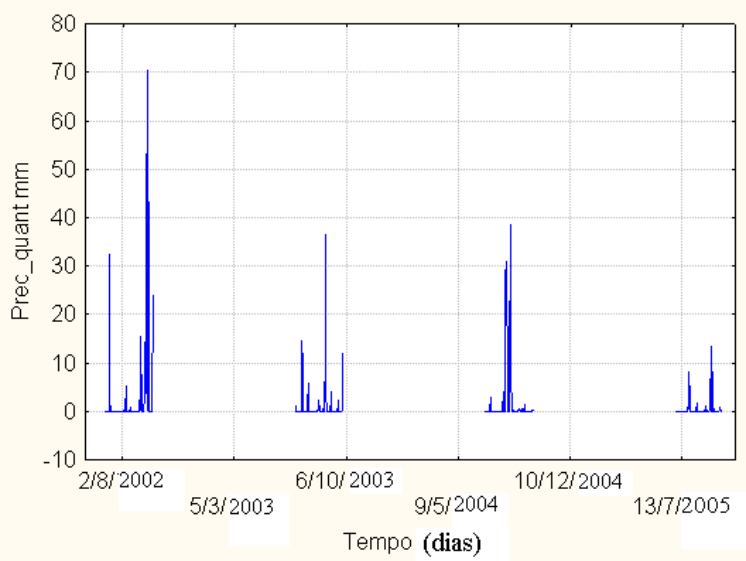


Figura 4.38. Precipitação entre julho e setembro para o período de estudo (2003-2005).

Pelo gráfico anterior observa-se que a intensidade da precipitação diminuiu significativamente em 2005 cerca de 86% em relação ao verão de 2002 e 78% em relação a 2004 (Tabela 4.20.). Segundo a climatologia (1971-2000) para estes meses de verão o total médio é de 116 mm. Então, em 2005 precipitou só 33,6 % desse valor e em 2002 precipitou 141% mais que a média.

Tabela 4.20. Precipitação total durante os meses de verão (julho-setembro) para cada ano

Ano	2002	2003	2004	2005
Precipitação total (mm)	280,3	114,9	183	39,1

Apesar de haver alguma precipitação durante o verão, em geral, durante o dia na zona costeira e beira mar, o céu está limpo e nas horas de maior insolação, o vento é forte de norte, conhecido pela 'nortada', descrita no ponto '2.1. Clima'.

Além deste fenômeno localizado, principalmente, na região norte do país, existe também em escala sinótica o vento de leste, devido à ação do anticiclone dos Açores. Por sua vez, o vento vindo de leste é seco e quente, favorecendo a propagação de incêndios em matas e florestas (Ver anexo I), freqüentes nesta altura do ano. Este conjunto de fatores é propício ao aumento de poluentes fotoquímicos primários e secundários (O_3) quando diminui a nebulosidade.

No caso do período de estudo, nos meses de verão, o O_3 esteve associado com a insuficiência cardáca (426-428) (Beta= -0,194) e doenças respiratórias do grupo das asma/bronquite (490-496) (Beta= 0,18) (Tabelas 4.21. e 4.22.).

Tabela 4.21 Sumario da regressão múltipla, para o Verão, para a variável dependente: Insuficiência Cardíaca (426-428) R=0,304; R^2=0,0923; R^2(ajustado)=0,039; F(9,153)=1,73, p<0,086; Erro padrão estimado: 1,680. Valores significativos de regressão em **negrito**.

N=163	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(153)	p
Intercepto			3,699	2,364	1,56	0,120
O_3	**-0,194**	**0,087**	**-0,009**	**0,004**	**-2,23**	**0,027**
PM_{10}	0,202	0,217	0,013	0,014	0,93	0,353
SO_2	-0,071	0,098	-0,020	0,028	-0,72	0,470
NO	-0,241	0,149	-0,055	0,034	-1,62	0,107
CO	0,082	0,196	0,001	0,002	0,42	0,676
NO_2	0,327	0,200	0,039	0,024	1,63	0,104
$PM_{2,5}$ Vermoim	-0,301	0,211	-0,022	0,015	-1,43	0,155
ID tmin Urmáx	-0,141	0,124	-0,113	0,099	-1,14	0,257
IDtmáxUrmin	0,022	0,120	0,026	0,141	0,19	0,853

Segundo o resultado a IC tem relação com p< 0,050 e inversa com o O_3, isto é, verifica-se um aumento de casos quando ocorre diminuição de ozônio. Apesar de ser tratar de uma doença cardíaca, assim como, nas doenças respiratórias a baixa concentração de ozônio em períodos prolongados pode ter um efeito nefasto, como explicado mais adiante neste ponto. Além disso, este tipo de doença é multi-causal, isto é, a origem da Insuficiência Cardíaca pode ser um problema respiratório agravado.

No caso das DR Asma/bronquite a relação com esse poluente é positiva com Beta=0,18 (Tabela. 4.22.) indicando que quando o ozônio aumenta existe também um pequeno aumento de casos.

Tabela 4.22. Sumário de regressão múltipla, para o Verão, para a variável dependente: Asma/Bronquite (490-496); R=0,253 R^2=0,064; R^2 ajustado= 0,0022; F(10,152)=1,035; p<0,417; Erro padrão estimado:0,890. Os valores em **negrito** são significativos para a regressão.

N=163	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(146)	p
Intercepto			0,57	1,37	0,41	0,68
O_3	**0,18**	**0,09**	**0,00**	**0,00**	**1,99**	**0,05**
PM_{10}	0,12	0,23	0,00	0,01	0,51	0,61
SO_2	-0,00	0,10	-0,00	0,01	-0,03	0,97
NO	0,07	0,16	0,01	0,02	0,45	0,65
CO	0,01	0,20	0,00	0,00	0,06	0,95
NO_2	-0,02	0,21	-0,00	0,01	-0,10	0,92
$PM_{2,5}$ Vermoim	-0,15	0,22	-0,01	0,01	-0,69	0,49
ID Tmáx Urmáx	-0,34	0,20	-0,10	0,06	-1,68	0,09
ID Tmin Urmáx	0,02	0,13	0,01	0,05	0,15	0,88
ID Tmáx Urmin	0,16	0,19	0,10	0,11	0,86	0,39

Alguns estudos (Jaffe et al., 2003; Moura, et al. 2008; Brito, 2007) têm encontrado associação positiva entre altas concentrações de O_3 e admissões hospitalares. No entanto, existem também algumas publicações que mostram resultados entre concentrações baixas de ozônio e de morbidade negativas. Por exemplo, Ritchie e Lener (2004) mostraram que há associação negativa do ozônio com a asma nas crianças em Indianópolis, mas não encontraram os mesmos resultados para Londres, México Vancouver, entre outras cidades. Por isso, os resultados são um pouco contraditórios. Segundo Joseph (2007), estes resultados podem estar relacionado com a emissão de metil-nitrito das combustões de metil-éteres ou ésteres na ignição de combustíveis. O metil-nitrito é conhecido por ser altamente tóxico e intimamente relacionada com os alquil-nitritos, os quais induzem a sensibilidade no trato respiratório humano (Joseph, 2002). Considerando que a luz é essencial para que as reações fotoquímicas de oxidação do ozônio se realizem, a provável explicação para os diferentes resultados encontrados para o O_3 pode ser a existência de nitritos que facilmente desaparecem com a radiação solar (Joseph, 2007). Em dias com baixa radiação solar as concentrações de O_3 também são baixas e as de metil-nitritos são altas. Então a baixa concentração de ozônio em dias de baixa radiação solar são indicativos de altas concentrações de nitritos. Por isso, a relação negativa do ozônio e positiva do NO e NO_2 com as doenças. Neste sentido, é esperado um efeito mais agudo dos nitritos sobre as doenças em períodos de outono quando existe maior cobertura de nuvens, como será visto no próximo ponto.

4.2.3. Outono

Durante o Outono (outubro a dezembro) o período de exposição solar é substancialmente reduzido. Inicia-se o período de chuvas. Na analise climatológica de 1971-2000 a precipitação total média foi de 491,1 mm entre outubro e dezembro. Para o período de estudo a precipitação teve intensidade diferente como se pode observar na tabela 4.23.. Em 2002 e 2003 precipitou mais que a média 60% e 5,5%, respectivamente, e em 2004 e 2005 precipitou menos que a média 33,2% e 32,3%, respectivamente.

Tabela 4.23. Precipitação durante o outono (outubro-dezembro) de cada ano de estudo.

Ano	2002	2003	2004	2005
Precipitação (mm)	784,4	518,1	328	332,6

As temperaturas máximas e mínimas decrescem gradualmente. Contudo, nesta estação por cerca de uma semana ocorre o "Verão de São Martinho", expressão regional, utilizada em alguns países da Europa para designar a sucessão de dias mais quentes, que ocorrem na primeira quinzena de novembro, próximo ao dia de São Martinho (11 de novembro).

Mediante estas características meteorológicas, durante o outono o NO mostrou ser o melhor preditor das DCV Isquêmicas (Tabela 4.24.). O Beta para esta relação foi de 0,30, $p<0,050$.

Tabela 4.24. Sumário de regressão múltipla, para o Outono, para a variável dependente: DCV Isquêmicas (410-414) R= 0,183; R^2=0,0333; F(9,201)=0,771, p<0,643; Erro padrão estimado: 2,01. Os valores em **negrito** são significativos para a regressão.

N=211	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(201)	p
Intercepto			**5,708**	**1,609**	**3,55**	**0,000**
O_3	0,009	0,075	0,001	0,007	0,12	0,903
PM_{10}	0,043	0,225	0,003	0,018	0,19	0,850
SO_2	-0,060	0,093	-0,031	0,048	-0,65	0,519
NO	**0,310**	**0,153**	**0,032**	**0,016**	**2,02**	**0,044**
CO	-0,259	0,188	-0,002	0,002	-1,38	0,170
NO_2	-0,004	0,163	-0,001	0,023	-0,02	0,980
$PM_{2,5}$ Vermoim	-0,033	0,163	-0,003	0,014	-0,20	0,838
ID tmin Urmáx	0,127	0,139	0,074	0,081	0,92	0,360
IDtmáxUrmin	-0,174	0,141	-0,142	0,115	-1,24	0,218

A Insuficiência Cardíaca também revelou ser melhor predita pelos poluentes NO (0,28) e NO_2 (0,42) (Tabela 4.25.).

Tabela 4.25. Sumário de regressão múltipla, para o Outono, para a variável dependente Insuficiência Cardíaca (426-428): R=0,31699617 R^2=0,100; R^2(ajustado)=0,0602 F(9,201)=2,495, p<,01005; Erro Padrão estimado: 1,980. Os valores em **negrito** são significativos para a regressão.

N=211	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(201)	p
Intercepto			3,072	1,586	1,940	0,054
O_3	-0,084	0,072	-0,008	0,007	-1,160	0,248
PM_{10}	-0,191	0,217	-0,015	0,017	-0,880	0,380
SO_2	-0,108	0,089	-0,057	0,048	-1,200	0,230
NO	**0,283**	**0,148**	**0,030**	**0,016**	**1,910**	**0,057**
CO	**-0,361**	**0,182**	**-0,003**	**0,002**	**-1,990**	**0,048**
NO_2	**0,417**	**0,157**	**0,060**	**0,023**	**2,660**	**0,008**
$PM_{2,5}$ Vermoim	0,119	0,157	0,011	0,014	0,760	0,447
ID tmin Urmáx	0,049	0,134	0,029	0,080	0,370	0,715
IDtmáxUrmin	0,016	0,136	0,014	0,113	0,120	0,904

4.2.4. Inverno

Durante o inverno (considerado janeiro a março) ocorrem as temperaturas máximas e mínimas mais baixas do ano. Em geral, é a estação com maior precipitação (Tabela 4.26.). Climatologicamente (1970-2000) tem um total médio para este conjunto de meses de 387,2 mm. O que representa que em 2002, 2004 e 2005 observou 7,1%, 36,5% e 74,2% menos precipitação em relação à média, respectivamente e em 2003 houve 39,4% mais precipitação em relação à média climatológica.

Tabela 4.26. Precipitação total para o período de inverno (janeiro-março) de cada ano em estudo.

Ano	2002	2003	2004	2005
Precipitação total (mm)	359,60	539,60	246,00	99,7

Contudo, podem acontecer fenômenos de bloqueio à passagem de frentes que tornem o inverno atípico, ocorrendo inversão térmica, como foi o caso do inverno de 2004/2005. Como se pode verificar no gráfico da Figura 4.39., ocorreram longos períodos de seca durante o inverno.

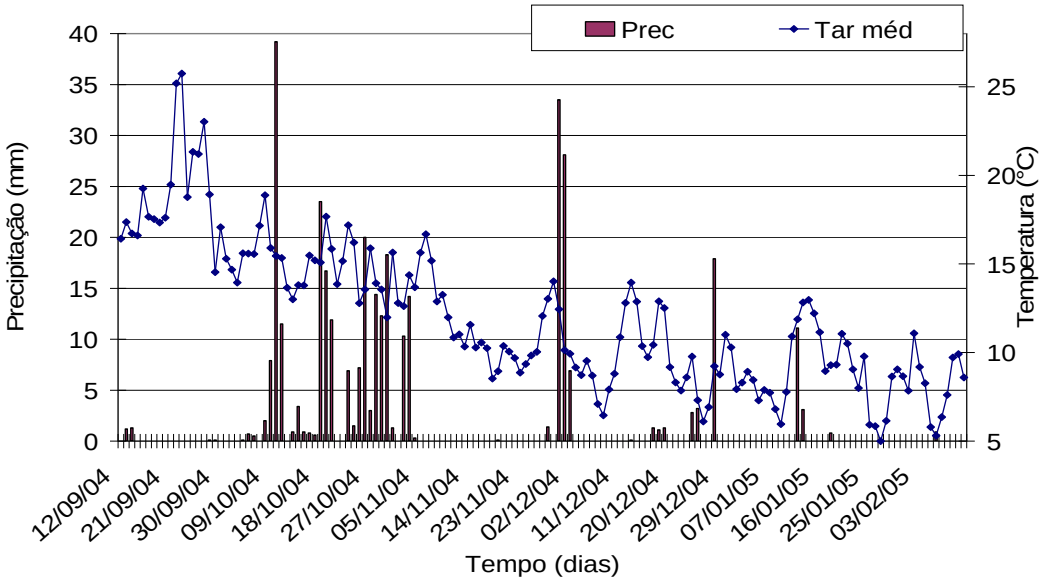


Figura 4.39. Gráfico termo-pluviométrico diário. Precipitação (Prec) representada pelas barras e Temperatura média do ar (Tar méd) pela linha.

