

Universidade de Évora

Diagnóstico de extremos meteorológicos  
para detecção de ilha de calor em regiões urbanas:  
Aplicação à região da “Grande Lisboa”.

*Diagnostic of meteorological extremes  
for urban heat island detection. Case study: Lisbon.*

Dissertação submetida à Universidade de Évora para obtenção  
do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico  
Área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas

Por:

Ricardo João Ratola Capela Deus

Orientadores:

Prof. Doutor Paulo Sérgio Lucio

Prof. Doutor João Corte-Real

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri.

Évora – 2004

Universidade de Évora

Diagnóstico de extremos meteorológicos  
para detecção de ilha de calor em regiões urbanas:

Aplicação à região da “Grande Lisboa”

*Diagnostic of meteorological extremes  
for urban heat island detection. Case study: Lisbon.*

Dissertação submetida à Universidade de Évora para obtenção  
do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico  
Área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas



Por:

147 123

Ricardo João Ratola Capela Deus  
(Instituto de Meteorologia/Universidade de Évora)

Orientadores:

Prof. Doutor Paulo Sérgio Lucio  
Prof. Doutor João Corte-Real  
(Universidade de Évora)

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

Évora – 2004



## Agradecimentos

Agradeço aos orientadores, Doutor João Corte Real e Doutor Paulo Sérgio Lúcio que muito para além de orientadores, foram colegas. Não posso de deixar de agradecer a todos os meus colegas e em especial: do Departamento de Observação e Redes do I.M., Doutor Renato Carvalho, Dr. Victor Prior, Dr. Jorge Neto, Dr. Filipe Nunes, Dr. Diamantino Henriques; Departamento de Clima do I.M., Doutor Oliveira Pires e Dr. Sílvia Antunes; do Departamento de Vigilância Meteorológica, Eng. Clara Freitas e Dr. Nuno Moreira. Agradecimento muito especial a todos os familiares e amigos, em especial à Lígia Antunes Gonçalves Deus e Ângela Antunes Gonçalves.

*Os dados meteorológicos utilizados na realização desta Tese de Mestrado foram cedidos ao abrigo do protocolo estabelecido em Março de 2001 entre a Universidade de Évora e o Instituto de Meteorologia de Portugal.*

*O trabalho desenvolvido nesta Tese de Mestrado está inserido no projecto CLIMLIS: Princípios Climáticos para o Planeamento Urbano; aplicação a Lisboa. Aprovado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (POCTI/34683/GEO/2000) e participado pelo fundo comunitário europeu FEDER*

## RESUMO

---

A execução deste estudo teve como objectivo a avaliação do fenómeno da “ilha de calor urbano” no que respeita ao seu comportamento, *i.e.*, à sua variação, forma e intensidade. Numa primeira fase foram analisadas as séries de dados meteorológicos relativos à temperatura do ar (máxima e mínima diária) a 1.5 metros de altura em algumas estações da região da Grande Lisboa no período entre 1941 e 2001, com o intuito de detectar e avaliar as tendências associadas a cada série de dados. Para a execução desta primeira fase foi necessário implementar um algoritmo para recuperar os registos com falhas, chamado modelo integrado de recuperação de séries (MIRS), que na sua essência se dividiu em dois momentos: interpolação temporal recorrendo a autocorrelação, e interpolação espacial baseado na distância horizontal e vertical entre estações meteorológicas. Numa segunda fase deste estudo, recorrendo às séries de dados meteorológicos do ano de 2002, resultado das observações executadas nas estações meteorológicas automáticas do IM instaladas na região de Lisboa com a integração em períodos de 10 minutos, procurou-se observar a interacção do fenómeno da “ilha de calor urbano” no que respeita ao seu comportamento com a situação meteorológica e outros parâmetros meteorológicos, designadamente campo do vento (intensidade e direcção) à superfície. O resultado da análise de tendência, aplicado à série da média anual da temperatura mínima do ar entre 1958-2001, traduz-se num aumento de 1.0°C na estação meteorológica instalada no Geofísico, centro da cidade Lisboa. Este facto é parcialmente corroborado pelo processo do fenómeno de ilha de calor urbano cuja a intensidade apresenta uma forte dependência sazonal e diária, bem como circulações de anticiclone, vento fraco e céu pouco nublado.

## ABSTRACT

---

In this study is proposed to research the influence of urban heat advection on the air temperature time series, or to observe the space-time behaviour, shape, intensity and form, of the Urban Heat Island phenomenon. The procedures for evaluating extreme air temperature time series obey a sequential strategy divided in two phases: the first one uses the annual series of extreme air temperature anomalies for each meteorological station and analysed the respective tendencies. Moreover, the first phase was still subdivided in two moments to deal with the reconstruction of climate time series, taking into account daily data sets: interpolation considering the autocorrelation time-memory; and the spatial interpolation procedure based upon the “optimum distance” between stations. Hence, an integrated model for the reconstruction of time series was developed, which conjugates small-scale space-time interaction between meteorological stations. In the second phase was used the air temperature time series of the several station to studied, empirically by comparing the hourly meteorological data series from the Meteorological Institute (2002) obtained through the automatic meteorological stations installed in the metropolitan area of Lisbon, the space/time behaviour of the Urban Heat Island phenomenon due to the different wind regimes and synoptic situations that affect Lisbon. Particular situations of wind direction and regimes are analysed and associated with the heat urban island phenomenon. Because the urban areas around the site expanded in the past century, urban heat advection trends contaminate the long-term trends in the air temperature series, the linear trend obtained was 0.0233°C/year in the minimum air temperature annual average. The Urban Heat Island phenomenon is observed in the large metropolitan areas, and it can be described as a thermal anomaly [ $\Delta T$ ] between a well characterized urban area and the rural background, in which the air near the ground in urban areas has high values than rural areas.

**ÍNDICE**

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I - INTRODUÇÃO.....</b>                                                                    | <b>3</b>  |
| <b>II - CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....</b>                                                      | <b>7</b>  |
| <b>DADOS</b>                                                                                  |           |
| 2.1 - FASE I.....                                                                             | 7         |
| 2.2 - FASE II.....                                                                            | 10        |
| <b>III - METODOLOGIA</b>                                                                      |           |
| 3.1 - FASE I.....                                                                             | 13        |
| 3.1.1- “Modelo Integrado de Reconstrução de Séries” – MIRS                                    |           |
| 3.1.1.1-Etapa diária - Dependência temporal                                                   |           |
| 3.1.1.2-Etapa diária - Dependência espacial                                                   |           |
| 3.1.1.3-Etapa mensal - ARIMA                                                                  |           |
| 3.1.1.3.1 - Conceitos                                                                         |           |
| 3.1.1.3.2 - Aplicação da metodologia                                                          |           |
| 3.2 - FASE II.....                                                                            | 28        |
| <b>IV - DIAGNÓSTICO</b>                                                                       |           |
| 4.1 - FASE I.....                                                                             | 35        |
| 4.1.1- “Modelo Integrado de Reconstrução de Séries” – MIRS                                    |           |
| 4.1.1.1-Etapa diária - Dependência temporal                                                   |           |
| 4.1.1.2-Etapa diária - Dependência espacial                                                   |           |
| 4.1.1.3-Etapa mensal - ARIMA                                                                  |           |
| 4.1.2- Tendência das séries                                                                   |           |
| 4.1.2.1- Ajuste e aplicação de modelos de tendência – séries da anomalia da temperatura do ar |           |
| 4.1.2.2- Aplicação de modelos tendência casos pontuais – séries da temperatura do ar          |           |
| 4.2 - FASE II.....                                                                            | 56        |
| 4.2.1- Observações de superfície                                                              |           |
| 4.2.1.1- Temperatura do ar                                                                    |           |
| 4.2.1.2- Humidade relativa do ar                                                              |           |
| 4.2.1.3- Intensidade e rumo do vento                                                          |           |
| 4.2.2- Ilha de Calor urbano                                                                   |           |
| <b>V - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....</b>                                                     | <b>89</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                        | <b>95</b> |

## **ANEXOS – Fase I**

**I.A – Listagem (registos validos e registos com falha) dos dados utilizados correspondentes a cada estação meteorológica – Fase I**

**I.B – Resultados da aplicação do MIRS – Etapa diária - Dependência temporal**

**I.C – Listagem (registos validos e registos com falha) dos dados, após aplicação do MIRS – Etapa diária – Dependência temporal, correspondentes a cada estação meteorológica**

**I.D – Identificação e Diagnóstico do modelo ARIMA.**

**I.E – Algoritmo, em S-PLUS, implementado na reconstrução espacial (MIRS).**

## **ANEXOS – Fase II**

**II.A – Imagem satélite da banda IV composta com pressão atmosférica N.M.M. e tefigrama correspondente à data da imagem.**

**II.B – Perfis verticais da temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho na baixa Troposfera.**

## I - INTRODUÇÃO

Uma das características mais relevantes da evolução do clima nos últimos 100 anos, é a sua grande variabilidade, quer à escala global quer à escala regional. Apresentando um carácter único quando se refere à escala regional, nomeadamente, quando se estuda o clima local associado às cidades em desenvolvimento, podendo assim ser identificado o efeito do fenómeno da “ilha calor urbana”(e.g. Antunes, 1998; Antunes, *e.t. al.*, 1996).

Na viragem dos anos 50, do século XX, com o acontecimento da 2ª Guerra Mundial, ocorreu um crescimento exponencial das áreas metropolitanas e, consequentemente, a aglomeração de população nos centros citadinos, que está directamente associada e se sustenta, através de: processos de consumo intensivo de energia em função do tipo de industrialização; produção artificial de calor; criação de infra-estruturas que constituem a cidade com materiais como o asfalto, betão e vidro; altura e forma das construções; tráfego de pessoas e automóveis; a impermeabilização do solo através da colocação de superfícies de asfalto, a colocação de calçada e a aglomeração de construções. Todos estes processos identificam as diferentes necessidades da população segundo o modo urbano de vida e interferem nas características do clima das regiões, indiciando uma interacção com os recursos naturais que, em regra, provocam profundos impactos ambientais nas regiões nas quais se encontram implantadas as áreas metropolitanas.

Segundo alguns autores, (Sailor, 1995; Landsberg, 1981) os primeiros estudos sobre clima urbano foram realizados em Londres, embora remonte à época do Império Romano as primeiras percepções das diferenças térmicas entre zona urbana e área rural, mais concretamente na época do Imperador Tiberius – “Lucius Seneca”. No fim da idade média, em Londres, a poluição produzida pela combustão de carvão de pedra nos limites da cidade gerou um enorme debate público, John Evelyn identificou que as indústrias seriam a causa da poluição da cidade de Londres, tendo efectuado uma curiosa observação que essa poluição quase desaparecia no Domingo. Luke Howard em 1812, no seu livro sobre clima em Londres, “London Climate”, descreve a contaminação do ar e a ocorrência de temperaturas mais elevadas na cidade do que nos arredores. No final do século XIX, ano de 1855, Émilien Renou descreve o clima da cidade de Paris, surgindo alguns anos mais tarde, em 1868, os primeiros estudos que envolveram a utilização de um termómetro de mercúrio com o qual Émilien Renou observou que a temperatura do ar na cidade era cerca de 1°C superior ao valor observado na área rural. Após a Revolução Industrial, foram observadas modificações no clima, nomeadamente, devido à urbanização e à concentração de poluentes. Após estudos

pioneiros realizados em Londres, várias investigações foram realizadas, sendo registadas várias alterações no clima. Este tipo de estudos mais tarde ficaram identificados como estudos clima urbano (Landsberg, 1981), que ao nível da escala local, se pode considerar como o resultado da interacção directa entre o homem e o clima à escala global.

Tendo como pano de fundo as mais variadas abordagens realizadas por inúmeros investigadores em trabalhos anteriores, tornou-se interessante efectuar um estudo em termos climáticos aplicado à área metropolitana de Lisboa, revelando assim as relações entre o clima citadino, de modo geral, com fenómenos de micro-escala em termos meteorológicos, mais concretamente o fenómeno de “ilha de calor urbano” e fenómenos da escala sinóptica.