Realizou-se análise de regressão múltipla para identificar a relação entre as séries temporais durante todos os invernos em estudo (2002-2005) (Tabelas 4.27 e 4.28.).

Tabela 4.27. Sumário de regressão múltipla, para o Inverno, para a variável dependente: DCV Isquêmica (410-414); R=0,193; R^2=0,037; R^2(ajustado)=0,0025; F(9,248)=1,071, p<0,384, Erro padrão estimado:1,93. Os valores em **negrito** são significativos para a regressão.

N=258	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(248)	p
Intercepto			**3,860**	**1,391**	**2,77**	**0,006**
O_3	**0,164**	**0,080**	**0,014**	**0,007**	**2,05**	**0,041**
PM_{10}	-0,275	0,158	-0,021	0,012	-1,74	0,083
SO_2	-0,042	0,088	-0,023	0,048	-0,48	0,631
NO	0,139	0,159	0,013	0,015	0,87	0,384
CO	-0,081	0,183	-0,001	0,001	-0,44	0,659
NO_2	0,094	0,144	0,013	0,020	0,65	0,516
$PM_{2,5}$ Vermoim	0,181	0,139	0,014	0,011	1,30	0,196
ID tmin Urmáx	-0,005	0,089	-0,003	0,057	-0,06	0,954
IDtmáxUrmin	-0,046	0,087	-0,052	0,098	-0,53	0,597

Tabela 4.28. Sumário de regressão múltipla, para o inverno, para a variável dependente: DR Pneumoconioses (500-507); R=0,229; R^2=0,0496; R^2(ajustado)=0,0152; F(9,248)=1,441, p<0,171; erro padrão estimado: 0,73. Os valores em **negrito** são significativos para a regressão.

N=258	Beta	Erro padrão de Beta	B	Erro padrão de B	t(248)	p
Intercepto			-0,183	0,523	-0,351	0,726
O_3	**0,166**	**0,079**	**0,005**	**0,002**	**2,095**	**0,037**
PM_{10}	-0,156	0,157	-0,004	0,004	-0,998	0,319
SO_2	0,016	0,088	0,003	0,018	0,186	0,853
NO	0,230	0,158	0,008	0,006	1,453	0,147
CO	-0,126	0,182	-0,000	0,001	-0,691	0,490
NO_2	-0,061	0,144	-0,003	0,008	-0,427	0,670
$PM_{2,5}$ Vermoim	0,132	0,138	0,004	0,004	0,954	0,341
ID tmin Urmáx	0,108	0,088	0,026	0,022	1,224	0,222
IDtmáxUrmin	0,060	0,086	0,026	0,037	0,698	0,486

Durante esta estação o ozônio também foi o poluente com o qual algumas doenças parecem ter associação. Os valores de R que identificam a relação múltipla entre as variáveis são em torno dos 20%.

Não se encontraram valores de significância para o PM_{10} como se verifica em outros estudos deste tipo. Uma possível explicação é que a forte influência da variabilidade do ozônio versus NO_x provoca um viés no peso que seria atribuído ao PM_{10}. Por outro lado, o PM_{10} apresenta picos elevados somente em eventos meteorológicos específicos que não aconteceram em todos os anos, mas acontecem, especialmente, no inverno e na primavera como inversões térmicas. Segundo o gráfico 4.7. do ponto '4.1.3. Distribuição de poluentes' a maior porcentagem (mais de 75% dos casos) de concentrações são inferiores a 60 $\mu g/m^3$. Logo, é natural que as concentrações não tenham impacto significativo no agravo das morbidades em estudo no resto do ano. Já que esse valor corresponde ao índice de qualidade classificado como 'médio'. O que corresponde a situações meteorológicas com características agradáveis, em que as pessoas muito sensíveis devem limitar as atividades ao ar livre, segundo Agencia Portuguesa do Ambiente (APA).

Em pontos seguintes serão feitos filtros e análises específicas de períodos em que ocorreram extremos como 'temperaturas muito elevadas no verão' e 'ausência de precipitação durante o inverno', com o objetivo de se retirar informação sobre o impacto das variáveis durante esses períodos.

4.3. Estudos de caso

Neste ponto do trabalho serão considerados estudos de casos relativos a períodos curtos e específicos para análise. O objetivo é retirar mais informação dos dados e identificar relações que não foi possível observar com períodos longos, os quais por vezes contem séries com informações que se anulam ao longo do tempo devido à sua grande variabilidade.

4.3.1. Eventos extremos

Primeiramente trataremos de *eventos extremos*. Segundo a Organização mundial de Meteorológica (site: http://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_en.html), riscos naturais são eventos meteorológicos e climáticos severos e extremos que ocorrem em qualquer parte do mundo. Além disso, a mesma fonte salienta que os riscos naturais tornam-se desastres naturais quando as vidas das pessoas e seus bens são destruídos. De acordo com Nogueira *et al*. (2005) por exemplo, em Portugal durante a onda de calor de 2003 houve 37,7% de excesso de mortes, o que representou 41,5% das mortes nacionais. Nos pontos anteriores os 4 anos de estudo apresentaram diferenças meteorológicas sazonais importantes. Além disso, registraram-se alguns anos em que a precipitação e temperatura estiveram acima ou abaixo dos valores médios climatológicos normais. Períodos de 'muito calor' ou 'ausência de precipitação no inverno', isto é, eventos meteorológicos atípicos dentro da climatologia dita normal para a área em estudo, foram designados por *eventos extremos*. Não se designaram período de 'onda de calor' ou 'seca' porque para a área em estudo não chegaram a cumprir o número de dias especificado (de acordo com a definição utilizada pelo Instituto de Meteorologia de Portugal (2005), ocorre uma onda de calor quando, num intervalo de pelo menos seis dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5 ºC ao valor médio diário no período de referência) para obter essa designação.

Neste ponto da tese, isolaram-se esses eventos extremos que ocorreram no verão de 2003 e 2005 (período de temperaturas acima da média máxima normal) e no inverno de 2004/2005 (inversão térmica, com diminuição de precipitação), para uma análise mais detalhada com o objetivo de se identificar o impacto desses eventos na qualidade do ar e na saúde pública. Desta forma, colocaram-se como variáveis independentes as

meteorológicas e como variáveis dependentes os poluentes e os grupos de doenças respiratórias e cardiovasculares.

4.3.1.1. Verão

Assim como em pontos anteriores para este ponto os meses de verão são julho a setembro. Primeiro são observados os valores médios gerais para estes meses e depois serão selecionados os meses de agosto de 2003 e 2005 para uma análise mais restrita.

Considerando somente os meses de verão (julho a setembro) as condições meteorológicas médias foram observadas na tabela 4.29.

Tabela 4.29. Temperaturas média (méd), máxima (máx) e mínima (min) do ar (Tar) e umidade relativa (Ur) nos meses de verão entre 2002- 2005.

Verão	Tar_méd	Tar_máx	Tar_min	UR_méd	Ur min
Média julho-setembro	19,3 °C	24,3 °C	15,0 °C	73,7 %	58,4 %

Considerando o conjunto de valores diários máximos de temperatura para o período de verão observamos valores médios decrescentes para cada ano (Figura 4.40.).

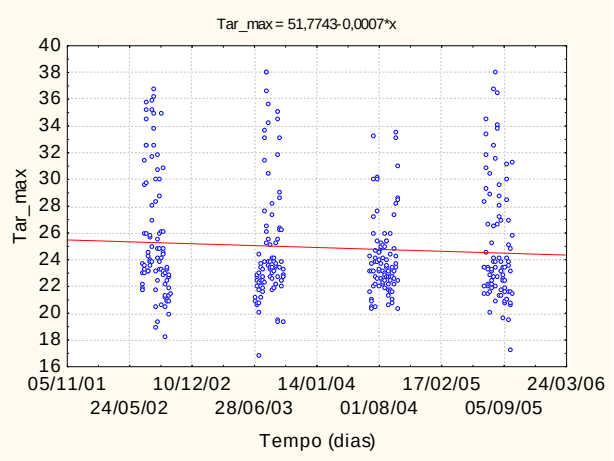


Figura 4.40. Valores máximos de temperatura do ar para o período de julho-setembro de 2002 a 2005.

Durante o período de estudo ocorreram ondas de calor em 2003 e 2005. A mais grave em termos de casos de morbidade e mortalidade associada a temperaturas elevadas foi a onda de calor ocorrida em agosto de 2003 que afetou vários países da Europa (Montero, 2010). No entanto, o gráfico das temperaturas não reflete essa

realidade. Por isso, escolheu-se um índice de conforto em vez do valor de temperatura do ar para representar a sensação térmica e se poder comparar com a escala de conforto.

A figura 4.41. mostra valores extremos de sensação térmica H durante os meses de verão (julho a setembro) e observa-se que em 2005 os valores extremos foram mais elevados que em 2003. Segundo a classificação deste índice H valores acima de 30 °C são considerados 'desconfortaveis'.

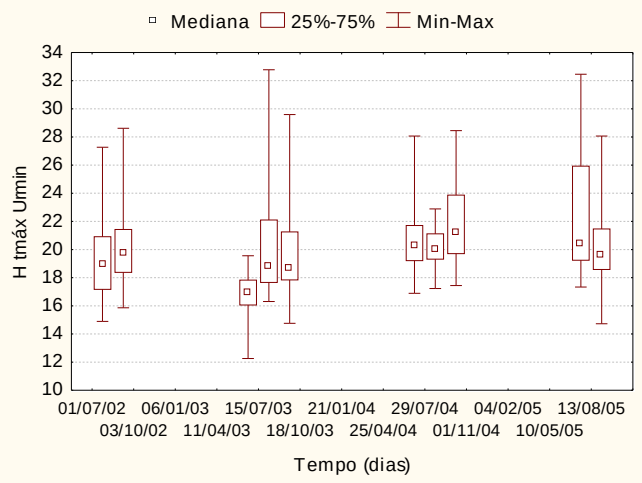
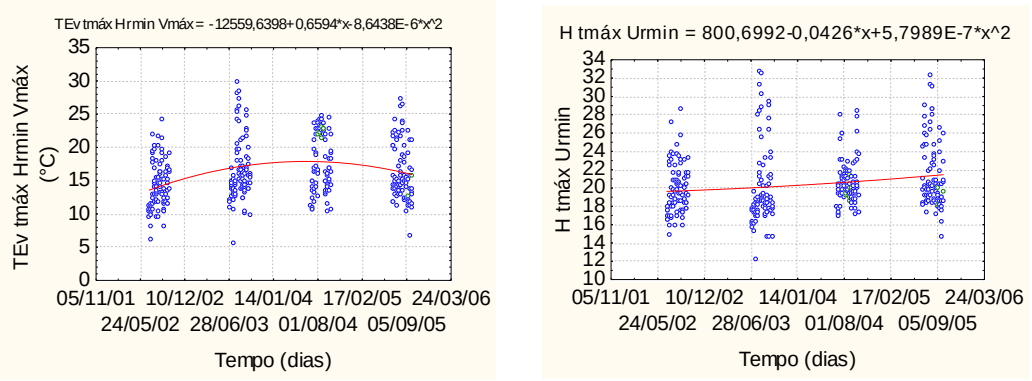


Figura 4.41. Valores extremos de sensação térmica considerando o índice de conforto térmico Humidex (H) durante os meses de verão do período em estudo.

Em anos que ocorreram ondas de calor como 2003 e 2005 são notórios os máximos de sensação térmica dados pelo índice H. A mediana para a sensação térmica nos meses de verão não passa os 25°C, mas existem valores máximos superiores.

Considerando ainda nos meses de verão os índices de conforto térmico Tev e H, observa-se um aumento gradual da sensação térmica durante o período de estudo (Figura 4.42.). Através do índice TEv é possível identificar que 2003 e 2004 a sensação térmica média foi superior à de 2002 e 2005. Enquanto que, no índice H que não leva em consideração a velocidade do vento não se consegue identificar essa variação.



a) b)

Figura.4.42. Dados de dois índices de conforto térmico (Temperatura efetiva, TEv (a)) e Humidex , H (b))) durante os meses de verão entre 2002 e 2005 e linhas polinomiais de pontos médios a vermelho

Em ambos os casos os valores pontuais mais elevados de sensação térmica ocorreram em 2003 e 2005 como seria de esperar por causa das ondas de calor.

Segundo Lecha (1998) se o número de admissões hospitalares forem superiores a 150% da média do mês significa que naquele dia as condições ‘meteor-trópicas’ tiveram impacto sobre a saúde da população. Nas séries de admissões hospitalares existem vários dias com admissões acima 150% da média mensal em diferentes períodos e outros tantos sem admissões. Possivelmente, devido ao impacto de outras variáveis. O que torna inviável considerar essa regra para realizar o estudo de impacto meteor-trópico sobre a população.

Foi, por isso, considerado o período (em 2003 e 2005) em que se registraram temperaturas máximas 150% acima da temperatura média para os períodos de verão do estudo.

Em 2003 foram encontrados vários dias de temperaturas acima da marca estabelecida (Figura 4.43.).

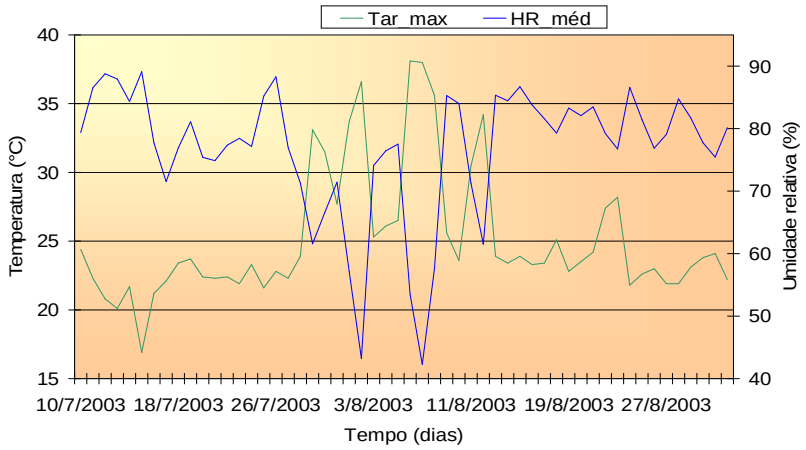


Figura 4.43. Período em que a temperatura máxima esteve vários dias 150% acima da média e a umidade relativa abaixo da média, de 1 a 18 de agosto de 2003.

Para o conjunto de dias que ficam dentro do intervalo de dias com temperaturas acima de 150% da temperatura média para o período de verão (notar que se registraram picos de até 38°C) foram registradas as seguintes correlações da tabela 4.30..

Tabela 4.30. Correlação (r) entre séries de grupos de doenças e temperatura do ar máxima (Tar máx), Umidade relativa (Ur) e Pressão, durante o período entre o dia 1 e 18 de agosto de 2003. **Em negrito** valores de r iguais ou superiores a 0,30.

Corr. 1 a 18 ago/2003	DCV HT	DCV IQ	IC	A/B	DR P
Temp max	**-0,30**	-0,02	-0,06	**0,31**	**0,49**
Ur min	**0,33**	0,05	0,06	**-0,37**	**-0,45**
Pressão	-0,06	0,00	**-0,47**	**-0,53**	-0,13

O grupo das doenças Hipertensivas (401-405), assim como, das DR Asma/bronquite (490-496) e Pneumoconioses (500-507) mostraram associação com a Temperatura e Umidade relativa.

No ano de 2005 verificou-se que também existiu um período idêntico de temperaturas elevadas e umidade relativa baixa (Figura 4.44.).

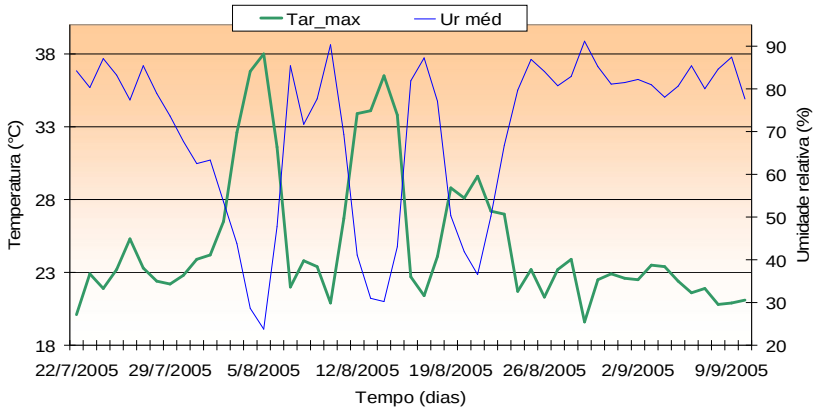


Figura 4.44. Período em que a temperatura máxima esteve vários dias 150% acima da média e a umidade relativa abaixo da média, de 3 a 21 de agosto de 2005.

Utilizando o mesmo método de corte realizou-se a analise de correlação entre as variáveis meteorológicas e os casos de admissão hospitalar (Tabela 4.31.).

Tabela 4.31. Correlação (r) entre séries de grupos de doenças e temperatura do ar Max (Tar máx), Umidade relativa (Ur) e Pressão, durante o período entre o dia 1 e 18 de agosto de 2005. Em **negrito** valores de r iguais ou superiores a 0,25.

Corr. 3 a 21 de ago/2005	DCV HT	DCV IQ	IC	A/B	DR P
Temp max	-0,11	**-0,29**	-0,06	-0,03	**0,41**
Ur méd	0,01	0,13	0,07	-0,07	**-0,25**
Pressão	**-0,27**	**-0,41**	-0,02	0,10	0,07

Para o período de 2005 os valores de correlação não foram tão elevados como em 2003. O que está de acordo com o fato de as temperaturas e o número de dias de mais calor em 2005 serem menores que em 2003. Nas regiões afetadas pela onda de calor, segundo o Instituto de Meteorologia Português (site: http://www.meteo.pt/export/sites/default/bin/docs/tecnicos/bc_dc_00_09.pdf), em 2005 a onda de calor durou menos tempo (9 dias) que a de 2003 (entre 16 a 17 dias), o que justifica que o seu impacto também tivesse sido menor.

4.3.1.2. Distribuição temporal e espacial do Material Particulado durante eventos os 'extremos de calor' de 2003 e 2005

Antes da análise sinótica do comportamento do PM_{10} e $PM_{2,5}$ nos períodos de muito calor em 2003 e 2005 será dada a visão geral da sua distribuição quantitativa

durante o período de verão entre 2002 e 2005. A figura 4.45. mostra o PM_{10} e $PM_{2,5}$ durante os meses de verão (julho-setembro) ao longo do período de estudo. Em 2002 e 2004 a maioria dos valores médios ponderados observados situa-se abaixo dos 60µg/m^3. Enquanto que, em 2003 e, principalmente em 2005 os valores médios ponderados dispersaram-se até aos 80µg/m^3 e em 2005 ocorreram vários dias com valores médios acima dos 120µg/m^3. Durante os meses de verão observaram-se 12 valores médios ponderados acima de 100µg/m^3 e 33 acima de 80µg/m^3. Em 2005 puderam-se observar 7 dias com concentrações de $PM_{2,5}$ acima de 80 µg/m^3, enquanto que em 2004 somente existiu um dia (Figura 4.45.)

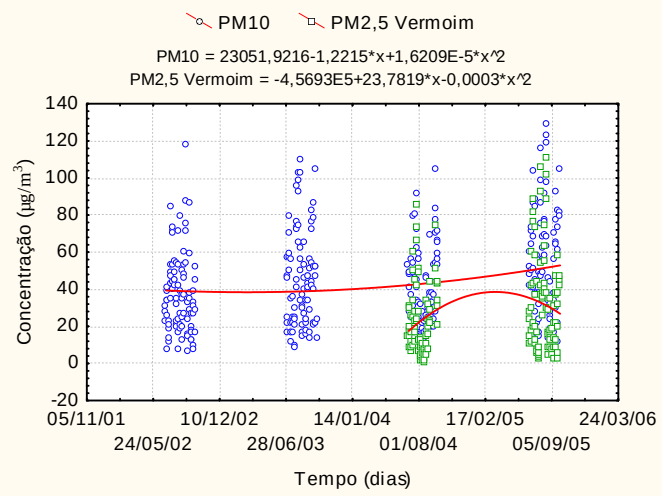


Figura 4.45. Linha polinomial a vermelho de valores médios para a distribuição de PM_{10} (média ponderada) e $PM_{2,5}$ (estação Vermoim) durante os meses de verão entre 2002 a 2005.

. Especificamente, em agosto de 2003 os dias 6 e 7 de agosto observaram-se os valores de temperatura mais elevados do ano, 38,1 e 38 °C, respectivamente (fonte: estação de Pedras Rubras, IMP), como foi visto no ponto anterior. Os dias seguintes também foram quentes com vento fraco. O vento zonal para o dia 8 de agosto de 2003 apresenta a influência de alta pressão (Figura 4.46.). Apoiada pela circulação média do vento da figura 4.47. com velocidade baixa predominantemente de leste (seco) e temperatura máxima de 35,6 °C (estação de Pedras Rubras).

Como analisado no ponto anterior o PM_{10} apresentou valores de concentração mais elevados (mais de 200% acima da média de 41 µg/m^3 em 6 dos dias considerados nos períodos de análise do ponto anterior para 2003 e 2005), durante os meses de verão associados a dias de muito calor. À escala sinótica a influência de uma alta pressão a oeste do território Português e baixa velocidade de vento (Figura 4.47. e 4.48.). Como

se pode verificar na seqüência de figuras para os dias de 8 a 12 de agosto de 2003 e depois de 5 a 6 e 20 a 23 de agosto de 2005.

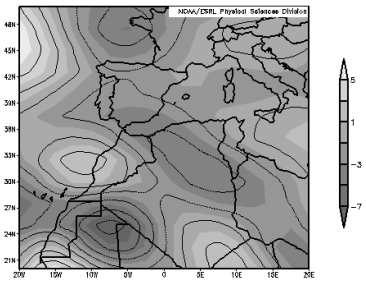


Figura 4.46. Vento zonal médio do dia 8/8/2003.

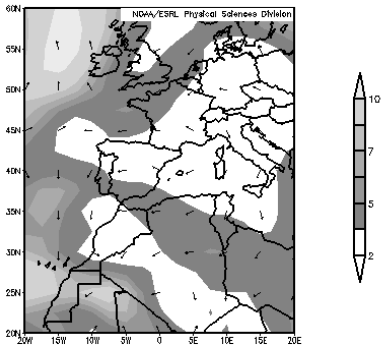


Figura 4.47. Vetor vento de 8 de agosto de 2003.

O sistema de alta pressão a noroeste da Península Ibérica (PI) influencia o norte de Espanha e Portugal. Nestas condições a velocidade do vento é baixa e de nordeste na AMP, também no dia 9 como mostra a figura 4.48..

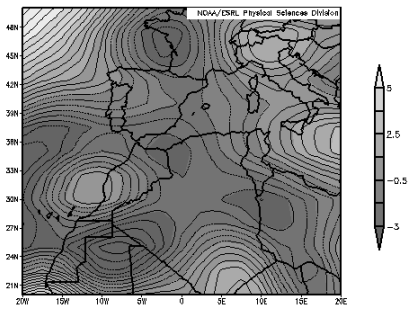


Figura 4.48. Vento zonal médio do dia 9/8/2003.

Dia 10 Portugal ficou sob a ação de ventos de Norte mais fortes 4.49.), sensação térmica de 23,3 ºC, as concentrações médias de PM_{10} diminuíram (de 102,8 µg/m^3 no dia 8, para 55,6 µg/m^3, dia 9 e para 62,1 µg/m^3, no dia 10). Contudo, nos dias seguintes as concentrações de PM_{10} aumentaram de novo (110 e 103 µg/m^3, respectivamente para dia 11 e 12).

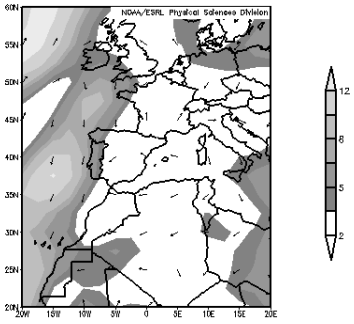


Figura 4.49. Vetor vento 10/08/2003

Dia 11 e 12 um sistema de alta pressão que se vai deslocando de sudoeste para noroeste de Portugal criou uma situação pré-frontal aumentando as concentrações médias de PM_{10} acima dos 100µg/m^3. Que diminuem, logo após a passagem da frente, por remoção pela precipitação. Notar que valores acima de 100µg/m^3 são 250% acima da média e corresponde ao índice de qualidade do ar 'fraco'.

Em 2005 alguns dias em agosto também registraram valores elevados. Contudo, as causas foram diferentes. No período do dia 5 e 6 de agosto de 2005 foi dominante a presença de uma baixa pressão na área em estudo (Figura 4.50. e 4.51.) que depois evoluiu para um sistema frontal no dia 7. Provocando, por isso, acumulação de ambos os PM com níveis médios acima de 100 µg/m^3.

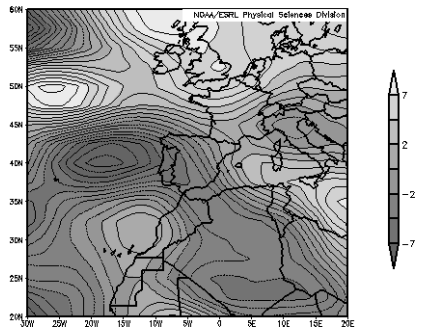


Figura 4.50. Vento zonal médio do dia 5 de agosto de 2005.

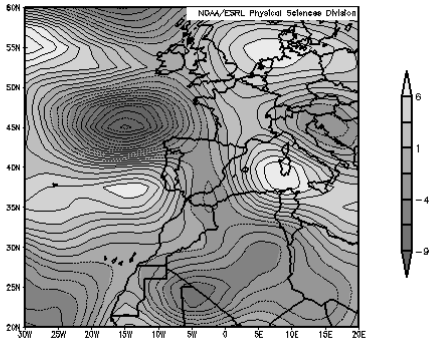
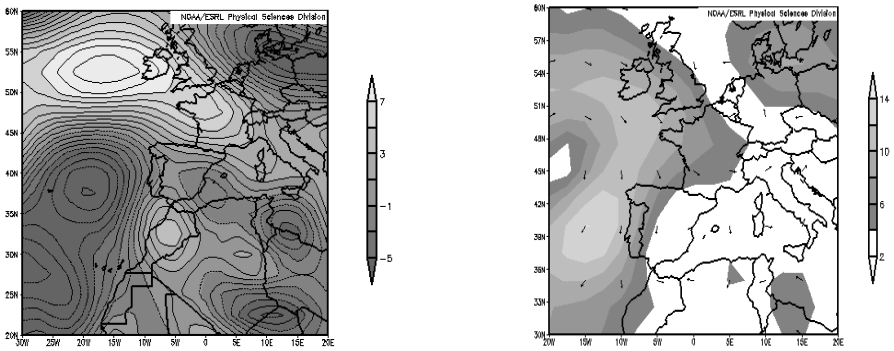


Figura 4.51. Vento zonal médio do dia 7 de agosto de 2005

Ainda em 2005, mas durante o período de 19 a 24 de agosto o território em estudo ficou sob a influência de um sistema de alta pressão que estendeu a sua influência até o norte da PI. Esta condição promoveu o aumento da concentração de PM_{10}, provavelmente, uma parte trazido do norte da Europa, como se pode ver na figura 4.52. a) do dia 19. A situação do vetor vento médio observada no dia 19 (Figura 4.52. b)) manteve idêntica até ao dia 24 (de norte; Figura 4.53.). No dia 25 a velocidade diminuiu e direções do vento mudou de norte para noroeste.



a) b)

Figura 4.52. Vento zonal (a)) e Velocidade do vento (b)) dia 19 de agosto de 2005.

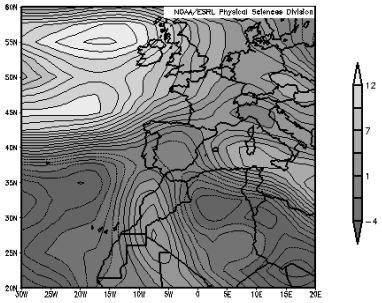


Figura 4.53. Vento zonal do dia 24 de agosto de 2005.

O aumento do material particulado durante o verão deve-se a duas condições sinóticas principais: sistemas de alta pressão sobre o território que além de aumentarem a temperatura do ar, promovem o transporte de poluentes de leste e nordeste, trazidos pelo vento seco continental de várias cidades industrializadas do interior da PI, assim como, de incêndios comuns nesta altura do ano. (ver tabela do anexo I de alguns incêndios ocorridos neste período); em algumas ocasiões mesmo no verão também pode haver aumento da concentração de material particulado antes da chegada de sistemas frontais devido ao desenvolvimento dos mesmos.

O aumento da poluição tem impacto sobre a saúde pública. Neste sentido, realizou-se correlação simples e defasagem de 2 a 5 dias entre as séries temporais de PM_{10} medidas em Antas, Matosinhos e Vermoim (não se utilizaram médias ponderadas, para evitar mascarar a contribuição local) e as doenças em estudo (Tabela 4.32.). Para o ano de 2003 os resultados mostraram que existe associação em até 5 dias com as DCV

HT (0,22 e 0,25, com lag de 3 e 4 dias respectivamente) e IQ (0,20, lag de dois dias) e DR A/B sem defasagem.