Assim, considerando registos históricos e investigações desenvolvidas por outros autores (Alcoforado, 1988, Landsberg, 1981, Oke, 1987), este trabalho apresenta-se com o objectivo de:

- i. na primeira etapa à qual se designou de fase I, identificar através de um diagnóstico das séries temporais (1941-2001) de dados meteorológicos do arquivo do Instituto de Meteorologia de Portugal (IM), nomeadamente a grandeza, temperatura do ar máxima e mínima diária, resultado das observações executadas nas 19 estações meteorológicas da rede clássica do IM, as características da evolução temporal das diversas séries de dados em estudo no que respeita à sua tendência;
- ii. etapa seguinte à qual se designou de fase II, observar o fenómeno da “ilha de calor urbano” no que respeita ao seu comportamento, isto é, variação, forma, intensidade e a sua interacção com outros parâmetros meteorológicos, designadamente com o campo do vento (intensidade e direcção) da humidade relativa do ar à superfície, recorrendo às séries de dados (ano 2002) resultado das observações executadas nas estações meteorológicas automáticas do IM instaladas na região de Lisboa, com a integração em períodos de 10 minutos.

Esta dissertação está delineada da seguinte forma: no capítulo I são desenvolvidas algumas considerações sobre o fenómeno de ilha de calor; no capítulo II são apresentadas as condições experimentais afectas a esta dissertação; no capítulo III metodologia utilizada nas fases I e II; capítulo IV diagnóstico dos dados de ambas as fases; capítulo V conclusões e perspectivas futuras.

Além dos diversos capítulos enumerados, seguem-se a bibliografia e os anexos A a G.

## ILHA DE CALOR URBANO

A transformação de uma região através da substituição de materiais naturais por materiais associados à construção dos centros urbanos, bem como as formas complexas como prédios e ruas, alteram tanto a quantidade de calor absorvido pela região, como a direcção e a velocidade dos ventos provocando mudanças nas características da atmosfera local.

Um dos fenómenos que se observa nas grandes cidades pode ser descrito por, camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais circundantes, implicando valores de temperatura do ar mais elevada nos grandes centros, a este fenómeno pode designa-se por “ilha de calor urbano”, Fig. 1a.

Este fenómeno pode-se definir como uma anomalia térmica, na qual o ar da cidade é mais quente que o das regiões vizinhas, áreas rurais e suburbanas (Oke, 1987; Myer, 1991). Os efeitos da “ilha de calor urbana” são um bom exemplo das modificações, com causas antropogénicas, directamente na baixa troposfera. Pode-se identificar algumas causas que indiciam a formação do fenómeno de ilha de calor urbano nas áreas citadinas: o aquecimento da camada de ar mais próxima ao solo devido à grande quantidade de poluentes na atmosfera, Fig.1b; a alteração no campo do vento à superfície resultado da circulação da micro-escala originada pelo aquecimento da camada de ar próxima da superfície, Fig.1c; utilização de ar condicionado alterando a temperatura do ar nos edifícios, os gases emanados dos automóveis e das indústrias provocam aumento do calor na área urbana (Myer, 1991); a grande concentração de edifícios, que impede a chegada de energia solar na superfície; em função das propriedades térmicas dos materiais urbanos, o calor é rapidamente absorvido durante o dia; a diminuição da quantidade de vegetação e a diminuição de superfícies líquidas nos centros urbanos que indiciam a diminuição a evapotranspiração (Myer, 1991).

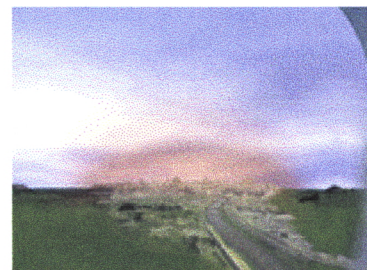


Fig. 1a-Esquema do campo térmico tridimensional que envolve o centro citadino. Fonte: CPTEC – INPE – Brasil.



Fig. 1b-Concentração de poluentes atmosféricos sobre a cidade (conhecido por “smog”). Fonte: CPTEC – INPE – Brasil.



A intensidade do fenómeno da “ilha de calor urbana” está relacionada com o tamanho da cidade e a sua população; índices de poluição da atmosfera; do local no qual a cidade se encontra implantada; a orografia; proximidade de grandes superfícies de água e as condições meteorológicas (situações sinóticas, vento sinótico - circulações da escala sinótica, isto é fenómenos meteorológicos cuja a escala espacial é da ordem 2000km, tais como frentes, ciclones e anticiclones) que afectam a região na qual a cidade se encontra (Montávez, *e.t. al*, 1999). Assim, as cidades mais populosas, que se encontrem edificadas no interior e longe de grandes superfícies de água estão sujeitas a maiores efeitos do fenómeno da “ilha de calor urbano”. Porém, considerar apenas os indicadores enumerados, não é suficiente para explicar esse fenómeno físico, a geometria das ruas e dos prédios nas áreas urbanas e suburbanas influenciam a intensidade do fenómeno em estudo (Oke, 1987; Antunes, *e.t. al*, 1996; Montávez, *e.t. al*, 1999; Alcoforado, 2001).

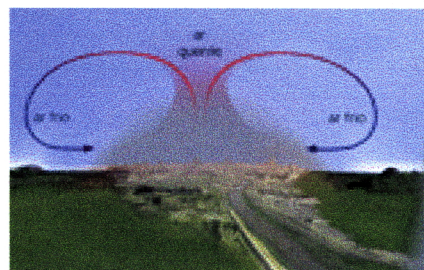


Fig.1c-Esquema da circulação atmosférica da micro-escala originada pelo aquecimento do ar próximo da superfície da cidade. Fonte: CPTEC – INPE – Brasil.



## II - CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Lisboa encontra-se implantada na parte Ocidental de Portugal, entre 9°W e 9°30'W de longitude e 39°N e 38°30'N de latitude, aproximadamente 40 Km da costa atlântica (Fig.2a), proximidade esta que se revela ser de extrema importância, pois apresenta-se como sendo um dos principais contribuintes para o clima da região, que se pode considerar ameno.

A área metropolitana da cidade de Lisboa, ou a “Grande Lisboa” ocupa cerca de 1000 km<sup>2</sup> e tem mais de 2.500.000 de habitantes, no que concerne às características orográficas esta área é composta por elevações que atingem a altitude de 500 metros, nomeadamente a Serra de Sintra. Além desta elevação a zona mais a norte da



Fig.2a – Localização da cidade de Lisboa. Fonte: SIG - IM – Portugal.

cidade de Lisboa (conhecida pela zona do Oeste, área em grande parte agrícola) também é composta por algumas elevações que atingem a altitude de aproximadamente 300 metros. A zona a nordeste da cidade é composta por zonas baixas que na realidade são as margens do rio Tejo.

No que respeita à zona central da cidade de Lisboa, esta não tem mais de 600.000 habitantes e é caracterizada na fronteira a Sul e a Este pelo estuário do Rio Tejo e a Norte e Oeste por um complexo sistema de pequenas elevações (colinas).

## DADOS

### 2.1 - FASE I

Na **Fase I** deste estudo são analisadas as condições experimentais, ou seja, as séries de dados (valores da temperatura do ar) correspondentes às temperatura do ar, máxima e mínima diária, registadas nas estações meteorológicas da região de Lisboa (cerca de 4800 km<sup>2</sup>), nomeadamente, (1) Torres Novas - Dois Portos, (2) Salvaterra de Magos, (3) Colares - Sarrazola, (4) Sintra, (5) Cabo da Roca, (6) Sintra- Pena, (7) Paiã - Escola Agrícola, (9) Cabo Ruivo, (8) Sacavém, (10) Sassoeiros, (11) Lisboa - Tapada da Ajuda, (12) Lavradio, (13)



Sintra - Granja, (14) Montijo - Base Aérea, (16) Lisboa - Portela, (17) Alverca - Base Aérea, (18) Ota - Base Aérea, (15) Lisboa - Geofísico, (19) Lisboa - Gago Coutinho. Na Fig.2b está esquematizada, a localização dos parques meteorológicos do IM nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas clássicas.

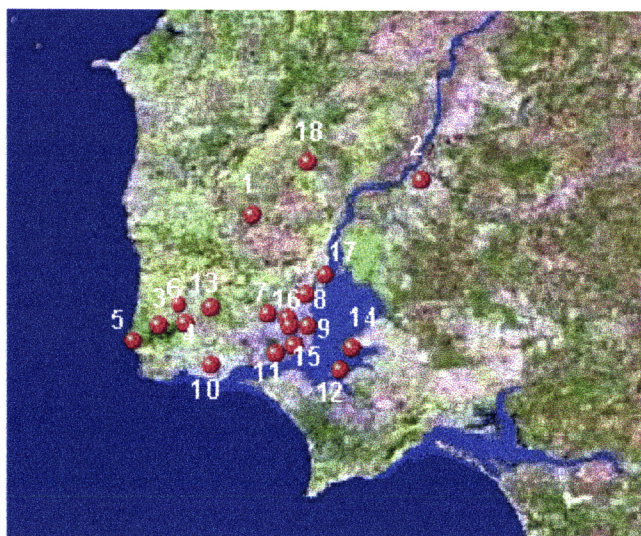


Fig.2b – Localização dos parques meteorológicos na região da grande Lisboa, nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas clássicas utilizadas neste estudo, ver Quadro I. Fonte: SIG, IM 2003

As séries de dados da temperatura do ar, máxima e mínima diária, obtidas através das observações meteorológicas efectuadas nas estações meteorológicas da rede Nacional do IM, reportam-se aos anos entre 1941 e 2001, totalizando 61 anos de dados.

As séries de dados da temperatura do ar, máxima e mínima, das estações meteorológicas seleccionadas apresentam diferentes datas de início de funcionamento, isto é, das várias séries de dados apenas as das estações meteorológicas de Lisboa - Geofísico; Cabo da Roca; Sintra - Granja; Torres Novas - Dois Portos; Lisboa - Tapada da Ajuda; Paiã -

| <b>Quadro I</b>                                                     |                                  |                                      |                              |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| <b>Nome e número da estação meteorológica e respectiva altitude</b> |                                  |                                      |                              |
| <b>1 - Torres Novas - Dois Portos</b>                               | <b>2 - Salvaterra de Magos</b>   | <b>3 - Colares - Sarrazola</b>       | <b>4 - Sintra</b>            |
| Nº 139 – 150 metros                                                 | Nº 141 – 5 metros                | Nº 148 – 55 metros                   | Nº 149 – 200 metros          |
| <b>5 - Cabo da Roca</b>                                             | <b>6 - Sintra- Pena</b>          | <b>7 - Paiã - Escola Agrícola</b>    | <b>8 - Sacavém</b>           |
| Nº 150 – 142 metros                                                 | Nº 151 – 471 metros              | Nº 153 – 70 metros                   | Nº 155 – 9 metros            |
| <b>9 - Cabo Ruivo</b>                                               | <b>10 - Sassoeiros</b>           | <b>11 - Lisboa - Tapada da Ajuda</b> | <b>12 - Lavradio</b>         |
| Nº 157 – 16 metros                                                  | Nº 160 – 50 metros               | Nº 162 – 37 metros                   | Nº 166 – 6 metros            |
| <b>13 - Sintra - Granja</b>                                         | <b>14 - Montijo - Base Aérea</b> | <b>15 - Lisboa - Geofísico</b>       | <b>16 - Lisboa - Portela</b> |
| Nº 532 – 134 metros                                                 | Nº 534 – 14 metros               | Nº 535 – 77 metros                   | Nº 536 – 103 metros          |
| <b>17 - Alverca - Base Aérea</b>                                    | <b>18 - Ota - Base Aérea</b>     | <b>19 - Lisboa - Gago Coutinho</b>   |                              |
| Nº 537 – 2 metros                                                   | Nº 539 – 40 metros               | Nº 579 – 104 metros                  |                              |

Escola Agrícola iniciaram funcionamento no ano de 1941. Em 1945 a estação meteorológica da Ota - Base Aérea iniciou observações; 1946 a estação meteorológica de Sintra; 1950 a estação meteorológica de Salvaterra de Magos; 1954 a estação meteorológica do Montijo - Base Aérea; 1958 a estação meteorológica de Cabo Ruivo; 1963 a estação meteorológica de Sacavém; 1970 a estação meteorológica de Sassoeiros e Colares - Sarrazola; 1971 a estação meteorológica de Alverca - Base Aérea; 1982 a estação meteorológica de Lisboa - Gago Coutinho.