Tabela 4.32. Correlação simples e com defasagem de até 5 dias, entre as doenças e o PM_{10}, durante o mês de agosto de 2003 para as estações selecionadas de Matosinhos e Vermoim.

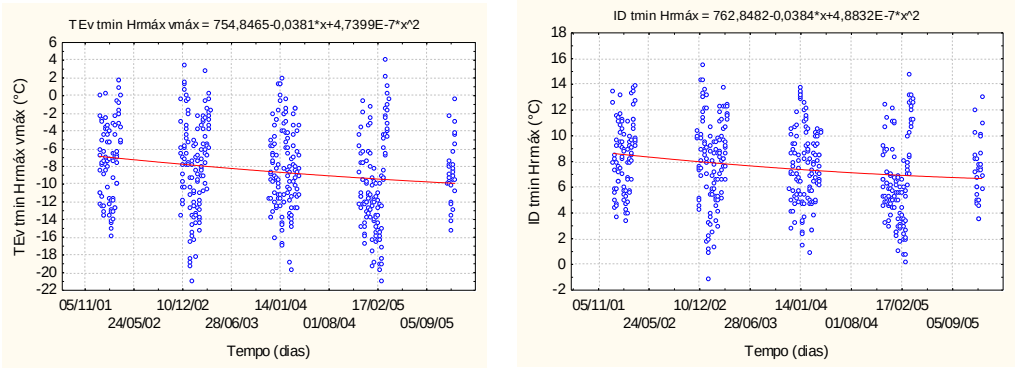
Correlação	PM_{10} Matosinhos	PM_{10} Matosinhos lag 2	PM_{10} Matosinhos lag 3	PM_{10} Vermoim lag 5
DCV Hipertensivas		0,14	**0,22**	**0,25**
DC Isquêmicas		**0,20**		0,12
DR Asma/Bronquite	**0,26**	0,12	0,13	

Apesar de não termos encontrado relação entre o PM_{10} e as doenças em outras análises durante o trabalho podemos verificar que em períodos curtos de concentrações elevadas é possível identificar algum impacto.

4.3.1.3. Ausência de precipitação durante o inverno

Como já referenciado o inverno é o período do ano mais chuvoso e com temperaturas mais baixas. Contudo, encontraram-se alguns períodos em que não ocorreu precipitação. Neste ponto serão identificados os períodos em que ocorreu ausência de precipitação e qual foi a conseqüência para a qualidade do ar.

Para o inverno as variações médias dos índices de conforto térmico revelam diminuição das temperaturas ao longo do período de estudo, cerca de 2 °C, se não for considerado o vento, e 3°C, se considerarmos o índice que calcula a temperatura efetiva com vento máximo (Figura 4.54.).



a) b)

Figura 4.54. Índices de conforto térmico (Temperatura efetiva, TEv e Índice de Desconforto térmico, ID) nos meses de inverno durante o período de estudo e linhas polinomiais de pontos médios a vermelho para os valores registrados.

No inverno mediterrânico além da temperatura baixa, a ocorrência de precipitação é outro fator característico. Para a precipitação foram identificados alguns períodos durante o inverno que não choveu. O próximo ponto trata de algumas semanas em que ocorreu ausência de precipitação em dois invernos 2003/04 e 2004/05.

Durante o inverno a concentração do PM_{10} e $PM_{2,5}$, no período em estudo apresentou médias equivalentes em todo o período (Figura 4.55.).

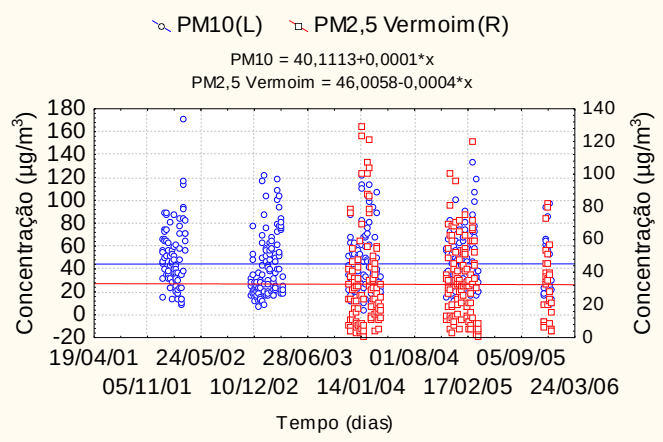


Figura 4.55. Concentrações e linhas polinomiais médias das concentrações para o PM_{10} $PM_{2,5}$ durante os meses de inverno (2002 a 2005 para PM_{10} e 2004 e 2005 para o $PM_{2,5}$).

No entanto, devido às contribuições locais e de fontes remotas, ambos os PM apresentaram alguns dias com valores médios elevados, acima do limite de qualidade do ar considerado 'mau' (120µg/m^3), como veremos a seguir detalhadamente.

Em fevereiro no hemisfério norte ainda é inverno. A AMP tem influência marítima tornando as temperaturas mais amenas em comparação com o interior do país. A passagem de frentes durante o inverno é freqüente, provocando alguns dias de chuva alternados com dias sem precipitação. Contudo, observou-se ausência de precipitação durante mais de 10 dias desde o inicio de fevereiro de 2004, como mostra figura 4.56..

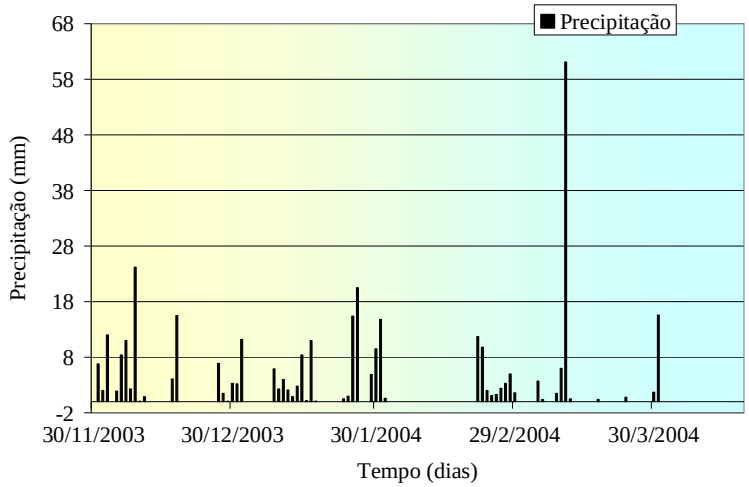
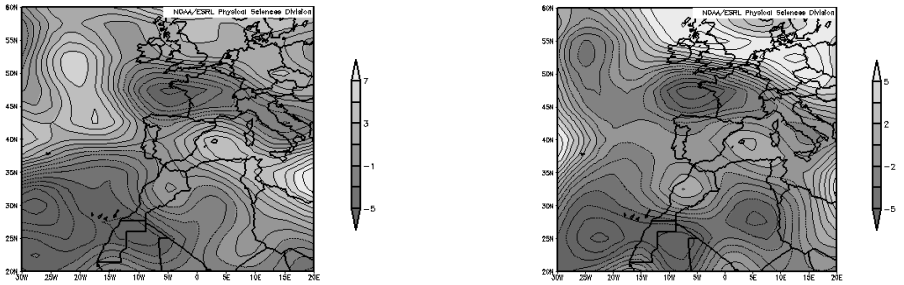


Figura 4.56. Precipitação diária durante o inverno de 2003/2004, em mm.

Do dia 3 de fevereiro até ao dia 22 do mesmo mês não se registrou precipitação. No período de 12 a 17 de fevereiro de 2004 pode-se observar cerca de uma semana em que os níveis médios ponderados de PM foram acima de 75 μg/m^3 e na maioria dos dias acima de 100 μg/m^3. Um sistema de alta pressão associado ao vento fraco predominantemente de leste ou de nordeste, por isso, continental, criou condições para a acumulação de material particulado na atmosfera seca. No dia 18 a intensidade do vento na área em estudo aumentou o que permitiu a maior dispersão do material particulado. Durante o inverno é conhecida a contribuição de material particulado vindo do norte de África e, sobretudo, do deserto do Saara (Lopéz, 2009). Segundo alguns autores esse transporte é feito a partir do mediterrâneo, sul da França e pode chegar a vários países da Europa central e ocidental, assim como muitas vezes atravessa o Atlântico chegando ao Caribe e norte do Brasil (Lopéz, 2009) (ver anexo II).

Mais especificamente as figuras seguintes mostram a movimentação sinóptica ao longo do período através das isolinhas do vento zonal e do vetor vento (Figuras 4.57. a 4.62). A presença de um sistema de alta pressão cria um fenômeno designado por inversão térmica durante o inverno. Geralmente, a troposfera apresenta uma curva de temperatura do ar decrescente desde a superfície da Terra até ao seu topo. A inversão térmica, como o nome indica, é caracterizada pela presença de uma camada de ar mais frio (próxima da superfície) debaixo de uma camada de ar mais quente. Nesta situação, a velocidade do vento (entre norte e nordeste) é fraca, prevalece o céu limpo e temperaturas baixas. Estas condições dificultam a dispersão dos poluentes.



a) b)

Figura 4.57. Vento zonal médio para o dia 12/02/2004 (a)) e para o dia 13/02/2004 (b)).

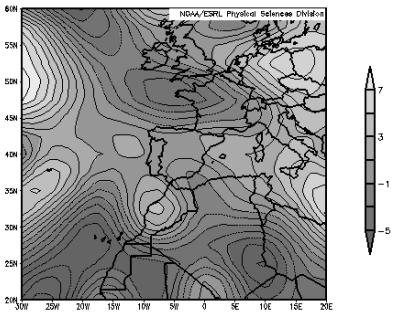
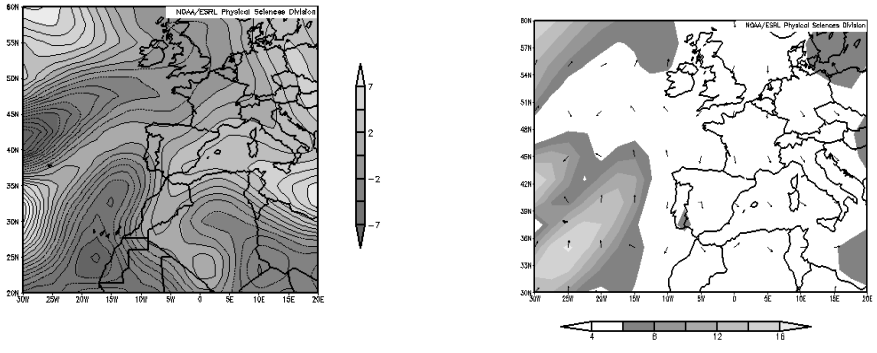
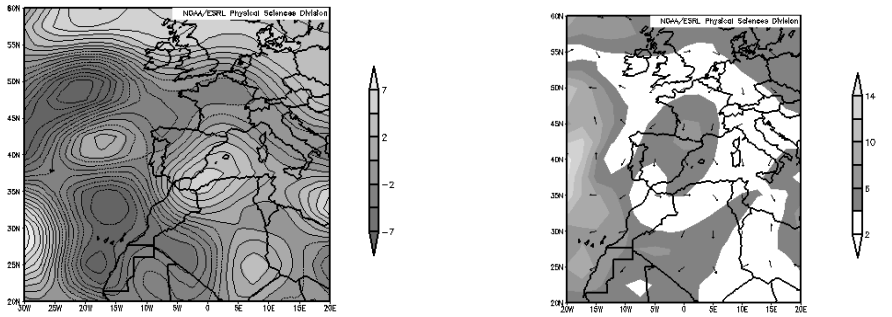


Figura 4.58. Vento zonal médio para o dia 14/02/2004



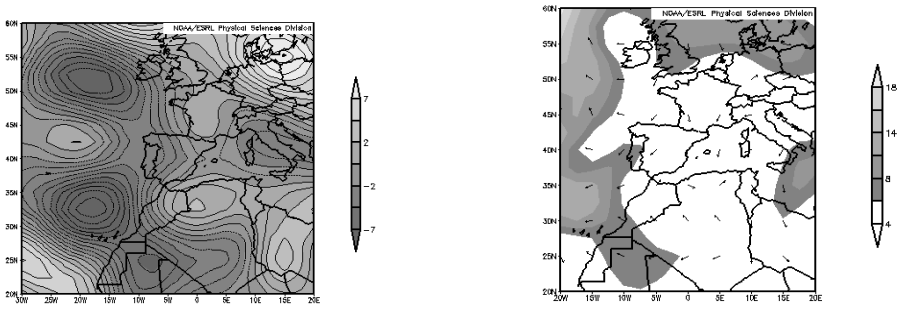
a) b)

Figura 4.59. Vento zonal médio (a)) e Vetor vento médio (b)) para o dia 15/02/2004



a) b)

Figura 4.60. Vento zonal médio (a)) e Vetor vento médio (b)) para o dia 16/02/2004



a) b)

Figura 4.61. Vento zonal médio (a)) e Vetor vento médio (b)) para o dia 17/02/2004.

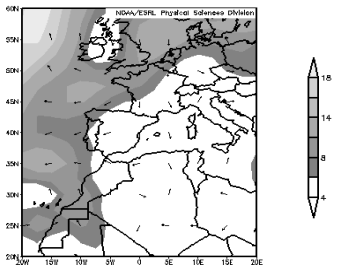


Figura 4.62. Vetor vento médio para o dia 18/02/2004.

No inverno de 2004/05 ocorreu situação idêntica à do inverno de 2003/04. Vários períodos com ausência de precipitação e as temperaturas baixas que favoreceram

a diminuição da qualidade do ar e, conseqüentemente aumento de casos de doenças respiratórias. Como é detalhado no próximo ponto.

4.3.1.4. O Impacto de inversão térmica durante o inverno 2004/05

Nos pontos anteriores de analise inter-anual e sazonal não ficou clara a associação entre o material particulado (seja PM_{10} ou $PM_{2,5}$) e as diversas doenças. No entanto, neste ponto será avaliada essa relação. Para tal somente foram analisadas séries temporais de doenças e de variáveis meteorológicas e qualidade do ar para o período de janeiro a março de 2005.

Durante os dois últimos meses de 2004 e janeiro de 2005 a presença de uma alta pressão sobre o território, com diminuição da freqüência da precipitação e nebulosidade favoreceu o aumento do $PM_{2,5}$. A partir do dia 15 de março o sistema de pressão perdeu intensidade e criou condições para o aumento da freqüência da precipitação (Figura 4.63.).

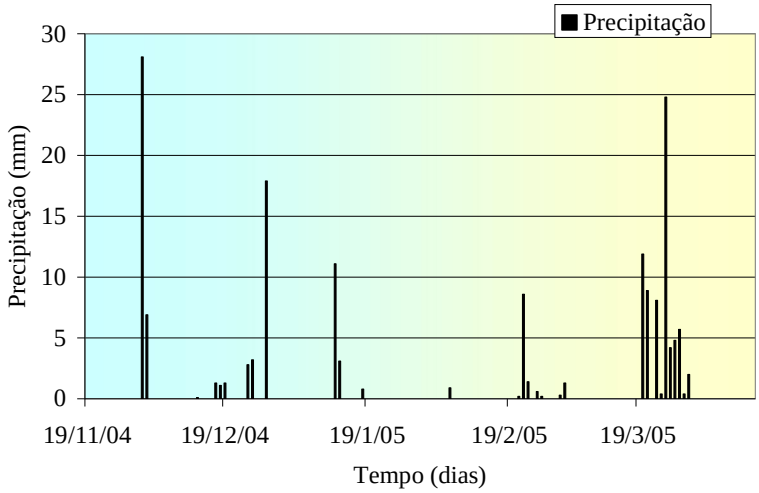


Figura 4.63. Precipitação durante os três primeiros meses de 2005.

Analisando estatisticamente os dados diários foi verificado que para o período de inverno, os valores mais elevados de PM_{10} e $PM_{2,5}$ ocorreram nos dias que antecedem a chegada da frente quando a pressão está em decréscimo.

O aumento da poluição tem impacto sobre a saúde pública no caso de um inverno como o de 2004/05, com ocorrência de pouca precipitação devido a uma seqüência de períodos de inversão térmica.

Neste sentido, realizou-se defasagem de 2 e 3 dias entre as séries temporais de material particulado medidas em diferentes estações (não se utilizaram médias ponderadas, para evitar mascarar a contribuição local) e as doenças em estudo. Verificou-se correlação significativa com o grupo das doenças respiratórias Asma/Bronquite (490-496) em ambas as defasagens (ver Tabelas 4.33. e 4.34.)

Tabela 4.33. Correlação entre a série diária de diversas doenças e do material particulado para cada estação, com três dias de defasagem entre as séries, do período de janeiro a março de 2005. N é inferior a três meses porque algumas séries têm valores faltantes. Valores em **negrito** indicam maior relação entre as variáveis.

3 dias lag N=62	Antas PM_{10}	Matosinhos PM_{10}	Vermoim PM_{10}	Vermoim $PM_{2,5}$
DCV Hipertensivas	-0,03	-0,02	-0,01	0,05
DC Isquêmicas	0,03	-0,04	-0,01	0,00
Insuficiência Cardíaca	-0,14	-0,12	-0,13	-0,20
Asma/Bronquite	0,15	**0,17**	**0,23**	**0,33**
DR Pneumoconioses	0,10	0,12	0,14	0,05

Tabela 4.34. Correlação entre a série diária das doenças e do material particulado para cada estação, com dois dias de defasagem entre as séries, do período de janeiro a março de 2005. N é inferior a três meses porque algumas séries têm valores faltantes Valores em **negrito** indicam maior relação entre as variáveis.

2 dias lag N=63	Antas PM_{10}	Matosinhos PM_{10}	Vermoim PM_{10}	Vermoim $PM_{2,5}$
DCV Hipertensivas	0,06	0,08	0,08	0,06
DC Isquêmicas	-0,13	-0,11	-0,09	-0,17
Insuficiência Cardíaca	0,07	0,10	0,09	-0,01
Asma/Bronquite	**0,26**	**0,26**	**0,28**	**0,31**
DR Pneumoconioses	0,14	0,15	0,13	0,01

Durante um período de inversão térmica durante o inverno, como neste caso, além da diminuição da precipitação e umidade, as temperaturas também ficam muito baixas. Como avaliado no ponto Análise da distribuição em quantis este grupo de doenças é também fortemente influenciado pelas baixas temperaturas, especialmente inferiores a 18°C. Principalmente durante o inverno, essas temperaturas dependem de

fenômenos meteorológicos de escala sinótica como Oscilação do Atlântico Norte (Figura 4.64.).

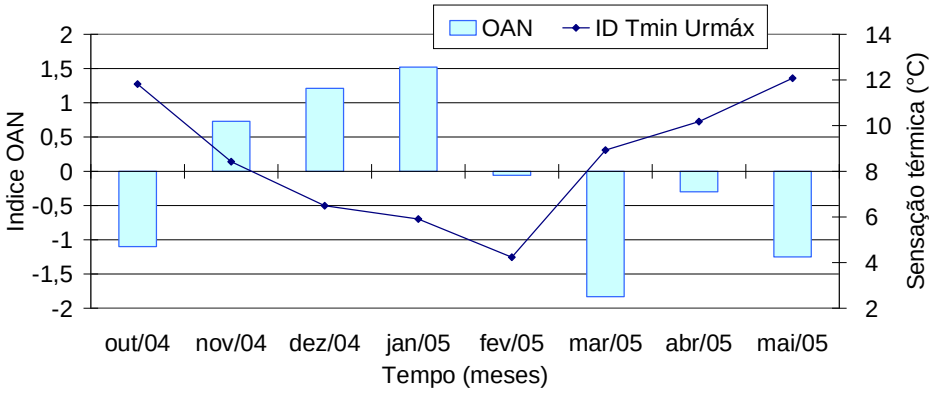


Figura 4.64. Variabilidade da sensação térmica segundo o índice de desconforto térmico ID (considerando temperatura do ar mínima e umidade relativa máxima) e do Índice de Oscilação do Atlântico Norte.

Dada a importância desta influência da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) o seu impacto na variabilidade dos poluentes durante um ano de 2004, que não apresentou eventos meteorológicos atípicos, é analisado no ponto seguinte.

4.3.2. O impacto da OAN na qualidade do ar e na saúde pública, estudo de caso referente ao ano de 2004

Tendo em consideração os resultados do ponto anterior e da OAN no ponto 4.1.5., realizou-se uma análise mais pormenorizada para o ano de 2004, o qual não apresentou fatores sociais (ex: eventos desportivos), ou eventos climáticos (ondas de calor ou frio) que induzem extremos relevantes.

Para este estudo de caso foram escolhidas três estações de qualidade do ar fixas, localizadas sob influência de trafego urbano numa grande cidade (Antas), influência de trafego e industrial (Matosinhos) e ambiente suburbano com aeroporto próximo (Vermoim), para representar as concentrações médias mensais de poluentes da área em estudo para o ano de 2004. Não se utilizou os dados de médias ponderadas já que os valores obtidos para certos poluentes parecem ficar mascarados (séries não completas de determinadas estações ou concentração não representativa da área em especifico).

Com as médias reais de cada estação pretende-se diminuir também alguma contribuição de fontes remotas ou de transporte em grande escala. Assim como, identificar possíveis relações entre os poluentes e a OAN que não ficaram bem

explicitas utilizando as médias ponderadas. E, recolheram-se dados do índice mensal da OAN do site da NOAA (disponível no site: http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/NAO).

Fazendo a comparação dos valores que a OAN toma ao longo dos meses com as concentrações médias de alguns poluentes, foi encontrada associação relativa com quase todos os poluentes, especialmente no período de março a dezembro (justificação para este período é a mesma do ponto '4.1.5.', Pokrovsky (2009)) como indicado no conjunto de dados da tabela 4.35.. Observar que há uma correlação significativa entre $PM_{2,5}$ e OAN para Vermoim, de 0,73.

Tabela 4.35. Correlação anual e de março a dezembro entre os poluentes e a OAN, para as estações selecionadas para o estudo. Em negrito os valores de correlação superiores a 0,40.

2004 Antas	Média NO_2	Média PM_{10}	Média NO	Média CO	Média NOx
Correlação anual	0,32	0,30	0,19	0,29	0,24
Corr. mar/dez	**0,42**	**0,45**	**0,41**	0,22	**0,42**

2004 Matosinhos	Máximo O_3	Média PM_{10}	Média NO_2	Média SO_2	Média NO	Média NOx	Média CO
Correlação anual	0,04	0,20	0,36	0,13	0,25	0,31	0,29
Corr. mar/dez	-0,06	0,39	**0,45**	0,04	0,36	**0,42**	**0,50**

2004 Vermoim	Máximo O_3	Média NO_2	Média PM_{10}	Média SO_2	Média NO	Média $PM_{2,5}$	Média CO	Média NOx
Correlação anual	0,19	0,12	0,08	0,36	0,12	0,34	0,26	0,14
Corr. mar/dez	0,09	0,20	0,30	0,35	0,35	**0,73**	**0,50**	0,37

A diferença entre o tipo de fontes de cada estação está bem evidente pelos resultados. Antas sendo uma estação tipicamente urbana apresenta contribuições de NO_x significativas devido às fontes móveis devido à emissão de poluentes derivados de petróleo. Matosinhos apresenta resultados intermédios entre as duas estações denunciando que é uma cidade menor (cidade Porto tem 2,16% dos habitantes de Portugal e Matosinhos possui 0,46%). As **correlações fortes acima de 0,70** da estação de Vermoim indicam a proximidade do aeroporto internacional como já discutido no ponto '4.1.5.'.

Quando a OAN toma valores negativos ocorre a passagem de frentes pela PI acompanhadas de precipitação. O que promove a remoção de poluentes e,

especificamente, de $PM_{2,5}$. Na sua fase positiva ocorre a acumulação de poluentes devido à intensificação da alta pressão sobre o território em estudo.

Recorrendo à visualização por gráfico (Figuras 4.65. a 4.68.) de alguns dos casos destacados na tabela anterior, exemplifica a correlação entre a OAN e os poluentes.

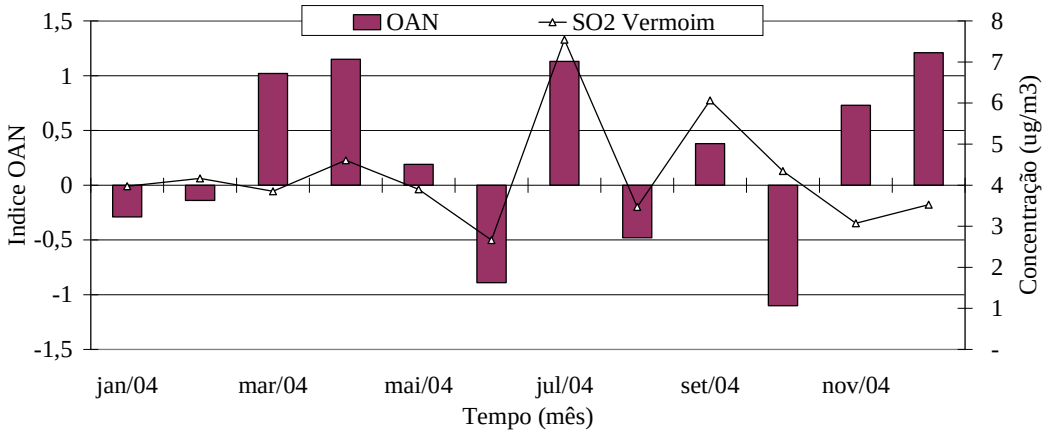


Figura 4.65. Gráfico apresentando a variação da concentração média de SO_2, de Vermoim, por comparação com OAN.

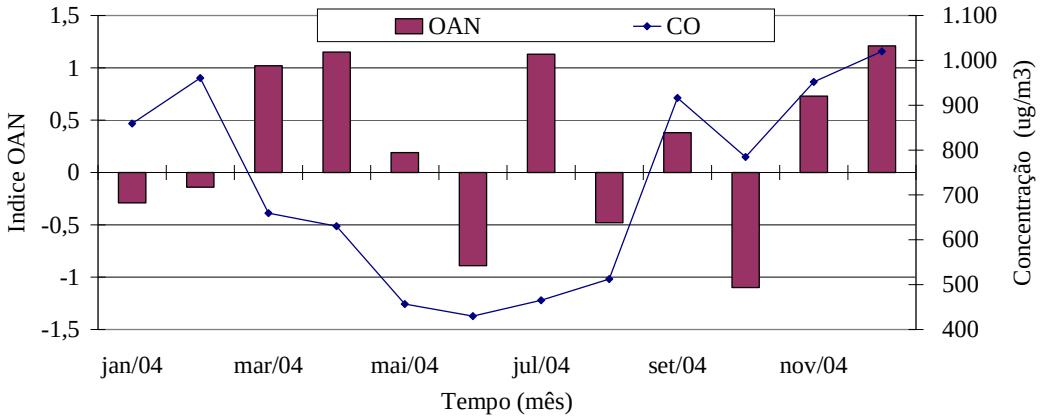


Figura 4.66. Gráfico apresentando a variação da concentração média de CO, da estação das Antas, por comparação com OAN.

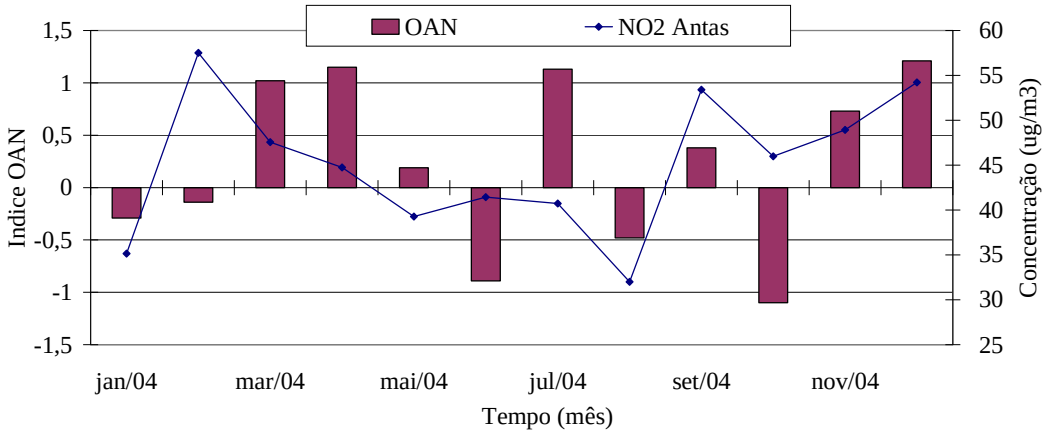


Figura 4.67. Gráfico apresentando a variação da concentração média de NO_2, de Antas, por comparação com a oscilação da OAN.