Das diversas séries de dados das estações meteorológicas utilizadas neste estudo, apenas as de Lisboa – Gago Coutinho, Lisboa – Geofísico, Cabo da Roca, Sintra – Granja, Montijo – Base Aérea continuam até à data a executar programa de observação meteorológica.

É importante referir, que os dados meteorológicos da temperatura do ar, máxima e mínima diária, são resultado da observação diária efectuada às 9 UTC através dos instrumentos meteorológicos, nomeadamente, termómetro de mercúrio de mínima e termómetro de mercúrio de máxima. Perante este facto torna-se necessário ressaltar que, a observação da temperatura máxima do ar, nos mapas de observação atribuída a um certo dia, na realidade essa observação corresponde ao dia anterior. Para simplificar a identificação das estações meteorológicas em estudo, será associado a cada uma, o número de cadastro estipulado pelo Instituto de Meteorologia, Quadro I.

Na primeira abordagem efectuada às séries de dados da temperatura do ar mínima e máxima diária correspondentes às diferentes estações meteorológicas utilizadas neste estudo, identificou-se a existência de registos sem informação em todas as séries, condição essa que cria alguma dificuldade na análise estatística.

Das diversas séries de dados da temperatura do ar mínima e máxima diária, a título de exemplo, pode-se realçar as séries de dados que apresenta, uma maior percentagem de registos com dados e a série que apresenta uma das menores percentagens de registos com dados, assim, e respectivamente:

- i. A série de dados da estação meteorológica do Lisboa/Geofísico apresenta 97% de dados, sendo os restantes registos sem informação, mais concretamente: 3 na temperatura do ar mínima no ano de 1981; 1 da temperatura do ar máxima no ano de 1994; ano completo de 1996; 181 registos da temperatura do ar mínima como da máxima; 1 da temperatura do ar máxima no ano de 1999 e 59 da temperatura do ar mínima como da máxima;
- ii. A série de dados da estação meteorológica Lisboa/Gago Coutinho apresenta 30% de dados, embora esta estação meteorológica apenas tenha entrado em funcionamento operacional a partir de 1982, identificando-se: 4 registos sem informação da temperatura do ar mínima e 5 temperatura do ar máxima no ano de 1991; 1 registo sem informação da temperatura do ar máxima no ano de 1994; ano completo de 1996 de registos sem informação; 334 registos sem informação no ano de 1997; 1 registo sem informação da temperatura do ar máxima no ano de 1998; 36 registos sem informação da temperatura do ar máxima no ano de 1998; 5

registos sem informação no ano de 2000 e 1 registo sem informação no ano de 2001;

Observou-se que a série de dados da estação meteorológica de Sintra – Pena (151) apresentava bastantes incongruências no que respeita ao conteúdo dos dados da temperatura do ar, assim, foi decisão não utilizar esses dados.

A análise das séries da temperatura máxima e mínima do ar diária é efectuada recorrendo à análise estatística. Por uma questão de organização efectuou-se uma análise estatística por ano, entre 1941-2001, do número de registos com dados e número de registos sem informação (QuadroII e QuadroIII, ANEXO A).

Como resultado da avaliação inicial executada às séries de dados da temperatura máxima e mínima do ar diária das várias estações meteorológicas, ficou evidente a necessidade de “recuperar” os registos das várias estações sem informação. Este resultado inicial, proporcionou a necessidade de reestruturar a forma segundo a qual se abordou as séries de dados em estudo, assim baseando-nos em alguns estudos e trabalhos apresentados por autores, identificaram-se algumas formas consistentes e razoáveis segundo as quais fosse possível a “recuperação” dos registos das várias estações que se apresentavam sem informação.

## 2.2 - FASE II

A **Fase II** deste estudo tem por base, a avaliação da intensidade, forma do fenómeno “ilha de calor urbana” na cidade de Lisboa. Para este efeito, recorreu-se aos dados meteorológicos, resultado das observações executadas nas estações meteorológicas automáticas do IM instaladas na região de Lisboa, com período de integração de 10 minutos.

Estes dados (mais concretamente, da temperatura e humidade relativa do ar e rumo e intensidade do vento) apresentam uma excelente resolução temporal e espacial permitindo a observação do fenómeno em estudo. Os dados da temperatura e humidade relativa do ar rumo e intensidade do vento, resultado das observações nas estações meteorológicas automáticas foram convertidos em ficheiros de dados horários para o ano de 2002.

| <b>QuadroIV</b>                                                                      |                                 |                               |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Nº na figura 5b, nome e número da estação meteorológica e respectiva altitude</b> |                                 |                               |                               |
| <b>1</b> - Dois Portos-Torres Novas                                                  | <b>3</b> - Cacém-Sintra         | <b>4</b> - Amadora-Amadora    | <b>5</b> - Benfica-Lisboa     |
| Nº 739 – 150 metros                                                                  | Nº 927 – 110 metros             | Nº 926 – 100 metros           | Nº 923 – 90 metros            |
| <b>6</b> - Alvalade-Lisboa                                                           | <b>2</b> - Gago Coutinho-Lisboa | <b>7</b> - Estefânia-Lisboa   | <b>9</b> - Estrela-Lisboa     |
| Nº 921 – 90 metros                                                                   | Nº 579 – 104 metros             | Nº 924 – 70 metros            | Nº 920 – 60 metros            |
| <b>10</b> - Baixa-Lisboa                                                             | <b>12</b> - Barreiro-Barreiro   | <b>11</b> - Lavradio-Barreiro | <b>8</b> - Lisboa – Geofísico |
| Nº 925 – 30 metros                                                                   | Nº 928 – 15 metros              | Nº 766 – 6 metros             | Nº 535 – 77 metros            |

As estações meteorológicas automáticas (EMA) utilizadas para esta fase foram EMA de: Alvalade-Lisboa; Baixa-Lisboa; Benfica-Lisboa; Estrela-Lisboa; Estefânia-Lisboa; Dois



Portos-Torres Novas; Lavradio-Barreiro; Barreiro-Barreiro; Cacém-Sintra; Amadora-Amadora; Geofísico-Lisboa; Gago Coutinho-Lisboa. Tal como foi efectuado na Fase I a identificação das estações meteorológicas automáticas em estudo, será através do número de cadastro estipulado pelo IM, QuadroIV.

Os parques meteorológicos nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas automáticas são: Lisboa/Geofísico (altitude 77metros, situada no centro da região urbana da cidade de Lisboa); Gago Coutinho (localizada perto do aeroporto a 104metros de altitude, nesta área não existem edificios altos nem árvores de grande porte); Dois Portos (localizada a 150metros de altitude, está instalada numa área de características determinantemente rurais, designada de Zona Oeste; Lavradio (instalada a 6metros de altitude na margem sul do rio Tejo e a aproximadamente 50metros do rio Tejo); Alvalade-Lisboa (altitude 90metros, situada aproximadamente a 2000metros de distância da zona do aeroporto, para “dentro” da malha urbana da cidade de Lisboa); Baixa-Lisboa (altitude de aproximadamente 30metros, situada no centro da zona urbana da cidade de Lisboa); Benfica-Lisboa (altitude 90metros, situada a Oeste do centro da zona urbana da cidade de Lisboa); Estrela-Lisboa (altitude aproximada de 60metros, situada no centro da zona urbana da cidade de Lisboa); Estefânia-Lisboa (altitude de, aproximadamente 70metros, situada a Este do centro da zona urbana da cidade de Lisboa); Barreiro-Barreiro (instalada a 15metros de altitude na margem sul do rio Tejo, mas dentro da malha urbana); Cacém-Sintra (instalada a aproximadamente 110metros de altitude dentro da malha urbana da cidade do Cácer); Amadora-Amadora (instalada a aproximadamente 120metros de altitude dentro da malha urbana da cidade da Amadora).

A Fig.2c patenteia esquematicamente as localizações dos parques meteorológicos do Instituto de Meteorologia, nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas automáticas.

É de realçar que os registos obtidos nas estações meteorológicas automáticas pertencem a duas redes distintas: Rede Urbana

Estações Meteorológicas Automáticas (RUEMA) e a rede Nacional de Estações



Fig.2c – Localização dos parques meteorológicos na região da grande Lisboa, nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas automáticas utilizadas neste estudo. Fonte: SIG, IM 2003

Meteorológicas Automática (EMA), Embora sejam duas redes diferentes os sensores utilizados em cada uma delas são similares na forma de cálculo dos parâmetros meteorológicos, nomeadamente através do sensor de temperatura do ar (pt100), anemómetro de conchas e cata-vento geram dados de intensidade e rumo do vento, e higrómetro para obtenção dos dados de humidade relativa do ar (Carvalho *et. al*, 1999).

### **III - METODOLOGIA**

#### **3.1 - FASE I**

Métodos de homogeneização de séries, recuperação de registos sem informação têm sido desenvolvidos, tendo estes processos por base, em regra: a comparação com séries obtidas em locais próximos com as mesmas características climáticas (Alexandersson, 1995); a utilização da própria série para colmatar registos sem informação, por exemplo a forte relação entre a variação da temperatura mínima e a máxima do ar, a forte relação entre um registo e o seu registo antecedente e subsequente.

Algumas destas constatações poderão ser verificadas ao executar a análise da função correlação entre temperatura máxima e mínima de cada estação e aplicação da função autocorrelação para cada série de dados.

O método da reconstrução das séries de dados meteorológicos, temperatura do ar, obedece a uma estratégia sequencial que foi moldada ao tipo de dados utilizados e à dependência temporal e espacial. Assim, a estratégia dividiu-se em duas etapas: a etapa na qual a reconstrução foi aplicada aos dados diários; e a etapa para a qual se utilizaram os dados mensais.

Sendo que a etapa diária foi subdividida em dois momentos, primeiro momento no qual a dependência utilizada é apenas temporal, e um segundo momento no qual é utilizado apenas a dependência espacial.

A estas etapas na reconstrução das séries de dados designou-se de “Modelo Integrado de Reconstrução de Séries - MIRS” este modelo conjuga as características temporais e espaciais de cada série de dados meteorológicos.

#### **3.1.1 - “Modelo Integrado de Reconstrução de Séries” – MIRS**

##### **3.1.1.1 - Reconstrução diária – Dependência temporal**

Alguns dos conceitos inerentes à análise estatística de séries temporais, tem como objectivo corroborar a explicação dos métodos de previsão pela metodologia Box-Jenkins. Um processo estocástico envolve sempre uma variação de uma função no tempo. A diferença fundamental entre um processo estocástico e uma variável aleatória é exactamente esta dependência temporal. Estes processos podem-se pensar como sendo funções que variam no tempo mas que têm uma intensidade que varia de forma aleatória.



Uma série temporal, a exemplo uma série de dados da temperatura do ar, caracteriza-se como um conjunto de observações que representam uma variável observada ao longo do tempo. Quando existe uma continuidade das observações, isto é, incessantemente ao longo do tempo, diz-se que a série temporal é contínua.

Contrariamente, uma série temporal discreta é aquela em que as observações são tomadas em um conjunto discreto, ou seja, em intervalos fixos de tempo.

Uma série temporal é uma realização de uma família de variáveis aleatórias  $X_{(s,t)}$  (espaço-temporal), onde  $s$  define as características espaciais e  $t$  as temporais. De outra maneira, o modelo de série temporal para dados observados é uma especificação das distribuições de uma sequência de variáveis aleatórias, da qual para um dado  $s$ ,  $X_{(s,t)}$ , é uma função de tempo, denominada de realização do processo.

### Estacionariedade das séries

Considere-se um conjunto de variáveis aleatórias medidas para posições fixas,  $\{X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}\}$  pertencente a um processo estocástico  $\{X_{(s,t)} : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . A função de distribuição n-dimensional é definida como

$$F(X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}) = P\{S : X_{(s,t_1)} \leq X_{t_1}, X_{(s,t_2)} \leq X_{t_2}, \dots, X_{(s,t_n)} \leq X_{t_n}\}$$

Um processo diz-se estacionário de primeira ordem, estacionário de segunda ordem e estacionário de ordem  $n$ , em distribuição, se respectivamente:

1. a função de distribuição unidimensional for constante no tempo, isto é, se  $F(X_{t_1}) = F(X_{t_1+k})$ , para  $t_1$  e  $k$  inteiros;
2. a função de distribuição  $F(X_{t_1}, X_{t_2}) = F(X_{t_1+k}, X_{t_2+k})$ ;
3. a função de distribuição  $F(X_{t_1}, \dots, X_{t_n}) = F(X_{t_1+k}, \dots, X_{t_n+k})$ .

Se considerarmos um o processo estocástico,  $X_{(s,t)}$  como um conjunto de variáveis aleatórias em função de tempo para posições fixas,  $X_{(s,t)}$ , pode-se representá-lo simplesmente por  $X_{(t)}$  ou  $X_t$ . Para um dado processo  $\{X_{(t)} : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ , define-se como média do processo ou esperança matemática ( $\mu$ ) como

$$\mu_t = E_{(X_t)} \dots \dots \dots (1)$$

Em termos de amostragem, com uma única realização, o estimador natural da média do processo é a média simples dada por

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_{(t)} \dots\dots\dots(2)$$

na realidade é a média temporal de  $n$  observações. A variância é definida como

$$\sigma_t^2 = E(X_t - \mu_t)^2 \dots\dots\dots(3)$$

a covariância entre  $X_{t_1}$  e  $X_{t_2}$  como  $\gamma_{(t_1, t_2)} = E(X_{t_1} - \mu_{t_1})(X_{t_2} - \mu_{t_2}) \dots\dots\dots(4)$

e a correlação entre  $X_{t_1}$  e  $X_{t_2}$  como  $\rho_{(t_1, t_2)} = \frac{\gamma_{(t_1, t_2)}}{\sqrt{\sigma_{t_1}^2} \sqrt{\sigma_{t_2}^2}} \dots\dots\dots(5)$

Para um processo ser considerado perfeitamente estacionário, este tem de apresentar: valor médio e variância constantes e independente de  $t$ ; e covariância para qualquer par de valores  $s$ , e  $t$  dependente apenas do intervalo entre esses pontos e independente do tempo  $t$ .

Considerando  $\mu_t = \mu_{(t)}$ ;  $X_t = X_{(t)}$ ;  $\sigma_t^2 = \sigma_{(t)}^2$  pode-se inferir que um processo estacionário apresenta, tendo que a função de distribuição se aplica para todo  $t$ , a média  $\mu_t = \mu$  constante e  $E(|X_{(t)}|) < \infty$ . De semelhante modo, se  $E[X_{(t)}^2] < \infty$ , então a variância,  $\sigma_{(t)}^2 = \sigma^2$  para todo  $t$ , também é constante. Uma vez que  $F(X_{t_1}, X_{t_2}) = F(X_{t_1+k}, X_{t_2+k})$ , para quaisquer  $t_1, t_2$  e qualquer número inteiro  $k$ , pode-se inferir que  $\gamma_{(t_1, t_2)} = \gamma_{(t_1+k, t_2+k)}$  e  $\rho_{(t_1, t_2)} = \rho_{(t_1+k, t_2+k)}$ .

Se considerarmos  $t_1 = t - k$  e  $t_2 = t$ , ter-se-á:

$$\gamma_{(t, t_2)} = \gamma_{(t-k, t)} = \gamma_{(t, t+k)} = \gamma_{(k)} \text{ e } \rho_{(t_1, t_2)} = \rho_{(t-k, t)} = \rho_{(t, t+k)} = \rho_{(k)}$$

Assim, para um processo estacionário com os dois primeiros momentos finitos, a covariância e correlação entre  $X_t$  e  $X_{t+k}$  dependem apenas da diferença  $k$ .

### Funções de autocovariância e de autocorrelação (ACF)<sup>1</sup>

Se um processo estacionário  $\{X_{(t)}\}$ , média  $\mu_t = E_{(X_t)} = \mu$  e variância  $Var[X_{(t)}] = E[(X_{(t)} - \mu)^2] = \sigma^2$  constantes e com a covariância  $Cov[X_{(t)}, X_{(s)}]$  função apenas da diferença temporal  $|t - s|$ , a covariância entre  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+K)}$  pode expressar-se como

$$\gamma_{(k)} = Cov[(X_{(t)} - X_{(t+k)})] = E[(X_{(t)} - \mu)]E[(X_{(t+K)} - \mu)] \dots\dots\dots(6)$$

Em termos de amostragem com uma simples realização, tem-se o estimador

<sup>1</sup>. ACF – Autocorrelation Function

$$\hat{\gamma}_{(k)} = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} \left[ X_{(t)} - \bar{X} \right] \left[ X_{(t+k)} - \bar{X} \right] \dots\dots\dots (7)$$

e a correlação entre  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+k)}$  como

$$\rho_{(k)} = \frac{Cov[X_{(t)}, X_{(t+k)}]}{\sqrt{Var[X_{(t)}]} \sqrt{Var[X_{(t+k)}]}} = \frac{\gamma_{(k)}}{\gamma_0} \dots\dots\dots (8)$$

com  $Var[X_{(t)}] = Var[X_{(t+K)}] = \gamma_0$

Em termos de amostragem, para uma realização simples, tem-se o estimador

$$\hat{\rho}_{(k)} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} \left[ X_{(t)} - \bar{X} \right] \left[ X_{(t+k)} - \bar{X} \right]}{\sum_{t=1}^{n-k} \left[ X_{(t)} - \bar{X} \right]^2} \dots\dots\dots (9)$$

As funções  $\gamma_{(k)}$  e  $\rho_{(k)}$  são chamadas de autocovariância e de autocorrelação na análise de séries temporais desde que representem a covariância e correlação entre as variáveis aleatórias  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+k)}$  do mesmo processo, separadas apenas pelo desfaseamento temporal  $k$  (lag's).

As funções de autocovariância e de autocorrelação podem ser consideradas como uma medida útil do grau de dependência entre os valores de uma série temporal em diferentes períodos. As autocorrelações avaliam ainda o “tamanho e a força” da “memória” do processo. O gráfico das autocorrelações apresenta valores que poderão ser utilizados para caracterizar as propriedades lineares, ou não, do mecanismo gerador do processo (Venables and Ripley, 1997). Porém, não é simples examinar um gráfico das autocorrelações e extrair deles as correspondentes propriedades populacionais. Assim, apenas é possível efectuar averiguações de alguns modelos plausíveis através dos gráficos das autocorrelações de formas reconhecidas. As funções de autocovariância e autocorrelação podem ser calculadas para qualquer conjunto de dados e não estão restritas a observações de séries temporais estacionárias (Venables and Ripley, 1997).

Para uma série de dados com uma componente periódica determinística, como sazonalidade, a ACF exibirá um comportamento similar ao período, conforme a Fig.3a. No

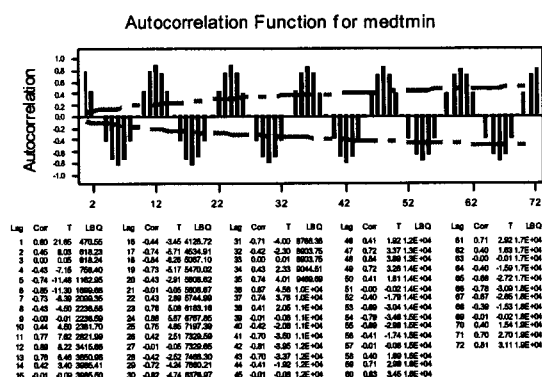


Fig.3a- Correlograma para uma série com sazonalidade

caso de uma série de dados apresentar tendência, a ACF exibirá um decaimento lento à medida que  $t$  aumenta.

Assim, o gráfico das autocorrelações pode ser utilizado como um indicador de não estacionariedade da série temporal (Venables and Ripley, 1997).

### 3.1.1.2 - Reconstrução diária – Dependência espacial

O segundo momento da etapa diária passa pela reconstrução das séries de dados tendo em conta a dependência espacial, para o efeito desenvolveu-se um algoritmo que permite, de uma forma consistente, a “colmatação” dos vários registos com falhas. Este algoritmo será aplicado apenas aos casos em que o número de registos com falhas, consecutivos, seja superior a um.

A criação do algoritmo teve como suporte teórico trabalhos na área do controlo da qualidade dos dados (Masika, R., 2000). Os parâmetros que este algoritmo utiliza baseiam-se na informação disponível de carácter geográfico, isto é, assumindo que a dependência espacial nos diferentes planos  $x$  (longitude),  $y$  (latitude) e  $z$  (altitude) será de extrema relevância na variação do parâmetro em estudo, a temperatura do ar. Além deste factor, a circunstância de a variação do campo da temperatura do ar não apresentar descontinuidade temporal.

Considerando que as observações meteorológicas utilizadas se encontram numa área relativamente pequena, e que este factor implica uma proximidade entre as estações meteorológicas, procurou-se através da comparação das observações obter parâmetros estatísticos independentes do tempo  $t$ , permitindo assim num determinado momento estimar um ponto de uma malha (local de uma estação com registo de falha) utilizando a informação das observações meteorológicas de todos os outros pontos com registos (outras estações).

A obtenção dos parâmetros estatísticos passa pela utilização da informação geográfica das estações, isto é, as localizações em coordenadas específicas (metros) e as respectivas cotas (metros).

De uma forma simples a estrutura principal do algoritmo que estimará dados da temperatura do ar, utiliza apenas a distância entre estações  $\Delta X$  e a diferença de cota  $\Delta z$ .

A forma encontrada para relacionar estes dois parâmetros baseou-se no cálculo da diferença de cota e a distância entre as várias estações meteorológicas, gerando

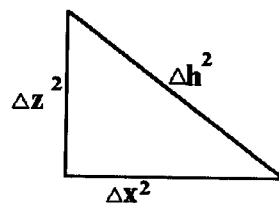


Fig.3b – Esquema proposto para determinação do factor  $\Delta h$ .



assim diversos factores de ponderação que as relacionam entre si. Na Fig.3b está representado o suporte teórico encontrado para relacionar os dois parâmetros na determinação de  $\Delta h$ .

A determinação do factor  $\Delta h$ , é obtido através da relação directa dos parâmetros  $\Delta X$  e  $\Delta z$ ;

$$\Delta h^2 = \Delta X^2 + \Delta z^2 \dots\dots\dots(10)$$

Assim a diferença de cota entre as estações foi estimada através da equação na forma geral

$$\Delta z_{[j+h,k]} = (z_{[j+k]} - z_{[k]}) \dots\dots\dots(11)$$

a diferença da distância entre as estações foi estimada pela equação na forma geral

$$\Delta X_{[j+h,k]} = (x_{[j+k]} - x_{[k]}) + (y_{[j+k]} - y_{[k]}) \dots\dots\dots(12)$$

após a obtenção destes dois parâmetros calculou-se o factor  $\Delta h$  através da equação 13.

$$\Delta h^2 = \Delta X_{[j+k]}^2 + \Delta z_{[k]}^2 \dots\dots\dots(13)$$

A obtenção do factor  $\Delta h$  revela-se de extrema importância pois é através deste que é obtido o factor ponderador  $\Delta w$  ao qual designaremos de “factor ponderador” que irá indicar, na realidade, o valor da contribuição de cada estação em relação a todas as outras, a equação

$$\text{na forma geral } \Delta w_{[j+k,k]} = \frac{1}{\Delta h_{[k]}^2} \dots\dots\dots(14)$$

A equação indica-nos que o “factor ponderador” será inversamente proporcional ao quadrado de factor  $\Delta h$ , isto é, quanto maior for a distância e maior a diferença de cota entre uma estação e outra, menor será a contribuição dessa estação na estimativa do valor em falta da outra estação.

Como resultado destes cálculos obteve-se uma matriz que contém todas as combinações possíveis para os diversos “factor ponderador”.

$$w_{[j,k]} = \begin{bmatrix} w_{1,1} = w_2 - w_1 & w_{2,1} = w_3 - w_2 & \Lambda & w_{k,1} = w_{j+1} - w_k \\ w_{1,2} = w_3 - w_1 & w_{2,2} = w_4 - w_2 & & \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \\ w_{k,n-1} = w_{j+k,k} - w_k & w_{k,n-2} = w_{j+k,k} - w_k & & w_{k,n-k} = w_{j+k,k} - w_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

Estes diversos “factor ponderador” poderão agora ser utilizados como ponderadores dos valores dos diversos registos que apresentem falha.