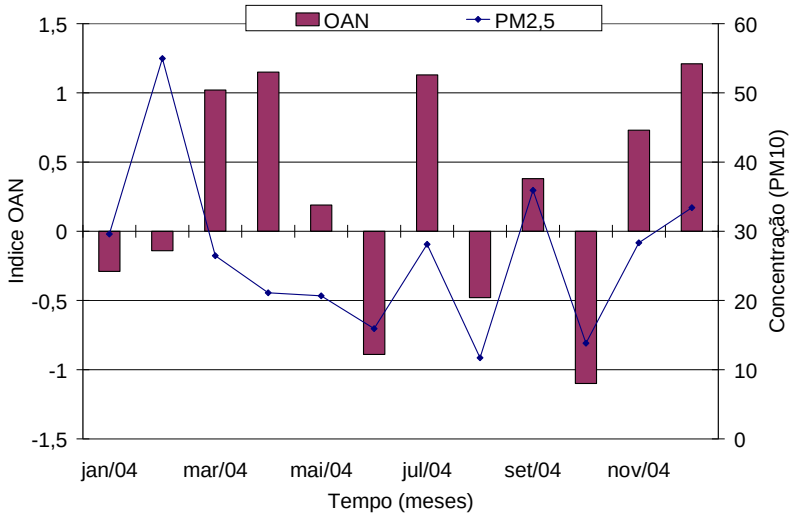


Figura 4.68. Gráfico apresentando a variação da concentração média de $PM_{2,5}$,de Vermoim, por comparação com a oscilação da OAN.

É conhecido que o comportamento dos poluentes está dependente de diferentes condições em diferentes escalas meteorológicas, as quais atuam em conjunto e com intensidades diferentes. A Oscilação do Atlântico Norte é um fenômeno de escala sinótica e pode fazer sentir os seus efeitos em mesoescala. As concentrações dos poluentes apresentados são de escala regional, por isso, a possibilidade de haver alguns desajustes. Contudo, os resultados de correlação demonstram que alterações climáticas que alterem a intensidade e periodicidade deste evento (OAN) de grande escala podem ter efeito direto na dispersão dos poluentes em escala menor. É de salientar que é em períodos que as fases positiva e negativa variam de sentido de um mês para o outro que

existe maior correlação com picos maiores de poluição, como aconteceu na segunda metade do ano 2004. A dispersão de poluentes é também condicionada por esta variação. Em períodos de fase positiva da OAN como nos dois últimos meses do ano, novembro e dezembro, que ocorreu inversão térmica, a situação sinótica é caracterizada por céu limpo, temperaturas baixas e vento fraco já analisado no ponto 4.3.1.3.. Todos os gráficos mostraram que houve aumento nas concentrações dos poluentes, já que as condições atmosféricas de vento fraco e seco de leste dificultavam a sua dispersão ou remoção por precipitação.

Durante este ano a variabilidade da poluição do ar teve algum impacto na saúde da população. Realizou-se análise de regressão linear múltipla das séries de dados de qualidade do ar e de saúde para o ano de 2004. As variações meteorológicas de sensação térmica especialmente e alguns poluentes afetaram algumas doenças respiratórias e cardiovasculares (Tabelas.4.36 e 4.37.).

Tabela 4.36. Sumário da regressão da variável dependente Insuficiência Cardíaca (426-28) (Matosinhos, 2004) R= 0,26 R^2= 0,068 R^2 ajustado= 0,044 F(9,354)=2,86 p<0,029 Erro padrão estimado: 1,64. Em negrito valores de regressão significantes.

N=364	Beta	Desv. Padrão de Beta	B	Desv. Padrão de B	t(354)	P
Intercepto			**3,01**	**0,69**	**4,35**	**0,00**
Máximo O_3	0,06	0,07	0,00	0,01	0,88	0,38
Média PM_{10}	-0,13	0,09	-0,01	0,01	-1,42	0,16
Média NO_2	**0,32**	**0,12**	**0,03**	**0,01**	**2,65**	**0,01**
Média SO_2	-0,08	0,06	-0,01	0,01	-1,20	0,23
Média NO	**0,31**	**0,14**	**0,02**	**0,01**	**2,23**	**0,03**
Média CO	**-0,34**	**0,16**	**0,00**	**0,00**	**-2,07**	**0,04**
OAN	0,01	0,05	0,03	0,12	0,22	0,82
Prec_mm	0,10	0,06	0,03	0,01	1,83	0,07
Tar_méd	-0,12	0,07	-0,04	0,03	-1,66	0,10

A regressão para o grupo Insuficiência Cardíaca demonstrou ser predita, sobretudo, pelo NO_2 com Beta=0,32 e NO, com Beta=0,31. O CO aparece inversamente relacionado com Beta=-0,34, o que indica uma relação meramente estatística, já que há muitos anos vários autores (Liu, 1994) atestam o efeito tóxico sobre pessoas expostas diariamente a este poluente.

Já as doenças respiratórias do grupo Asma/bronquite aparecem associadas de forma positiva ao PM_{10}. **Este dado ilustra que apesar de não ser aparente em todo período, o ano de 2004 mostra relação entre as doenças e o PM_{10}, assim como**

também foi mostrada no ponto '4.3.1. Extremos' para o verão e inverno em datas especificas.

Tabela 4.37. Sumário da regressão para a variável dependente Asma/Bronquite (490-496) (Antas, 2004) R= 0,206 R^2= 0,042 R^2 (ajustado) =0,0149 F(8,279)=1,54 p<0,142 Erro padrão estimado: 1,08. Em negrito valores de regressão significantes

N=288	Beta	Desv. Padrão de Beta	B	Desv. Padrão de B	t(279)	P
Intercepto			**1,07**	**0,38**	**2,83**	**0,00**
Média CO	-0,02	0,10	0,00	0,00	-0,21	0,83
Média NO_2	-0,19	0,11	-0,01	0,01	-1,67	0,10
Média PM_{10}	**0,17**	**0,08**	**0,01**	**0,00**	**2,05**	**0,04**
Média NO	0,22	0,15	0,01	0,01	1,51	0,13
Máximo O_3	0,05	0,09	0,00	0,00	0,58	0,56
OAN	0,01	0,06	0,01	0,09	0,08	0,93
Prec_mm	0,00	0,06	0,00	0,01	-0,03	0,97
Tar_méd	-0,03	0,07	-0,01	0,02	-0,36	0,72

Considerando a estação de Vermoim (Tabela 4.38.) que fica perto do Aeroporto, verifica-se que o coeficiente de correlação múltipla (R) é 32,2%, o qual é a raiz quadrada positiva do R^2 (coeficiente de determinação múltipla) que descreve a relação entre as variáveis. A relação com o PM_{10} apresenta um Beta de 0,49. O que significa que este poluente tem impacto sobre as doenças do grupo das DR Asma/bronquite.

Tabela 4.38. Sumário da regressão para a variável dependente Asma/Bronquite (490-496) (Vermoim, 2004) R= 0,322 R^2= 0,104 R^2 (ajustado)=0,053 F(11,194)=2,04 p<0,0264 Erro padrão estimado: 1,05. Em sublinhado estão valores P próximos de 0,05.

N=206	Beta	Desv. Padrão de Beta	B	Desv. Padrão de B	t(194)	P
Intercepto			**1,67**	**0,52**	**3,21**	**0,00**
Máximo O_3	-0,12	0,09	-0,01	0,00	-1,38	0,17
Média NO_2	-0,10	0,12	-0,01	0,01	-0,80	0,43
Média PM_{10}	**0,49**	**0,18**	**0,02**	**0,01**	**2,73**	**0,01**
Média SO_2	0,17	0,09	0,05	0,02	1,90	0,06
Média NO	-0,05	0,17	0,00	0,01	-0,31	0,76
Média $PM_{2,5}$	-0,23	0,16	-0,01	0,01	-1,44	0,15
Média CO	-0,10	0,22	0,00	0,00	-0,47	0,64
OAN	0,04	0,08	0,05	0,10	0,48	0,63
Prec_mm	0,12	0,07	0,02	0,01	1,63	0,10
Tar_méd	-0,17	0,09	-0,04	0,02	-1,88	0,06

Apesar de apresentar p>0,05 o SO_2 e a Tar_méd apresentam uma relação muito próxima de significante indicando a correlação parcial inversa desta doença com a temperatura como já foi analisado noutros pontos anteriores e direta com o SO_2.

Em síntese, a relação entre os poluentes e a OAN demonstrou ter relação com os poluentes especialmente, no período de março a dezembro. Encontrou-se correlações com o PM_{10} (r=0,45) e $PM_{2,5}$ (r=0,73), CO(r=0,50) NO_2 (r= 0,45) e NO (r=0,41). Por sua vez, estes poluentes mostraram correlação múltipla em particular com as DCV IQ (NO, NO_2) e DR A/B (PM_{10}). Salienta-se especialmente o PM_{10} que em análises de correlação para o período de 2002 a 2005 não apresenta associação com as doenças e em análises de períodos menores aparece relacionado principalmente com o grupo das A/B.

As variações meteorológicas, ao logo do ano, são grandes, sendo assim, os poluentes que afetam algumas doenças no verão, podem ser diferentes daqueles que vão afetar no inverno ou na primavera. Ao longo da análise sazonal (ponto. 4.2..) o O_3 e NO_2 estiveram em destaque e em períodos mais curtos, além destes últimos também o PM_{10} apresenta associação com as doenças. A temperatura também mostrou ser um importante fator na variabilidade das doenças respiratórias A/B.

5. Conclusões

Análise interanual

De acordo com os resultados obtidos durante as análises conclui-se que tanto as variáveis meteorológicas, como poluentes têm relação de causa-efeito nas admissões hospitalares por HT, IQ, IC e A/B.

De forma geral, na maioria dos dias os níveis de poluição estão dentro dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Comunidade Européia como sendo de qualidade acima de 'média'. O que pode ser tomado como um indicador de que a saúde pública não está sendo afetada significativamente pelos níveis de poluição. Contudo, quando o período de estudo é dividido sazonalmente e/ou anualmente conseguem-se encontrar situações sinóticas e de qualidade do ar especificas que apresentam relação de causa-efeito nas admissões hospitalares.

Análise da distribuição em quantis

A análise da distribuição em quantis evidenciou que a população da Área Metropolitana do Porto sofre de forma significativa com as temperaturas baixas,

especialmente quando a sensação térmica é inferior ao decil 18-19°C. Temperaturas estas que ocorrem em mais de 80% dos dias registrados. O que está de acordo com os critérios de Fanger analisados no ponto 4.1.2. através dos índices de desconforto. Para temperaturas dentro do conforto térmico ou ligeiramente acima a vulnerabilidade diminui para todas as doenças consideradas. Encontrou-se aumento das doenças cardiovasculares Hipertensivas com a pressão. É de notar que para temperaturas abaixo de 6°C, há uma diminuição do Risco. Atribui-se esta diminuição do número de casos ao fato das temperaturas inferiores a 6°C ocorrem principalmente, no inverno, durante a noite e madrugada, período este em que os indivíduos das faixas etárias estudadas (>65;<14 anos) devem estar recolhidos em casa. Por outro lado, temperaturas acima de 30°C também revelaram aumento de casos, especialmente, para DCV Isquêmica e DR Asma/bronquite.

Oscilação do Atlântico Norte

Da análise do índice da Oscilação do Atlântico Norte conseguiu-se identificar períodos de relação com a poluição atmosférica da área de estudo. Na fase positiva do índice a alta pressão dos Açores intensifica-se promovendo a descida de massas de ar, céu limpo, baixa velocidade do vento e difícil dispersão de poluentes como PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2 e Ozônio. No inverno esta situação provoca o aumento, sobretudo, de material particulado. Neste sentido, a ACP mostrou que, em anos que não existiu ondas de calor, estes poluentes estiveram associados, positivamente no mesmo fator, com a OAN, enquanto que o CO, NO e NO_2 não foram encontrados no mesmo fator.

A OAN mostrou ter influência significativa especialmente no período que exclui o inverno A correlação anual entre a OAN e os poluentes tem resultados inferiores do que a correlação considerando os meses de março a dezembro.

Comparando os valores mensais do índice OAN com as concentrações dos poluentes foram encontradas associações significantes, acima de 0,50, com PM_{10} e OAN para 2002; $PM_{2,5}$ em 2004 e SO_2 em 2002 e 2005.

Análise sazonal

Na análise sazonal os poluentes O_3, NO_2 e NO mostraram melhor associação com as doenças, contudo, nas análises de períodos menores com eventos extremos e em 2004, identificou-se relação das DR Asma/bronquite também com o PM_{10}.

Estudos de Caso

Para o material particulado de ambos os tamanhos e numa análise anual não foi possível encontrar relações significativas devido à sua grande variabilidade ao longo do ano. No entanto, em condições sinóticas pré-frontais, assim como sistemas de alta pressão estacionários durante o verão e os invernos de 2003/04 e 2004/05, quando ocorreram inversões térmicas, promoveram o aumento da concentração do PM_{10} e $PM_{2,5}$. Desta forma, encontrou-se correlação entre o material particulado de ambos os tamanhos aerodinamicos com o grupo de doenças respiratórias Asma/bronquite.

O aumento das admissões hospitalares associadas à exposição curta a poluentes atmosféricos, especialmente pessoas susceptíveis, indica a necessidade da mitigação das concentrações. As associações encontradas neste trabalho assim como outras pesquisas realizadas nos EUA e na Europa somam-se como evidencia que a poluição do ar contribui para os efeitos adversos na saúde cardio-respiratória mesmo quando os níveis de poluição são abaixo dos limites padrão estabelecidos para a qualidade do ar.estes resultados sugerem que os limites de qualidade do ar inferiores aos atuais são necessários para evitar os efeitos negativos na saúde pública (Alves, Célia A. et al., 2010). Além disso, o controlo mais restrito das fontes emissoras, monitoramento meteorológico do transporte e dispersão dos poluentes e de ondas de calor, junto com um processo de alerta eficaz da população, seria um sistema de prevenção importante para reduzir as morbidades e mortalidade.

5.1. Sugestões para Futuros trabalhos

- Realizar estudos similares para períodos de tempo maiores para se entender melhor a influência da climatologia relacionada com os índices de conforto térmico.
- Realizar estudos para outras cidades utilizando a mesma metodologia visando avaliar a resposta fisiológica às variáveis meteorológicas, especialmente temperatura, identificando outras temperaturas de conforto.
- Incluir no estudo variáveis/indicadores sócio-culturais, nutricionais, comportamentais, habitacionais, entre outros, de forma a ser possível identificar

quais as populações mais vulneráveis e susceptíveis a contraírem doenças devido à poluição e variáveis meteorológicas.

- Identificação geo-espacial dos poluentes e da residência ou local de trabalho dos indivíduos admitidos como casos de doenças, através de geo-referenciamento.
- Monitorar outros períodos mais recentes de extremos que vêm acontecendo com maior frequencia.
- Criar um sistema ou índice que identifique com algum tempo de antecedência o Risco a poluentes através das condições atmosféricas.
- Criar e manter um sistema de recolha e tratamento de dados hospitalares visando o melhoramento da base de informações indispensável para trabalhos científicos e de consulta estatística.