O cálculo efectuado é traduzido pelas equações 16 e 17,

$$auxtar_{[k]} = auxtar_{[k]} + [tar_{[j]} \times w_{[k,j]}] \dots\dots\dots(16)$$

$$ntar_{[k]} = \frac{auxtar_{[k]}}{\sum w_{[k,j]}} \dots\dots\dots(17)$$

na qual  $tar_{[k]}$  é o valor da temperatura do ar de uma série de dados de uma estação que não apresente um registo com falha, a variável  $auxtar_{[k]}$  é uma variável auxiliar no cálculo final do valor da temperatura do ar estimado  $ntar_{[k]}$ .

Neste momento, o algoritmo apresenta apenas como factores de ponderação as distâncias entre estações e a respectiva diferença de cota, estes factores são responsáveis pelo “factor ponderador” que definirá a ponderação que cada estação terá em relação a uma outra.

Assim, o valor a estimar para uma estação que tenha um registo com falha num determinada instante  $t$  será obtido através da soma dos produtos entre os valores dos registos de todas as outras estações no mesmo instante  $t$  que não apresentem falha e os determinados e correspondentes “factores ponderadores”.

Como resultado desta aplicação as nossas séries de dados encontram-se sem registos com código de falha, com a excepção dos seis primeiros meses de 1997, nos quais não existem dados da temperatura do ar nas séries de dados das estações utilizadas.

### 3.1.1.3-Reconstrução mensal – ARIMA

A utilização de um modelo estatístico ARIMA apresenta-se como uma forma de reconstruir o período de 6 meses do ano de 1997, no entanto uma condição que se apresenta como necessária é a transformação das séries iniciais diárias da temperatura mínima e máxima do ar em séries mensais, calculando os valores médios, máximos e mínimos mensais para a temperatura do ar máxima e mínima.

Dada uma série temporal, não-sazonal e não-estacionária  $X_t$ , aceita-se que esta possa ser representada por um modelo ARIMA(p,d,q).

O objectivo da metodologia de Box-Jenkins (Box & Jenkins, 1970) é encontrar um modelo estocástico linear, ARIMA, que poderá ter gerado  $X_t$  e, permitindo assim que o modelo ARIMA possa ser utilizado para fornecer previsões dos valores futuros da série.

### Função de autocorrelação parcial (PACF)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> . PACF – de Partial Autocorrelation Funtion

Pode ser definida, a função de autocorrelação parcial (PACF), como sendo a sequência de correlações entre  $(X_t \text{ e } X_{t-1})$ ,  $(X_t \text{ e } X_{t-2})$ ,  $(X_t \text{ e } X_{t-3})$  e assim sucessivamente, desde que os efeitos de desfasamentos anteriores sobre  $X_t$  permaneçam constantes.

Num processo estacionário  $\{X_{(t)}\}$  com a média  $E[X_{(t)}] = 0$ . A dependência linear de  $X_{(t+k)}$  com  $X_{(t+1)}, X_{(t+2)}, \dots, X_{(t+k-1)}$  pode ser definida através de uma função linear que exprima a dependência do melhor estimador linear de  $X_{(t+k)}$  em termos de média quadrática com  $X_{(t+1)}, X_{(t+2)}, \dots, X_{(t+k-1)}$ , isto é, se  $X'_{(t+k)}$  for o melhor estimador linear de  $X_{(t+k)}$ , então  $X'_{(t+k)} = \alpha_1 X_{(t+k-1)} + \alpha_2 X_{(t+k-2)} + \dots + \alpha_{k-1} X_{(t+1)}$  onde  $\alpha_i$  ( $1 \leq i \leq k-1$ ) é o coeficiente de regressão médio obtido minimizando

$$E[X_{(t+k)} - X'_{(t+k)}]^2 = E[X_{(t+k)} - \alpha_1 X_{(t+k-1)} - \dots - \alpha_{k-1} X_{(t+1)}]^2$$

O método de minimização habitual através de diferenciação conduz ao seguinte sistema de equações  $\gamma_i = \alpha_1 \gamma_{i-1} + \alpha_2 \gamma_{i-2} + \dots + \alpha_{k-1} \gamma_{i-k}$  com  $i=1, 2, 3, \dots$

$$\text{Daqui } \rho_i = \alpha_1 \rho_{i-1} + \alpha_2 \rho_{i-2} + \dots + \alpha_{k-1} \rho_{i-k}$$

De igual forma, pode verificar-se que

$$X'_{(t)} = \beta_1 X_{(t+k-1)} + \beta_2 X_{(t+k-2)} + \dots + \beta_{k-1} X_{(t+1)}$$

sendo que  $\beta_i$  é o coeficiente de regressão linear obtido pela minimização de

$$E[X_{(t)} - X'_{(t)}]^2 = E[X_{(t)} - \beta_1 X_{(t+1)} - \dots - \beta_{k-1} X_{(t+k-1)}]^2$$

A autocorrelação parcial entre  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+k)}$  será igual à autocorrelação ordinária entre  $[X_{(t)} - X'_{(t)}]$  e  $[X_{(t+k)} - X'_{(t+k)}]$ .

Designando-se por  $P_k$  a autocorrelação parcial entre  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+k)}$ ,

$$P_k = \frac{\text{Cov}\{[X_{(t)} - X'_{(t)}], [X_{(t+k)} - X'_{(t+k)}]\}}{\sqrt{\text{Var}[X_{(t)} - X'_{(t)}]} \sqrt{\text{Var}[X_{(t+k)} - X'_{(t+k)}]}} \dots \dots \dots (18)$$

sendo que

$$P_k = \frac{\gamma_k - \alpha_1 \gamma_{k-1} - \dots - \alpha_{k-1} \gamma_1}{\gamma_0 - \alpha_1 \gamma_1 - \dots - \alpha_{k-1} \gamma_{k-1}} = \frac{\rho_k - \alpha_1 \rho_{k-1} - \dots - \alpha_{k-1} \rho_1}{1 - \alpha_1 \rho_1 - \dots - \alpha_{k-1} \rho_{k-1}} \dots \dots \dots (19)$$

Assim, a autocorrelação parcial entre  $X_{(t)}$  e  $X_{(t+k)}$  pode ser obtida como o coeficiente de correlação associado a  $X_{(t)}$  quando regredimos  $X_{(t+k)}$  nas variáveis desfasadas de incrementos unitários até  $k$  ou seja,  $X_{(t+k-1)}, X_{(t+k-2)}, \dots, X_{(t)}$ .

### Processos de Médias Móveis (MA)<sup>3</sup> e Autoregressivos (AR) vs Séries Temporais

Na análise de séries temporais é frequente utilizar um procedimento que consiste em exprimir um processo através de uma combinação linear de uma sequência de variáveis aleatórias não correlacionadas, isto é,

$$X_{(t)} = \mu + a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots = \mu + \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j a_{t-j} \dots \dots \dots (20)$$

onde  $\psi_0 = 1$ ,  $\{a_t\}$  é um ruído branco de média nula, e  $\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2 < \infty$ . Aqui a soma infinita de variáveis aleatórias é definida como o limite, em média quadrática, da soma parcial finita. Assim, definiu-se a variável  $X_{(t)}$  na equação anterior como:

$$E \left[ X_{(t)} - \sum_{j=0}^n \psi_j a_{t-j} \right]^2 \rightarrow 0 \text{ quando } n \rightarrow \infty$$

onde  $X_{(t)} = X_{(t)} - \mu$ .

A equação (20) pode ser expressa da forma compacta como:

$$X_{(t)} = \psi(B) a_t \dots \dots \dots (21)$$

onde  $\psi(B) = \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j B^j$  e  $B^j a_j = a_{t-j}$

Tendo em conta a equação (1), verifica-se que

$$E[X_{(t)}] = \mu; \text{Var}[X_{(t)}] = \sigma_a^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2 \text{ e } E[a_t X_{(t-j)}] = \begin{cases} \sigma_a^2 \rightarrow j = 0 \\ 0 \rightarrow j > 0 \end{cases}$$

Daí que a função de autocovariância e autocorrelação venham dadas por, respectivamente:

$$\gamma_k = E[X_{(t)} X_{(t+k)}] = E \left( \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \psi_i \psi_j a_{t-i} a_{t+k-j} \right) = \sigma_a^2 \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \psi_{i+k} \dots \dots \dots (22)$$

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \psi_{i+k}}{\sum_{i=0}^{\infty} \psi_i^2} \dots \dots \dots (23)$$

Para uma dada sequência de autocovariância  $\gamma_k, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , a função geradora da autocovariância é definida como

$$\gamma(B) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \gamma_k B^k \text{ ou } \gamma(B) = \sigma_a^2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \psi_{i+k} B^k$$

<sup>3</sup> . MA – de Movig Average

$$\gamma(B) = \sigma_a^2 \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i \psi_j B^{j-i} = \sigma_a^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j B^j \sum_{i=0}^{\infty} \psi_i B^{-i} = \sigma_a^2 \psi(B) \psi(B)^{-1},$$

na qual  $j = i + k$  e  $\psi_j = 0$  para  $j < 0$ .

A correspondente função geradora da autocorrelação é

$$\rho_k(B) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \rho_k B^k = \frac{\gamma(B)}{\gamma_0} \dots\dots\dots (24)$$

A equação (20) é a forma de representação de um processo denominado de média móvel (MA).

No entanto, a forma mais comum de representar um processo, é expressá-lo de forma autoregressiva, na qual é efectuada uma regressão ao valor de  $X_{(t)}$  no instante  $t$ , sobre seus próprios valores anteriores mais um resíduo aleatório, isto é,

$$\dot{X}_{(t)} = \pi_1 \dot{X}_{(t-1)} + \pi_2 \dot{X}_{(t-2)} + \dots\dots\dots + a_t \text{ ou } \pi(B) \dot{X}_{(t)} = a_t \dots\dots\dots (25)$$

onde  $\pi(B) = 1 - \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j B^j$ , e  $1 + \sum_{j=1}^{\infty} |\pi_j| < \infty$ .

Box & Jenkins (1976) designaram por processo invertível todo aquele que pode ser expresso na forma  $\pi(B) \dot{X}_{(t)} = a_t$ . Para que um processo linear  $\dot{X}_{(t)} = \psi(B)a_t$  seja invertível e possa ser expresso na forma autoregressiva (AR), a raiz de  $\psi(B) = 0$  como função de  $B$  deve encontrar-se fora do círculo unitário, isto é,  $|\beta| > 1$ .

Deve-se realçar, que um processo invertível não é necessariamente estacionário. Para que o seja, esse processo deve poder ser reescrito em representação de média móvel (MA), isto é,  $\dot{X}_{(t)} = a_t / \pi(B) = \psi(B)a_t \dots\dots\dots (26)$

tal que a condição  $\sum_{j=1}^{\infty} |\pi_j| < \infty$  seja satisfeita. Para esta realização, a raiz de  $\pi(B) = 0$  deve ficar fora do círculo do raio unitário. Isto é, se  $\delta$  for a raiz de  $\pi(B)$ , então  $|\delta| > 1$ .

### Modelos ARIMA

Se, para um processo autoregressivo, apenas um número finito de ponderadores  $\pi$  for não nulo, ou seja  $\pi_1 = \phi_1, \pi_2 = \phi_2, \dots\dots\dots \pi_p = \phi_p$  e  $\pi_k = 0$  para  $k > p$ , então o processo resultante diz-se autoregressivo de ordem  $p$  e pode ser representado por  $AR(p)$ , ou seja

$$X_{(t)} = \pi_1 X_{(t-1)} + \pi_2 \dot{X}_{(t-2)} + \dots\dots\dots + a_t \text{ ou } \phi_p(B) \dot{X}_{(t)} = a_t \dots\dots\dots (27)$$



onde  $\phi_p = (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)$ .