Referencias Bibliográficas

Agencia Portuguesa do Ambiente,
Disponível no site: http://www.qualar.org/, Acessado 10 Abril de 2010.

Alves, C. A.; Scotto, M. G; Freitas, M. C. Air pollutions and emergency admissions for cardiorespiratory diseases in Lisbon (Portugal). *Quim. Nova*, 2010; v. 33, No. 2, p.337-344.

Auliceima, A., De Dear, E. Thermal adaptation and variable indoor climate control. In: Auliceima, A. (Ed.), Advances in Bioclimatology, 1998; v. 5. *Springer*, Berlin, p. 61–86.

Barcellos, C., Monteiro, A., Corvalán, C., Gurgel, H. C., Carvalho, M.; Artaxo, P., Hacon, S., Ragoni, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil, *Epidemiol.*, 2009; *Serv. Saúde*, v.18 n.3 Brasília.

Beck, McDuffie RS A, Bischoff K, Cross J, Orleans M. J., Effect of frequency of prenatal care visits on perinatal outcome among low-risk women *The J. Pediatrics*, 1996; v. 129, Issue 3, , p. 470-471.

Beniston, M., and Diaz, H. F., The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland, *Global and Planetary Change*, 2004; 44, p. 73-81

Berra, C. M., Menck, Carlos F. M., Mascio, P., Estresse oxidativo, lesões no genoma e processos de sinalização no controle do ciclo celular; *Quím. Nova*, 2006; v. 29 no.6 São Paulo; sci-elo

Boelter, K. J., and Davidson, J. H., Ozone Generation by Indoor, Electrostatic Air Cleaners, *Aerosol Sci. Technol.*, 1997; 27:689–708.

Bojariu, R., Gimeno, L., Predictability and numerical modelling of the North Atlantic Oscillation, *Earth-Science Reviews*, 2003; v. 63, Issues 1-2, p. 145-168

Bourotte, C.; Curi-Amarante, A. P., Forti, M. C., Pereira, L. A. A., Braga, A. L.; Lotufo, P. A., Association between ionic composition of fine and coarse aerosol soluble fraction and peak expiratory flow of asthmatic patients in São Paulo city (Brazil), *Atmos. Environnt*, 2007; v. 41, Issue 10, p. 2036-2048.

Braga, A.L.F., Zanobetti, A., Schwartz, J., The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Envir. health Perspectives*, Carolina do Norte, EUA, 2002; v.110, p.859-863.

Brito, F. F.; Gimeno, P. M.; Martínez, C.; Tobias, A.; Suárez, L.; Guerra, F.; Borja, J. M.; Alonso, A. M Air pollution and seasonal asthma during the pollen season. A cohort study in Puertollano and Ciudad Real (Spain) *Allergy* , *62*, 2007, 1152.

Brunekreef, B. and Holgate, S.T., Air Pollution and Health-Review, *The Lancet*, 360 (9341), 2002; p. 1233-1242.

Cancio, J. L., Castellano, A. V., Hernandez, M. C., Bethencourt, R. G., Ortega, E. M., Metallic species in atmospheric particulate matter in Las Palmas de Gran Canária, *Journ. of Hazard. Materials* 160, 2008; p.521–528.

Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., Smith, V. H.., Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecolog. Applications*, 1998; 8:559-568.

Cassee, R., Arts, J.H.E., Fokkens, P.H.B., Spoor, S.M., Boere, A.J.F., Van Bree, L., J. Dormans, A.M.A., Pulmonary effects of ultrafine and fine ammonium salts aerosols in healthy and monocrotaline-treated rats following short-term exposure, *Inhalation Toxicology* 14, 2002; p.1215-1229

Castell, N., Mantilla, E., Millan, M. Analysis of tropospheric ozone concentration on Western Mediterranean site: Castellon (Spain). *Springer Science + Business Media* B.V. 2006.

CETESB (1993) Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil, 1993, 2005 e 2006.

CID 9 – Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à saúde. Nona revisão. Instituto Nacional de Estatística Português.

Clayton, G.D. Air pollution. In: Clayton, G.D.; Clayton F.E., *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. 3.ed. New York, John Willey & Sons, 1978. v.1, p.595-652.

Colebrook, J. M., Continuous plankton records: phytoplankton, zooplankton and environment, North-East Atlantic and North Sea, 1958-1980, *Oceanol. Acta*, *5*, 1982; p.473–480.

Conde, F.C., Uma análise de componentes principais de efeitos ambientais sobre a morbidade de doenças respiratórias em São Paulo. São Paulo – SP. 122p. Dissertação de mestrado – Instituto de Astronomia, geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2001.

Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima, 1992, artigo 3, Site acessado em 2010-04-01. Disponível em http://www.onu-brasil.org.br/doc_clima.php

Creilson, J.K.; Fishman, J.; Wozniak, A.E., Intercontinental transport of tropospheric ozone: a study of its seasonal variability across the North Atlantic utilizing tropospheric ozone residuals and its relationship to the North Atlantic Oscillation, *Atmos. Chem. Phy.* 3, 2003; p. 2053–2066.

Danet, S., Richard, F., Montaye, M., Beauchant, S., Lemaire, B., Graux, C., Cottel, D., Marécaux, N., Amouyel, P. Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. *Circulation*, 1999; v.100, p. E1-E7.

Diário Oficial das Comunidades Européias, Directiva 98/70/CE da Comissão de 7 de Novembro de 2000, 14/11/2000, L 287/46. Acessado 10 abril de 2010. Disponível em:

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:287:0046:0050:PT:PDF

Environment Canadá , Meteorological Service of Canadá, 2000, Humidex Table. Acessado em 2010.
Disponível em: http://www.msc-smc.ec.gc.ca/cd/brochures/humidex_table_e.cfm

Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Alarco´ n, M., Viana, M.M., Rodríguez, S., Wet and dry African dust episodes over Eastern Spain, *Journ. of Geoph. Res.*, 2005;110 (D18S08), 10.1029.

Escudero, M.; Querol, X., Ávila, A., Cuevas, E., Origin of the exceedances of the European daily PM limit value in regional background areas of Spain. *Atmosph. Environ.*, 2007; v. 41, Issue 4, p. 730-744.

Fanger, P. O., Thermal Comfort. *Copenhagen: Danish Technical Press*, 1970; p.243

Fanger P. O., Thermal Comfort, *McGraw-Hill*, 1972; New York.

Ferreira, A., Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal continental: estudo de factores de variação regional, Aveiro< Portugal, p. 102-7. Tese de doutorado – Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 2000.

Fontes, T., Brás, C., Impacte do tráfego Rodoviário na Qualidade do Ar da Cidade do Porto, Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais, 2005. Acessado 12 de Dezembro de 2009. Disponível no site: www.futurosustentavel.org/fotos/ambiente/Impacte_do_Trafego_Rodoviario_Nelson_Barros.pdf

Gaddum, J. H., Lognormal distributions. *Nature 156*, 1945; p.463-466.

Galton, F., Natural Inheritance. *London: Macmillan*, 1889

Gangoiti, G., Millan, M., Salvador, R., Mantilla, E., Long-range transport and re-circulation of pollutants in the western mediterranean during the project regional cycles of air pollution in the west-central mediterranean area. *Atmos. Environ.* 10, 2001; p.6267–6276.

Giles, B.D., Balafoutis, C., Maheros, P., Too hot for comfort: the heat waves in Greece in 1987 and 1988. *Int. J. Biometeorol*., 1990; v. 34, p. 98-104.

Gilmour, M.I, Jaakola, M.S., London, S.J., Nel, A.E., Rogers, C.A. () How exposure to environmental tobacco smoke, outdoor air pollutants, and increased pollen burdens influences the incidence of asthma, *Environ. Health Persp*. 114, 2006; p. 627–633.

Gonçalves, F. L. T., Braun, S., Dias, P. L. S., Sharovsky, R., Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of São Paulo, *Environ. Res.*, 2006; v. 104, Issue 2, p. 275-281.

Greenland, S., Epidemiologic measures and policy formulation: lessons from potential outcomes, *Emerging Themes in Epidemiology*, 2005.

Gros, V., Bonsang, B., Martin, D., Novelli, P. C., Kazan V., Carbon monoxide short term measurements at Amsterdam island: estimations of biomass burning emission rates, *Chem. - Global Change Sci.*, 1999; v. 1, Issues 1-3, p. 163-17.

Hansen, J, Sato, M, Kharecha, P, Russell, G, Lea, D.W, Siddall, M., Climate change and trace gases, *Philos Transact A Math Phys Eng Sci*. 365(1856), 2007; p.1925-54.

Guivant, J. S., The theory of world risk society: between diagnosis and prophecy, Pós-graduação em Sociologia Política, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Sci.* 169, 1995, p.676–679.

Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Visbeck, M., Ottersen, G., () An Overview of the North Atlantic Oscillation. The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact, J.W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, and M. Visbeck, Eds. *Geophysical Monograph Series* 134, 2003, p. 1-35.

Institute de Vielle Sanitaire, Système d'alerte canicule et santé 2005. 2005. Acessado em 10 Março de 2010.
Disponível no site: www.invs.sante.fr/surveillance/canicule/default.htm

Instituto de Meteorologia de Portugal: Fenómenos extremos –ondas de calor. 2005
Acessado em 16 Setembro de 2005.
Disponível em: URL:http://web.meteo.pt/clima/clima_ondacalor.html

Instituto de Meteorologia de Portugal. Acessado em 26 de fevereiro de 2010. Disponível no site: www.meteo.pt/pt/areaeducativa/otempo.eoclima/clima.pt/index.html

Jaffe, D. H.; Singer, M. E.; Rimm, A. A., Air pollution and emergency department visits for asthma among Ohio Medicaid recipients *Environ. Res., 91*, 2003 21.

Jorba, O., Pérez, C., Baldasano, J. M., Rocadenbosch, F., López, M. A., () Cluster analysis of backtrajectories arriving at Barcelona air basin, in *1st EARLINET Symposium on the Structure and Use of the Database derived form Systematic Lidar Observations*, Hamburg (Germany), 2003; p.11-12.

Jornal Oficial das Comunidades Européias, Directiva 2001/81/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2001, L 309 de 27.11.2001, p. 22. Acessada em 10 abril de 2010.
Disponível no site: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2001L0081:20090420:PT:PDF

Joseph, P. M.; Weiner, M. G. Visits to physicians after the oxygenation of gasoline in Philadelphia. *Arch. Environ. Health 57*, 2002; p.137.

Joseph, P. M. A novel hypothesis to explain traffic-related nocturnal cough. *Environ. Int. 33*, 2007, p. 1090.

Kaiser, H. F., The application of electronic computers to factor analysis, *Ed. and Psych Measur. 20*, 1960; p.141-151.

Kalkstein, L.S., Greene, J.S., Mills, D., Perrin, A., Samenow, J., Cohen, J-C., Analog European heat Waves for U.S. Cities to Analyze impacts on Heat- Related mortality, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 89, 2008; p.75-86.

Kalkstein, L.S., Davis, R.E., Weather and human mortality: an evaluation of demographic and interregional response in the United States. *Ann. Assoc. Am. Geographers* 79(1), 1989; p.44-64.

Kalnay, E. Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **77**, 1996, p. 437–471

Kallos, G., Kotroni, K., Lagouvardos, A., Papadopoulos, A., On the long-range transport of air pollutants form Europe to Africa. *Geoph. Res. Letters, 25*(5), 1998; p.619–622.

Koren, H. S., Devlin, Robert B., Graham, D. E., Mann, R., Mcdonnell, W. F., The Inflammatory Response in Human Lung Exposed to Ambient Levels of Ozone, *St. Environ. Sci.*, V. 35, 1989, p. 745-753

Lalas, D. P., Asimakopoulos, D. N., Deligiorgi, D. G., Helmis, C. G., Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece, *Atmos. Environ*. 17, 1983; p.1621-1632.

Lecha L., Biometeorological classification of daily weather types for the humid tropics. *Int J. Biometeorol*., 1998; v. 42(2), p.77-83.

Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N, Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R., Aviation and global climate change in the 21st century, *Atmos. Environ.*,.2009.

Leighton, R.M., Spark, E., Relationship between synoptic climatology and pollution events in Sydney. *Int. J. Biometeorol*., 1997; v. 41, p. 73-89.

Lin, C. A.; Pereira, L. A. A., Conceição, G. M. S., Kishi, H. S., Milani Jr., R., Braga, A. L. F., Saldiva, P. H. N., Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits, *Environ. Res.*, 2003; v. 92, Issue 1, p. 57-63.

Liu, J.-J.; Chan, C.-C.; Jeng, F.-T., Predicting personal exposure levels to carbon monoxide (CO) in Taipei, based on actual CO measurements in microenvironments and a Monte Carlo simulation method, *Atmos. Environ.*, 1994; v. 28, Issue 14.

Lyamani, H., Olmo, F.J., Alcántara, A., Alados-Arboledas, L., Atmospheric aerosols

during the 2003 heat wave in southeastern Spain I: Spectral optical depth; *Atmos. Environ.*, 2006; v, p. 6453-6464

Lopéz, E. M., Transporte del polvo de Sahara sobre el Atlantico. Su impacto em El tiempo, clima y La salud em El Caribe, *Anais Congresso Salud y desastres*, Cuba, 2009.

Lucas, R. M., McMichael, A. J., Association or causation: evaluating links between environment and disease, *Bull. World Health Org.*, 2005, Ref. No. 04-016048

Luthebacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H., European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500, *Sci*. 303, 2004; p. 1503.

Marques, C.; Rocha, A., Simulação de alterações climáticas no risco de incêndio florestal em Portugal. Proceedings of *3º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG. 4º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, 2003; ISBN: 972-99276-0-X. p. 98-103.

Massad, E., Saldiva, C. D., Cardoso, L. M. N., Silva, R., Saldiva, P. H. N., Böhm G. M., Acute toxicity of gasoline and ethanol automobile engine exhaust gases, *Toxic. Lett.*, 1985; v. 26, Issues 2-3, p. 187-192.

Masterson, J. e Richardson, F. A., Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity, *Environ. Canada*, Downsview, Ontario, 1979; p.45.

Martín, J., Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica, PhD. Thesis, Barcelona, edited by Institut Cartogràfic de Catalunya, 1987.

Mayer, H., Human-biometeorologische Bewertung des Stadtklimas, *Schriftenreihe der VDI-Kommission Reinhaltung der Lufi* 15, 1990; p. 87-104.