Da mesma forma, na representação média móvel, se apenas um número finito de ponderadores  $\psi$  for não nulo, isto é,  $\psi_1 = -\theta_1, \psi_2 = -\theta_2, \dots, \psi_q = -\theta_q$  e  $\psi_k = 0$  para  $k > q$ , então o processo resultante é denominado de processo de média móvel de ordem  $q$  e pode ser representado por MA ( $q$ ) dado por

$$\dot{X} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \text{ ou } \dot{X} = \theta(B) a_t \dots \dots \dots (28)$$

onde  $\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)$ .

Para um processo autoregressivo de ordem 1, ou AR(1) escreve-se

$$(1 - \phi_1 B) X_{(t)} = a_t \Leftrightarrow \dot{X}_{(t)} = \phi_1 X_{(t-1)} + a_t$$

Para um processo estacionário, a raiz de  $(1 - \phi_1 B) = 0$  deve ficar fora do círculo de raio unitário, isto é,  $|\phi| < 1$ .

A função de autocovariância de AR (1) pode ser expressa por

$$E \left[ \dot{X}_{(t-k)} \dot{X}_{(t)} \right] = E \left[ \phi_1 \dot{X}_{(t-k)} \dot{X}_{(t-k)} \right] + E \left[ \dot{X}_{(t-k)} a_t \right]$$

$$\gamma_{(k)} = \phi_1 \gamma_{(k-1)}, \quad k \geq 1 \dots \dots \dots (29)$$

e a função de autocorrelação é dada por  $\rho_{(k)} = \phi_1 \rho_{(k-1)} = \phi_1^k, \quad k \geq 1 \dots \dots \dots (30)$

onde  $\rho(0) = 1$ .

Assim, ACF pode decair exponencialmente, de duas formas, dependendo do sinal, positivo ou negativo de  $\phi_1$ .

A PACF para um processo AR (1) é

$$\phi_{kk} = \begin{cases} \rho_1 = \phi_1, \rightarrow (k = 1) \\ 0, \rightarrow (k \geq 2) \end{cases} \dots \dots \dots (31)$$

Assim, a PACF do processo AR(1) apresenta um pico positivo ou negativo para desfasamento unitário ou *lag* 1 dependendo também do sinal de  $\phi_1$ .

Para um processo AR(2), a ACF terá um decaimento exponencial ou sinusoidal, dependendo das raízes da equação  $(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2) = a_t$ . Se essas raízes forem reais, o decaimento é exponencial e, se forem complexas, o decaimento é sinusoidal.

A PACF do processo AR(2) tem dois picos nos dois primeiros *lags*, desaparecendo nos *lags* superiores.

Para um processo de média móvel de primeira ordem MA(1),  $\theta(B) = (1 - \theta_1 B)$ ,

$$\dot{X}(t) = a_t - \theta_1 a_{t-1} = (1 - \theta_1 B) a_t \dots\dots\dots (32)$$

e para um processo de média móvel de ordem  $q$   $MA(q)$ ,

$$\dot{X}(t) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots\dots\theta_q B^q) a_t \dots\dots\dots (33)$$

Um processo estacionário pode ser representado tanto sob a forma de média móvel como sob a forma de autoregressiva. Os modelos, que incluem as duas formas de representação, se denominam de autoregressivo de média móvel (ARMA). Um processo  $ARMA(p, q)$  é um processo autorregressivo de ordem  $p$  e de média móvel de ordem  $q$ . É habitual expressar-se o processo ARMA na forma

$$\phi_p(B) \dot{X}_t = \theta_q(B) a_t \dots\dots\dots (34)$$

Um processo  $ARIMA(p, d, q)$  onde o  $I$  significa que pode ser reconstituído por integração, é um processo cuja diferenciação de ordem  $d$ ,  $\nabla^d X$  conduz a um processo  $ARMA(p, q)$

### Modelos ARIMA Sazonal

O operador diferença permite calcular diferenças de *lags* maiores que 1, de tal forma que para uma série mensal a diferença de ordem 12 é na prática a diferença para com o mesmo mês do ano anterior. Sendo  $s$  a sazonalidade, neste caso de ordem 12, podemos aplicar ao modelo ARIMA para uma sub-série de amostras de desfaseamento  $s$ . Isto corresponde à substituição de  $B$  por  $B^s$  na equação 34. Assim, um processo  $ARIMA(P, D, Q)_s$  é a versão sazonal de um processo ARIMA. Contudo, pode-se incluir tanto o termo sazonal como o termo não sazonal, obtendo um processo da forma

$$\phi_p(B) \phi_s(B^s) \dot{X}_t = \theta_q(B) \theta_q(B^s) a_t \dots\dots\dots (35)$$

que é a equação geradora da série observada e que representa o modelo  $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$

Em Climatologia é vulgar recorrer ao modelo ARIMA para recuperar séries e estimar valores futuros dessas mesmas séries, sendo que a parametrização mais utilizada do modelo é  $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ .

## **Aplicação do método de Box-Jenkins**

A estratégia para criar um modelo cujos resultados representem séries, sazonais e/ou não-sazonais, é baseada num ciclo de três etapas iterativas:

### **1) identificação do modelo.**

A etapa de identificação consiste em seleccionar os valores para  $p$ ,  $d$ ,  $q$  e  $P$ ,  $D$ ,  $Q$  (no caso de modelos sazonais). Esta etapa envolve subjectividade e julgamento pessoal. Na etapa de estimação, os coeficientes identificados na etapa anterior são estimados usando técnicas estatísticas. A última etapa indica se o modelo identificado e estimado descreve adequadamente o comportamento dos dados da série  $X_t$ . Caso o modelo não seja adequado, o ciclo deve começar novamente. Um conceito importante nessa metodologia é o princípio da parcimónia (Box and Jenkins, 1976), este princípio sugere que modelos mais simples, com poucos parâmetros, produzem melhores previsões do que modelos super-parametrizados. Um modelo parcimonioso ajusta bem os dados sem incorporar coeficientes inúteis. O objectivo é a aproximação ao processo gerador dos dados e não descrevê-lo exactamente (Wei, 1990). A etapa de identificação é considerada a mais difícil e delicada, e não há consenso sobre qual a melhor estratégia a ser seguida. De entre as várias estratégias existentes, destacam-se duas: a análise das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial amostrais, e o uso de um critério de selecção de modelos.

### **2) como estimar o modelo**

Para utilizar a primeira estratégia é necessário reconhecer modelos AR, MA e ARMA através das características da ACF e da PACF. O QuadroV resume algumas propriedades da ACF e da PACF para diversos modelos ARIMA (Mills, 1997). Para modelos sazonais, o comportamento da ACF e da PACF deve ser analisado próximo do desfasamento sazonal, por exemplo, desfasamento 12 para dados mensais e desfasamento 4 para dados trimestrais. O QuadroVI resume as propriedades da ACF e da PACF para modelos ARIMA Sazonal.

| <b>Quadro V</b><br><b>Propriedades da ACF e da PACF para vários modelos ARIMA</b> |                                                                     |                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Modelo                                                                            | ACF                                                                 | PACF                                                              |
| $(1, d, 0)$                                                                       | Decaimento exponencial ou oscilatório                               | $\phi_{kk} = 0$ para $k > 1$                                      |
| $(2, d, 0)$                                                                       | Decaimento exponencial ou senoidal                                  | $\phi_{kk} = 0$ para $k > 2$                                      |
| $(p, d, 0)$                                                                       | Decaimento exponencial e/ou senoidal                                | $\phi_{kk} = 0$ para $k > p$                                      |
| $(0, d, 1)$                                                                       | $\rho_k = 0$ para $k > 1$                                           | Decaimento exponencial                                            |
| $(0, d, 2)$                                                                       | $\rho_k = 0$ para $k > 2$                                           | Decaimento exponencial ou senoidal                                |
| $(0, d, q)$                                                                       | $\rho_k = 0$ para $k > q$                                           | combinação linear de decaimento exponencial e/ou senoidal         |
| $(1, d, 1)$                                                                       | Decaimento exponencial a partir do desfasamento 1                   | decaimento exponencial a partir do desfasamento 1                 |
| $(p, d, q)$                                                                       | Decaimento exponencial e/ou senoidal depois do desfasamento $q - p$ | Decaimento exponencial ou senoidal depois do desfasamento $q - p$ |

| <b>Quadro VI</b><br><b>Propriedades da ACF e da PACF para vários modelos ARIMA Sazonal</b> |                                                                 |                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Modelo                                                                                     | ACF                                                             | PACF                                                            |
| $(P, D, 0)$                                                                                | Decaimento                                                      | Picos nas defasamentos $s, 2s, \dots Ps$ e corte após $Ps$      |
| $(0, D, Q)$                                                                                | Picos nas defasamentos $s, 2s, \dots Qs$ e corte após $Qs$      | Decaimento                                                      |
| $(P, D, 0)$ ou $(0, D, Q)$                                                                 | Picos nas defasamentos $s, 2s, \dots Qs$ e corte após $Qs$      | Picos nas defasamentos $s, 2s, \dots Ps$ e corte após $Ps$      |
| $(P, D, 0)$ e $(0, D, Q)$                                                                  | Decaimento rápido no desfasamento sazonal                       | Decaimento rápido no desfasamento sazonal                       |
| Nenhum operador sazonal                                                                    | Valores pequenos em todas as defasagens sazonais (não há picos) | Valores pequenos em todas as defasagens sazonais (não há picos) |

Além de identificar os valores para  $p$  e  $q$  (e os valores de  $P$  e  $Q$  para modelos ARIMA Sazonal), o grau de diferenciação da série (valor  $d$  e valor  $D$  para modelos sazonais) precisa ser conhecido. Para tanto, utiliza-se também a observação da ACF e da PACF amostrais. Para um modelo não-sazonal, um comportamento suave persistente nas autocorrelações amostrais em desfasamentos indica não-estacionariedade, *i.e.*, necessidade de diferenciação. Assim, deve-se diferenciar a série para sucessivos valores positivos de  $d$  e examinar o correlograma de  $\Delta^d X_t$  (Box and Jenkins, 1976). A estratégia complementar para identificar os valores de  $p, d, q$  é utilizar um critério de informação, que selecione os modelos através de um conjunto de “regras” (Box and Jenkins, 1976). Esses critérios incorporam um termo de penalidade para o aumento do número de parâmetros ( $p$  e  $q$ ) no modelo, tal que modelos mais “parcimoniosos”, ou seja, com o menor número de parâmetros, sejam escolhidos.

### 3) verificação de diagnóstico

A correcta especificação de um modelo ARIMA ou ARIMA Sazonal pode ser verificada no termo  $\varepsilon_t$ , pois este deve constituir um processo ruído branco. Assim, a verificação do ajuste do modelo é efectuado através das autocorrelações amostrais dos erros  $\varepsilon_t$ , que deverão seguir de forma assintótica uma distribuição normal, com média zero e desvio padrão  $\frac{1}{n^2}$ , se forem provenientes de um ruído branco. Como os erros verdadeiros  $\varepsilon_t$  não são conhecidos, a inferência baseia-se nas estimativas dos erros, os resíduos  $\hat{\varepsilon}_t$ .

Desta forma, se o modelo estiver correctamente especificado, os resíduos não devem apresentar correlação serial, pois toda a dinâmica dos dados já foi assimilada pelo modelo (Box and Jenkins, 1976). A autocorrelação amostral dos resíduos de ordem  $j$  é calculada como

$$r_j(\hat{\varepsilon}) = \frac{\sum_{t=j+1}^T \hat{\varepsilon}_t \hat{\varepsilon}_{t-j}}{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_t^2} \dots\dots\dots (36)$$

Então, os valores das autocorrelações residuais devem estar contidos no intervalo de confiança de 95% que é  $\left[ -\frac{2}{\sqrt{T}}, \frac{2}{\sqrt{T}} \right]$  onde  $T$  indica o número de observações da série (Box and Jenkins, 1976).

Além da análise das autocorrelações individuais dos resíduos, um teste conjunto das primeiras  $m$  autocorrelações pode ser utilizado que é conhecido por teste Ljung-Box. Tal teste “portmanteau” compara o valor de

$$Q = T(T+2) \sum_{j=1}^m (T-j)^{-1} r_j^2(\hat{\varepsilon}_j) \dots\dots\dots (37)$$

com valores tabulados da distribuição do  $\chi^2$  (qui-quadrado) com  $(m-p-q)$  graus de liberdade e com a rejeição da hipótese nula (de que o modelo é adequado) para valores de  $Q$  maiores que o valor crítico. O valor de  $m$  deve ser pelo menos igual a  $\sqrt{T}$  (Box and Jenkins, 1976).

Um dos métodos utilizados na escolha do melhor mecanismo de previsão é a comparação dos valores previstos  $\hat{X}_t$  com os valores observados da série  $X_t$ , o que caracteriza a capacidade preditiva do mecanismo utilizado. Os três métodos mais populares de

avaliação da capacidade preditiva utilizam os resíduos em seus cálculos (Box and Jenkins, 1976). Esses métodos são o desvio absoluto médio (MAD), o erro quadrático médio (MSE) e o erro percentual absoluto médio (MAPE). Assim, os resíduos são definidos como

$$e_t = X_t - \hat{X}_t \dots\dots\dots(38)$$

O desvio absoluto médio (MAD) é definido como a média dos valores absolutos de cada resíduo e é representado por

$$MAD = \frac{\sum |e_t|}{n} \dots\dots\dots(39)$$

onde  $n$  é o número de valores previstos obtidos dos dados passados.

O erro quadrático médio (MSE) é a média dos valores quadráticos de cada resíduo, assim

$$MSE = \frac{\sum e_t^2}{n} \dots\dots\dots(40)$$

O erro percentual absoluto médio (MAPE) considera o erro relativo de cada previsão.

O erro relativo em cada período  $t$  é definido como  $e_t / X_t$ . Então,

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{e_t}{X_t} \right|}{n} \dots\dots\dots(41)$$

Não há consenso entre os estatísticos sobre qual método é preferível. Assim, se erros elevados de previsão são inaceitáveis, então o uso do MSE torna-se necessário. Entretanto, se é possível ignorar alguns erros elevados, o MAD funciona melhor. E o MAPE é utilizado para comparar a precisão de duas séries temporais diferentes (Box and Jenkins, 1976). Dessa forma, o MSE será utilizado como critério de precisão para as comparações dos métodos de previsão apresentados neste trabalho.

### 3.2 - FASE II

Os dados meteorológicos resultado das observações de superfície executadas nas EMA's na região da Grande Lisboa encontram-se integrados no período de 10 minutos. Na análise efectuada, estas séries de dados foram convertidas em série horárias, sendo que a análise das variáveis meteorológicas, encontram-se apresentadas na forma numérica e gráfica. As variáveis analisadas de todas as estações utilizadas nesta fase são, a temperatura e humidade



relativa do ar a 1.5 metros e o rumo e intensidade do vento da estação do Gago Coutinho/Lisboa a 10 metros de altura (Nunes, 2001)

Tendo em conta uma das possíveis definições para o fenómeno “ilha de calor urbano”, na qual se descreve como sendo uma anomalia térmica da temperatura do ar, segundo a qual o valor da temperatura do ar torna-se mais elevada dentro da cidade do que o valor observado nas regiões circundantes ou seja nas áreas rurais e sub-urbanas (Oke, 1987; Myer 1991; Montàvez, 2000) em determinadas condições.

No âmbito da detecção e análise do fenómeno da ilha de calor urbana, segundo alguns autores (Oke, 1987; Masson *et al*, 2002) é identificada uma forte dependência do fenómeno para com o balanço energético associado às áreas citadinas. Embora o conhecimento actual sobre este tipo de interacções (balanço energético e radiativo) se revele bastante interessante e desenvolvido, é aceite pela comunidade científica que, e devido à complexidade dos processos físicos envolvidos especialmente no que respeita às áreas citadinas, estamos bastante longe de poder representar exactamente toda esta “teia” de trocas energéticas, fig.3c.

No entanto existem estudos desenvolvidos para vários locais do planeta (Masson *et al*, 2002) que aplicam alguns fundamentos proeminentemente físicos, com os quais se pretende identificar as principais componentes do balanço energético e radiativo aplicado a uma área urbana.

A equação associada ao conceito de balanço radiativo<sup>4</sup> de uma superfície urbana pode ser traduzida da seguinte forma.

$$Q^* = SW^* + LW^* \dots\dots\dots(42)$$

Sendo que  $SW^* = S_w \downarrow - S_w \uparrow$  é descrito como o balanço entre a radiação de comprimento de onda curto descendente (absorvido) e ascendente (reflectido) e  $LW^* = L_w \downarrow - L_w \uparrow$  o balanço entre a radiação de longo comprimento de onda descendente (recebido) e o emitido (ascendente).

---

<sup>4</sup> As unidades do sistema internacional associadas às equações enunciadas são  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

Para o caso do balanço de radiação de curto comprimento de onda é possível ainda fazer a seguinte aproximação  $Sw \uparrow = \alpha . Sw \downarrow$ , sendo  $\alpha$  o albedo associado ao tipo de superfície. Assim podemos

$$SW^* = Sw \downarrow - \alpha . Sw \downarrow \dots\dots\dots(43)$$

sabendo que  $Sw \downarrow$  apresenta uma dependência maioritária da radiação solar directa e a radiação solar difusa.

No caso do balanço associado à radiação de longo comprimento de onda,  $Lw \downarrow = \zeta . Lw \downarrow$ , como  $\zeta$  sendo a absorptividade da superfície.  $Lw \downarrow$  apresenta uma forte dependência não só da atmosfera (tipo de céu),  $Lw \downarrow = \sigma . \epsilon_c . T_c^4$  (através da lei de Stefan-Boltzman na qual  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman,  $\epsilon_c$  a emissividade da atmosfera e  $T_c$  a temperatura da atmosfera), mas também do ambiente,  $Lw \downarrow = \sigma . \epsilon_a . T_a^4$  ( $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman,  $\epsilon_a$  a emissividade do ambiente e  $T_a$  a temperatura do ambiente), que rodeia a superfície, exemplo fontes de radiação antropogénica existentes em ambientes urbanizados.

Pode-se ainda associar que  $Lw \uparrow = \sigma . \epsilon_s . T_s^4$  (através da lei de Stefan-Boltzman) na qual  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman,  $\epsilon_s$  a emissividade da superfície e  $T_s$  a temperatura da superfície.

De uma forma aproximada e bastante simplifica, pode-se representar o balanço da radiação de longo comprimento de onda

$$LW^* = \zeta . Lw \downarrow - \sigma . \epsilon_s . T_s^4 \dots\dots\dots(44)$$

Torna-se evidente que existirão diferentes contributos para período diurno e para o período nocturno. Assim de uma forma aproximada e bastante simplificada pode-se dizer que:

$$\text{durante o dia } Q^* = (Sw \downarrow - \alpha . Sw \downarrow) + (\zeta . Lw \downarrow - \sigma . \epsilon_s . T_s^4) \dots\dots\dots(45)$$

$$\text{durante a noite } Q^* = (\zeta . Lw \downarrow - \sigma . \epsilon_s . T_s^4) \dots\dots\dots(46)$$

A equação associada ao conceito de balanço<sup>5</sup> de fluxos energéticos de uma superfície urbana pode ser traduzida da seguinte forma.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \dots \dots \dots (47)$$

Sendo que  $Q^*$  é considerado como o balanço total da radiação;  $Q_F$  termo associado ao fluxo de calor antropogénico (que pode estar incluído nos outros termos);  $Q_H$  termo referente ao fluxo turbulento de calor sensível;  $Q_E$  termo correspondente ao fluxo turbulento de calor latente de vaporização;  $\Delta Q_S$  termo relativo ao fluxo de calor armazenado nas superfícies;  $\Delta Q_A$  termo respeitante à advecção horizontal e vertical de fluxo de calor.

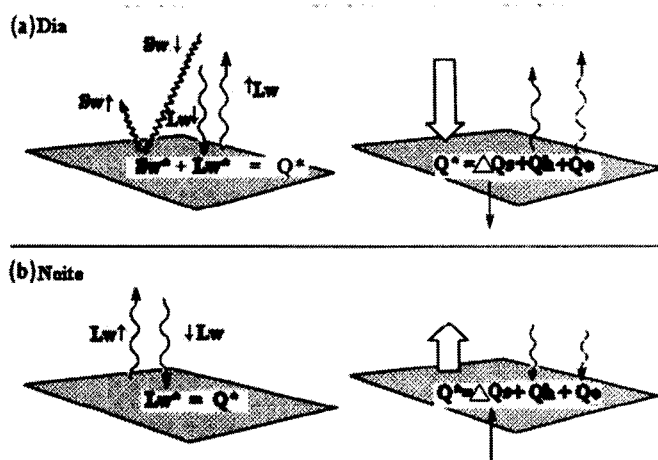


Fig.3c – Esquema proposto por Oke, 1987, para o balanço radiativo e energético.

A interpretação da equação 99 é interessante, pois através desta é possível identificar os diferentes contributos dos diferentes termos em função das mais variadas situações, quer no que respeita ao estado de tempo e período nocturno ou diurno.

Segundo Tim Oke (Oke, 1987) durante o período diurno, o balanço total da radiação,  $Q^*$ , apresenta valores positivos indicando que a superfície recebe mais energia do que a que emite. Sendo que os valores crescem desde o momento do nascer do sol até ao meio-dia solar, momento no qual; em regra, são atingidos os valores mais elevados, decrescendo de seguida até ao momento do pôr-do-sol. Neste período o fluxo turbulento de calor sensível,  $Q_H$ , é considerado como o principal dissipador de energia, seguido do fluxo turbulento de calor latente,  $Q_E$ , induzindo disponibilidade de vapor de água na camada de ar junto à superfície, o fluxo de calor armazenado na superfície,  $\Delta Q_S$ , também se revela como um elemento bastante importante no balanço energético.

<sup>5</sup> As unidades do sistema internacional associadas às equações enunciadas são  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

No que respeita ao período nocturno, o balanço total da radiação,  $Q^*$ , apresenta valores negativos revelando que a superfície emite mais energia do que a que recebe. Durante este período os fluxos, turbulentos de calor sensível, fluxo turbulento de calor latente e fluxo de calor armazenado na superfície apresentam valores negativos e uma amplitude de variação muito pequena, sendo assim possível de depreender que a energia envolvida no período nocturno é essencialmente resultado da energia armazenada durante o período diurno.

De uma forma resumida podemos dizer que, no que respeita à superfície de uma área urbana, os termos  $Q_H$  e  $\Delta Q_S$  são mais relevantes para o fenómeno da ilha de calor urbano, isto porque, nas áreas urbanas a evapotranspiração apresenta valores menores do que as áreas não urbanas, indiciando um encaminhamento da energia para as formas sensíveis ( $Q_H$  e  $\Delta Q_S$ ) traduzindo-se num aquecimento da massa de ar junto à superfície.

O termo  $\Delta Q_A$  referente à advecção de fluxo de calor é bastante importante, embora na realidade não seja uma fonte de energia, nem fácil de estimar. No entanto é de forma geral negligenciado em termos de cálculos. A importância está na sua contribuição para dissipação de energia, nas formas sensíveis, gerada pela área urbana.

O fenómeno de ilha de calor urbano é provavelmente o mais claro e documentado exemplo de alteração climática. A sua variação no tempo e no espaço é consequência de variadíssimos factores, nomeadamente meteorológicos, geográficos e caracterização da área urbana. Tendo como pressuposto a variação espacial da temperatura do ar segundo a qual valores mais elevados se observam na área central da malha urbana, exemplificada na fig.1c e para a qual efectuando um corte transversal das áreas não urbanas que envolvem a cidade para o centro urbano podemos observar a variação esquematizada na fig.4c.

A aplicação directa da definição enunciada anteriormente traduziu-se por uma operação do cálculo da diferença  $\Delta T$  entre os valores da temperatura do ar  $T_u$  obtidos numa EMA instalada numa área com características urbanas bem definidas (no centro urbanístico da cidade) e a temperatura do ar  $T_r$  de outra

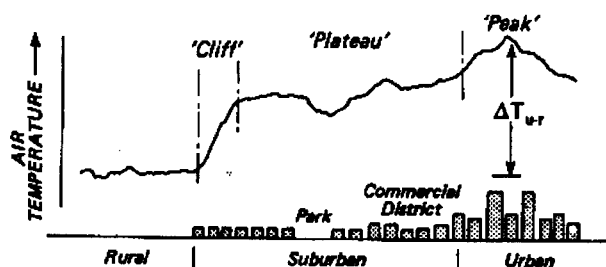


Fig.4c – Esquema proposto por Oke, 1987. Variação espacial da temperatura do ar, área rural, suburbana e urbana.