Meleux, F. Solmon, Giorgi, F., Increase in summer European ozone amounts due to climate change, *Atmos. Environ.* 41, 2007; p. 7577–7587

Michelozzi, P., Nogueira, P.J., A national system for the prevention of heat health effects in Italy. In: World Health Organization. Regional Office for Europe. Extreme weather and climate events and public health responses. Report on a WHO meeting in Bratislava, Slovakia, Copenhagen, Denmark, 2004.

Ministero de Sanidad y Consumo. El Gobbierno se anticipa a una possible ola de calor con la puesta en marcha de un plan de prevención. 2005. Acessado em Abril de 2010. Disponivel no site: www.msc.es/gabinetePrensa/notaPrensa/desarrolloNotaPrensa.jsp?id=14.

Millán, M. M., Otamendi, E., Alonso, L. A., Ureta, I., Experimental characterization of atmospheric diffusion in complex terrain with land-sea interaction, Paper 84-81.4, Proc. Annual Meeting Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA., Published in *JAPCA*, 37, 1987; p.807-811.

Millán, M. M., Artíñano, B., Alonso, L. A., Navazo, M., Castro, M., The effect of meso-scale flows on the regional and long-range atmospheric transport in the western Mediterranean area, *Atmos. Environ*. 25A, 1991; p.949-963.

Millan, M., Artiñano, B., Alonso, L., Castro, M., Fernandez-Patier, R., Goberna, J., Mesometeorological cycles of air pollution in the Iberian Peninsula (MECAPIP). *Air Poll. Res. Report. Eur. Comission* 44, 1992; EUR 14834.

Millan, M., Salvador, R., Mantilla, E., & Kallos, G., Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: Results from European research projects, *J. Geoph. Res.*. *102*(D7), 1997; p.8811–8823.

Millan, M., Estrela, M. J., Badenas, C., Meteorological processes relevant to forest fire dynamics on the Spanish Mediterranean Coast, *J. App. Meteorol.* 37, 1998; p.83–100.

Millan, M.,Mantilla, E., Carratala, R.,&Sanz, M. J., Ozone cycles in the Mediterranean basin: Interpretation of monitoring data in complex coastal terrain, *J. App. Meteorol.* 39, 2000; p.487–508.

Millán Muñoz; () Contaminación Atmosférica en el sur de Europa: Resultados de Proyectos de Europeos, *Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterrâneo*; San Sebastian, 2003.

Millan, M., Ozone Pollution in the Mediterranean, *EXPORT-E2 Final Report*, Ch20, 2003; p. 121–125.

Missenard, A., L'Homme et le climat. Paris, *Librairie Pbn*., 1937; p.270.

Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado, J.J., Linares, C., Díaz, J., Comparison between two methods of defining heat waves: A retrospective study in Castile-La Mancha (Spain) *Science of The Total Environment*, 2010; v. 408, Issue 7, 1, p. 1544-1550.

Moura, M.; Junger, W. L.; Azevedo, G.; Mendonça, S.; Leon, A. P. Air quality and acute respiratory disorders in children, *Rev. Saúde Pública*, 2008, *42*, p. 503.

National Oceanic and Atmospheric Administration, National disaster survey report, heat wave. *Silver Spring*, MD: US. Department of Commerce, 1995.

Nogueira, P.J.,_Falcao, J.M., Contreiras, M.T., Paixao, E., Brandao, J., Batista, I., Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method, *Euro Surveill* 10 (7), 2005; p. 150–153

Oliveira, C., Santos, P., Nunes, T., Pio, C., Caseiro A., Wåhlin, P., Contribuição das emissões rodoviárias na qualidade do ar da cidade do Porto, *Actas da 8ª Conferência Nacional de Ambiente*, PGQA_001, 2004.

Ono, H.S.P., Kawamura, T., Sensible climates in monsoon Ásia. *Int. J. Biometeorol*., 1991; v.35, p. 39-47.

Paixão, E, Nogueira, P.J., Estudos da onda de calor de Julho de 1991 em Portugal,

efeitos na mortalidade: relatório cientifico, Lisboa, *Observatório Nacional de Saúde*, 2002.

Pearson, K., On the generalized probable error in multiple normal correlation, *Biometrika*, 6, 1908; p.59-68.

Pereira, P.M., Saldiva, P.H.N., Sakae, R.S., Böhm, G., Martins, M.A., Urban levels of air pollution increase lung responsiveness in rats, *Environ. Res.* 69, 1995; p. 96–101.

Pokrovsky, O. M., European rain rate modulation enhanced by changes in the NAO and atmospheric circulation regimes, Computers & Geosciences 35, 2009; p. 897–906.

PORG, Ozone in the United Kingdom. Fourth Report of the UK Photochemical Oxidants Review Group, *Department of the Environment, Transport and the Regions*, London, 1997.

Pryor W. A., Lightsey J. W. Mechanisms of nitrogen dioxide reactions: Initiation of lipid peroxidation and the production of nitrous acid. *Science,* 1981; p. 214: 435.

Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Viana, M.M., Artiniano, B., Salvador, P., Mantilla, E., Santos, S.G.D., Patier, R.F., Rosa, J.D.L., Campa, A.S.D.L., Mene´ndez, M.,. Levels of PM in rural, urban and industrial sites in Spain. *The Sci. Total Environ.* 2004; p. 334-335, 359-376.

Ritchie, I. M.; Lehnen, R. G.; *Internet J. Pulm. Med.* 2004, *4*, N1.

Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O., Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in southern and E. Spain. *Atmos. Environ.* 35, 2001, p.2433-2447.

Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Plana, F., Sources and processes affecting levels and composition of atmospheric aerosol in the Western Mediterranean, *J. Geoph. Res.* 107 (D24), 2002; p.4777.

Rogers, J. C., Atmospheric circulation changes associated with the warming over the North Atlantic in the 1920s, *J. lim. Appl. Meteor. 24*, 1985; p.1303–1310,.

Rothman KJ, Greenland S. Modern epidemiology, 2nd ed. Philadelphia: *Lippincott-Raven Publishers*; 1998.

Rothman, K.J., Greenland, S., Causation and Causal Inference in Epidemiology, American journal of Public Health, supplement 1, 2005; v. 95, No. S1

Saldiva, P.H.N., A.J.F.C. Lichtenfels, P.S.O. Paiva, I.A. Barone, M.A. Martins, E. Massad, J.C.R. Pereira, V.P. Xavier and G.M. Böhm, Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo: a preliminary report, *Environ. Res.* 65, 1994; p. 218–225.

Saldiva, P.H., Air pollution and our lung disease, *J. Bras. Pneumol.* 34 (1), 2008; p. 1.

Samet, J. M., Risk Assessment and Air Pollution, *Air Pollution and Health,*1999, p. 881-897

Schneider, T., Lee S., Walters, G., Grant, L., *Atmospheric ozone research and its policy implications*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989, pp. 523–532

Sharovsky, R., Efeitos da temperatura e poluição do ar na mortalidade por infarto do miocárdio no município de São Paulo – SP. Tese de doutorado – faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, 2001.

Schwartz, J., Marcus, A. Mortality and air pollution in London: a time-series analysis, *Am. J. Epidemiol*., 1990; v. 131, p. 185-94.

Schwartz, J., Spix, C., Touloumi, G., Bachárová, L., Barumamdzadeh, T., Tertre, A., Piekarksi, T., Leon, A.P., Ponka, A., Rossi, G., Saez, M., Schouten, J.P., Methodological issues is studies of air pollution and daily counts of deaths on hospital admissions, *J. Epidemiol. Comm. Health*, 1996; v. 50, p. S3-S11.

Simkhovich, B. Z., Kleinman, M. T., Kloner, R. A., Air Pollution and Cardiovascular Injury: Epidemiology, Toxicology, and Mechanisms, *J. Am. College of Cardiology*, 2008; v. 52, Issue 9, p. 719-726.

Soares, S. R. C.; Bueno-Guimarães, H. M.; Ferreira, C. M.; Rivero, D. H. R. F.; Castro, I., Garcia, M. L. B., Saldiva, P. H. N., Urban air pollution induces micronuclei in peripheral erythrocytes of mice in vivo, *Environ. Res.*, 2003; v. 92, Issue 3, p. 191-196.

Suping, Z., Guanglin, M., Yanwen, W., Ji, L., Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *Int. J. Biometeorol*., 1992, v. 36, p. 63-8.

Thom, E.C., The discomfort index. *Weatherwise*. 1959; v. 12, p. 57-60.

Trasande, L. and Thurston, G.D., The role of air pollution in asthma and other pediatric morbidities, J. Allergy and Clinical Immun. 115, 2005; p. 689–699.

Trickl, T., Cooper, O.R., Eisele, H., James, P., Mücke, R., Stohl, A., Intercontinental transport and its influence on the ozone concentrations over central Europe: Three case studies, *J. Geoph.l Res.* 108 (D12), 2003; p. 8530

Trigo, R., Osborn, T.J., Corte-Real, J., () Influencia da oscilação do Atlântico Norte no clima do continente europeu e no caudal dos rios ibéricos atlânticos, *Finisterra, XXXVII* 73, 2002; p. 5-31.

Tromp, S.W., Biometeorology, *Heyden Hlanda*, 1980.

US Environmental Protection Agency, Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants, Research Triangle Park, NC, *National Center for Environmental Assessment, RTP Office*, (EPA report No. EPA/600/AP-93/ 004aFcF.3v), 1996.

Van Aalst, R.M., Ozone and oxidants in the planetary boundary layer. *In*: Schneider, T. et al., ed. Atmospheric ozone research and its policy implications, *proceedings of the 3rd US-Dutch international symposium;* May 1988; Nijmegen, Netherlands. Amsterdam, *Elsevier,* 1989; p. 573-587. (*St. Environ. Sci.*, No. 35).

Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodriguez, S., Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network, *Atmos. Environ* 36, 2002; p.5861-5875.

Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Gangoiti, G., Menendez, M., PM levels in the Basque Country (Northern Spain): analysis of a 5 yr data record and interpretation of seasonal variations, *Atmos. Environ*. 37 (21), 2003; p.2879-2891.

Visbeck, M., Chassignet, E.P., Curry, R., Delworth, T., Dickson, R., Krahman, G., The ocean's response to North Atlantic Oscillation variability. In *"The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact"*, J. W. Hurrel, Y. Kushnir, G. Ottersem, and M. Visbek, Eds., *AGU Monograph Series* 134, 2002, p.113-145.

WMO, Natural Hazards. Acessado em 12 abril 2010.
Disponível em: http://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_en.html

WHO, WMO, and UNEP. Climate change and human health. Geneva: WHO. 1996.

Walker, G.T., Correlations in seasonal variations of weather, *IX Mem. Ind. Meteorol. Dept.*, 24, 1924, p. 275-332.

Anexo I

Incêndios:

Junho:
21/06/2005 subestação elétrica em Madrid
23/06/2005 Mafra, Sintra.

Julho:
10/07/2005 Castelo de Paiva
12/07/2005 Mafra, Arouca
17/07/2005 Saragoça, Zamora e Cidade Real em Espanha
20/07/2005 Pióbão, Seia
21/07/2005 Seia
27/07/2005 Viana do Castelo
29/07/2005 Serra da Estrela, Chaves, Serra Arrábida, Viseu,
http://sic.sapo.pt/online/jornalismo%20do%20cidadao/incendios?month=072005

Agosto:
2/08 a 6/08/2005 Vale de Cambra
3/08/2005 Leiria, Aveiro, Beja, Évora, Penafiel,
4/08/2005 Pombal, Coimbra, Vila Real
http://www.espigueiro.pt/noticias/c778a2d8bf30ef1d3c2d6bc5696defad.html
5/08/2005 Santarém, Leiria, Aveiro, Pombal e Portalegre
6/08/2005 a maior parte dos incêndios anteriores estão circunscritos
6/08/2005 Santarém
7/08/2005 Vila real, Castelo Branco, Guarda e Parque Natural da Serra da Estrela
9/08/2005 Arouca, Braga, Serra da Estrela, Aveiro
http://sic.sapo.pt/online/jornalismo%20do%20cidadao/incendios?month=082005
12/08/2005 Vila Real, Viseu, Pampilhosa da Serra, Penafiel (Porto), Santarém
http://sic.sapo.pt/online/jornalismo%20do%20cidadao/incendios?month=082005
14/08/2005 Porto, Sto Tirso, Braga, Paços de Ferreira (Porto), Mondim de Basto (Braga), Bragança, Aveiro,
18/08/2005 Bragança
20/08/2005 Ponte de Lima (Braga)
http://pontelima.blogspot.com/2005_08_01_archive.html

Figura 1. Mapa para localização dos incêndios.

Anexo II

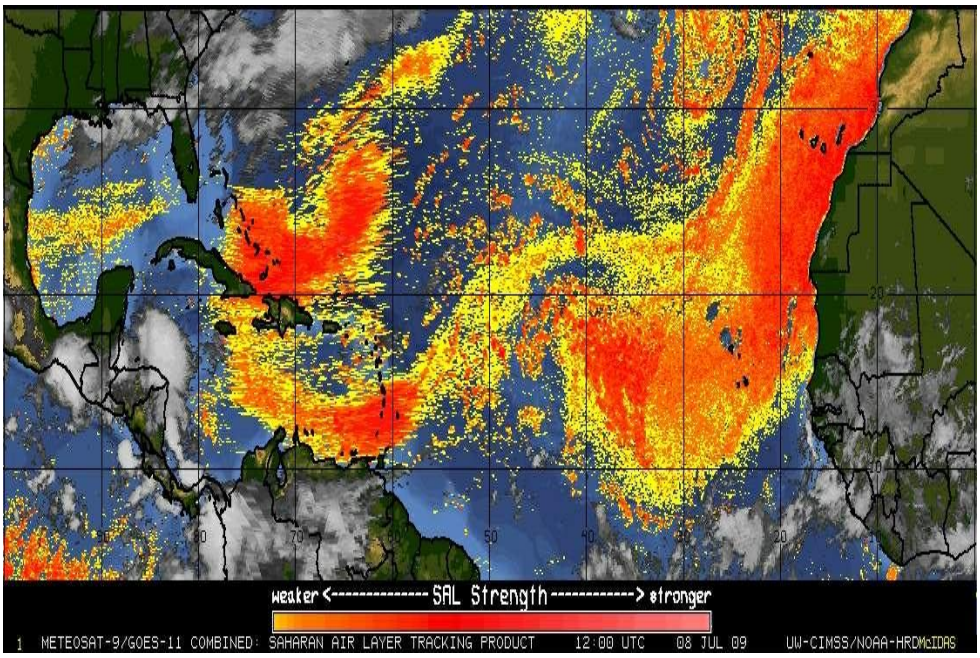



Figura 2. Imagem METEOSAT GOES IR 8 julho de 2009 1200Z onde se observa uma extensa nuvem de pó cobrindo grande parte do Atlântico o Gran Caribe e a metade oriental de Cuba.