EMA instalada numa área com características menos urbanas.

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r \dots\dots\dots(48)$$

Observando as características dos locais, nos quais se encontram instaladas as estações meteorológicas automáticas envolvidas nesta fase, bem como a sua localização face à geometria da cidade de Lisboa (ver Fig.2c imagem cidade), pode-se inferir que os parâmetros meteorológicos registados nas EMA's instaladas na Baixa, Estefânia e Geofísico, Estrela permitem caracterizar as condições climatológicas do “centro” urbano da cidade de Lisboa. Em oposição a esta classificação as estações meteorológicas instaladas em Dois-Portos/Torres Vedras e Barreiro/Lavradio cujas características permitem evidenciar as condições climatológicas de uma zona rural a Norte e a Sul, respectivamente, envolvente da cidade de Lisboa (Prior, 1999).

Aplicou-se a equação 48 entre os dados da EMA instalada na zona da Baixa e todas as outras EMA's, resultando uma variação do valor horário das diferenças da temperatura do ar ao longo do ano de 2002 obtidas nas várias EMA's.

De realçar, o facto de ter sido efectuado, por uma questão de controlo, a aplicação da equação 48 entre os dados da EMA do Geofísico e todas as outras EMA's.

Através da análise da situação sinóptica, efectuada no CAPT do IM, identificaram-se os eventos sinóticos, nomeadamente a passagem de superfícies frontais e características da massa de ar que afectou a área da Grande Lisboa durante o ano 2002. Permitindo assim relacionar a intensidade e forma da ilha de calor com a situação sinóptica.





## IV – DIAGNÓSTICO

### 4.1 - FASE I

#### 4.1.1- MIRS

##### 4.1.1.1 Reconstrução diária temporal

Resultados da aplicação da função autocorrelação entre o valor da temperatura mínima do ar (TMIN) e o valor da temperatura máxima do ar (TMAX) para cada série de dados correspondente a cada estação encontram-se representados no QuadroVII.

| <b>QuadroVII</b><br><b>Nº estação e o valor de autocorrelação entre TMIN e TMAX</b> |           |       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-----------|
| 535 -                                                                               | 0.8758941 | 539 - | 0.7704552 |
| 162 -                                                                               | 0.8125173 | 534 - | 0.7856739 |
| 532 -                                                                               | 0.6722381 | 537 - | 0.8263059 |
| 150 -                                                                               | 0.7627438 | 166 - | 0.7958196 |
| 139 -                                                                               | 0.6653218 | 160 - | 0.8044045 |
| 157 -                                                                               | 0.8323144 | 155 - | 0.8217649 |
| 149 -                                                                               | 0.8104313 | 148 - | 0.7116439 |
| 141 -                                                                               | 0.6543146 | 579 - | 0.8595652 |
| 153 -                                                                               | 0.7843821 | 536 - | 0.8466306 |

Identifica-se, através do QuadroVII, que para todas as aplicações da função correlação entre TMIN e TMAX os valores de correlação obtidos foram superiores a 0.6653 e inferiores a 0.8758. Sendo que, o valor mais elevado de correlação está associado à estação 535 (Geofísico) e o valor mínimo à estação 139 (Dois Portos).

A avaliação dos valores de autocorrelação, para cada série de dados da temperatura máxima e mínima do ar de cada estação meteorológica, que se obtêm aplicando a função autocorrelação pode ser analisada através dos resultados, na forma gráfica e alfanumérica, que se encontram representados nas figuras do ANEXO B.

Condição necessária para a aplicação da função de autocorrelação, é o estabelecimento de períodos dentro das diferentes séries de dados períodos nos quais não existissem falhas nos registos, assim, para cada série de dados foram definidos diferentes períodos apresentados no QuadroVIII.

| <b>Quadro VIII</b><br><b>Número e Nome da estação meteorológica e correspondentes</b><br><b>períodos de aplicação da função de autocorrelação</b> |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Estação</b>                                                                                                                                    | <b>Períodos</b>           |
| 139 - Torres Novas/Dois Portos                                                                                                                    | 1943 - 1949               |
| 141 - Salvaterra de Magos                                                                                                                         | 1952 - 1965 e 1971 - 1978 |
| 148 - Colares/Sarrazola                                                                                                                           | 1971 - 1975 e 1986 - 1989 |
| 149 - Sintra                                                                                                                                      | 1952 - 1957               |
| 150 - Cabo da Roca                                                                                                                                | 1941 - 1948 e 1960 - 1969 |
| 153 - Paiã/Escola Agrícola                                                                                                                        | 1962 - 1969               |
| 155 - Sacavém                                                                                                                                     | 1981 - 1989               |
| 157 - Cabo Ruivo                                                                                                                                  | 1967 - 1969               |
| 160 - Sassoeiros                                                                                                                                  | 1971                      |
| 162 - Lisboa/Tapada da Ajuda                                                                                                                      | 1975 - 1980 e 1964 - 1968 |
| 166 - Lavradio                                                                                                                                    | 1983                      |
| 532 - Sintra/Granja                                                                                                                               | 1957 - 1969 e 1986 - 1993 |
| 534 - Montijo/Base Aérea                                                                                                                          | 1983 - 1993               |
| 535 - Lisboa/Geofísico                                                                                                                            | 1941 - 1980               |
| 537 - Alverca/Base Aérea                                                                                                                          | 1987 - 1993               |
| 539 - Ota/Base Aérea                                                                                                                              | 1983 - 1992 e 1956 - 1960 |
| 579 - Lisboa/Gago Coutinho                                                                                                                        | 1982 - 1990               |
| 536 - Lisboa/Portela                                                                                                                              | 1970 - 1981               |

Na Fig.4a encontram-se apresentados os resultados, gráfico e alfanumérico, obtidos apenas (como exemplo) para uma estação, neste caso apenas para a estação 150 (Cabo da Roca) para a variável TMIN integrado no período de tempo estipulado. Ressalvo que o resultado na forma alfanumérica é apenas apresentado até ao 17 *lag*.

Verifica-se que os valores de autocorrelação serial obtidos até ao desfaseamento 17 dias para a TMIN da estação do Cabo da Roca, apresenta, uma tendência para a persistência evidenciada pela existência de correlação serial positiva. Esta constatação é observada em todos os resultados da aplicação da função

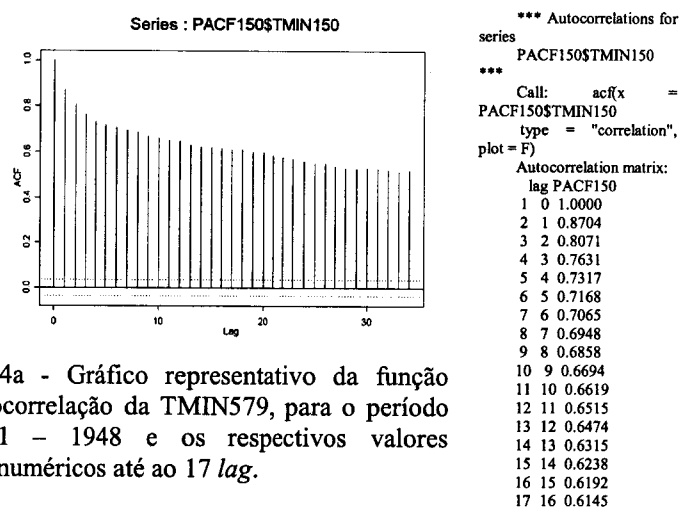


Fig.4a - Gráfico representativo da função autocorrelação da TMIN579, para o período 1941 - 1948 e os respectivos valores alfanuméricos até ao 17 *lag*.

autocorrelação para todas as séries de dados (resultados da aplicação da função autocorrelação encontram-se representados nas Fig.4b.1 à Fig.4b.40 no ANEXO B).

Após a implementação destes dois cálculos estatísticos, nomeadamente a correlação entre TMIN e TMAX de cada estação e da função autocorrelação aplicada a cada série de dados da temperatura máxima e mínima do ar de cada estação, identifica-se que, de uma forma geral, os valores obtidos através da função autocorrelação para o primeiro *lag* são

bastante elevados, isto é, os valores obtidos para todos os casos são sempre superiores a  $\rho_x \geq 0.9$ . Enquanto, com a aplicação da função de correlação, entre a temperatura máxima e mínima da série de dados de cada estação, o valor obtido foi em todos os casos sempre inferior ou igual a 0.8.

Em função dos resultados obtidos, pode-se inferir que com a aplicação da função autocorrelação será possível a reconstrução de alguns registos com falha com razoável fiabilidade, pois a dependência do valor a montante e jusante é bastante elevada. Assim, a “reconstrução” dos registos sem informação recorrendo à aplicação da função de autocorrelação apresenta-se como um bom método para situações de registos sem informação isolados, isto é, o registo  $n$  sem informação só poderá ser representado por um novo valor numérico se os registos  $n-1$  e  $n+1$  não apresentarem falha.

A determinação do erro associado à aplicação da função autocorrelação, para este caso específico, foi calculada de uma forma empírica. A obtenção do erro associado determina-se recorrendo a um algoritmo que gera de uma forma sucessiva registos sem informação, aplicando de seguida e consecutivamente o algoritmo de “reconstrução”, comparando-o de seguida com valor observado da série de dados e estimando um erro médio quadrático.

Os resultados obtidos com aplicação do algoritmo para a obtenção de uma estimativa do erro médio quadrático gerado com aplicação da função de autocorrelação encontram-se representados no QuadroIX.

| <b>QuadroIX</b>                                                                                                                 |           |       |          |                                     |           |       |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|----------|-------------------------------------|-----------|-------|----------|
| <b>Número da estação meteorológica e correspondente erro médio quadrático associado à aplicação da função de autocorrelação</b> |           |       |          |                                     |           |       |          |
| <b>Erro médio quadrático - TMIN</b>                                                                                             |           |       |          | <b>Erro médio quadrático - TMAX</b> |           |       |          |
| 535 -                                                                                                                           | 1.063431  | 539 - | 2.196315 | 535 -                               | 1.0058941 | 539 - | 2.399004 |
| 162 -                                                                                                                           | 1.936098  | 534 - | 1.668071 | 162 -                               | 1.784593  | 534 - | 2.136581 |
| 532 -                                                                                                                           | 2.807397  | 537 - | 1.368584 | 532 -                               | 1.99237   | 537 - | 2.173911 |
| 150 -                                                                                                                           | 1.020001  | 166 - | 1.31888  | 150 -                               | 2.033905  | 166 - | 1.97021  |
| 139 -                                                                                                                           | 2.5147073 | 160 - | 1.795358 | 139 -                               | 2.59903   | 160 - | 1.990071 |
| 157 -                                                                                                                           | 1.238026  | 155 - | 1.555486 | 157 -                               | 2.161786  | 155 - | 2.061582 |
| 149 -                                                                                                                           | 1.209143  | 148 - | 1.557415 | 149 -                               | 1.973981  | 148 - | 1.368107 |
| 141 -                                                                                                                           | 2.747122  | 579 - | 1.271211 | 141 -                               | 2.160071  | 579 - | 2.019305 |
| 153 -                                                                                                                           | 1.632194  | 536 - | 1.384044 | 153 -                               | 2.171928  | 536 - | 2.152856 |

O resultado da aplicação da função de autocorrelação nas condições supra-mencionadas resume-se apenas à diminuição do número de registos com falha, isto é, comparando o número de registos antes da aplicação e depois da aplicação da função autocorrelação a diferença no total para todos os registos de todas as estações meteorológicas aplicadas neste estudo é de 0,3%.(QuadroX e QuadroXI, ANEXO C)

#### 4.1.1.2 Reconstrução diária espacial

Aplicação da etapa espacial do MIRS revelou-se bastante interessante, pois, revelou algumas condicionantes na sua aplicação, mais concretamente a situação em que, num período (leia-se um dia) com bastantes falhas nas várias estações implicará a participação de poucos registos com dados na reconstrução dos registos com falha.

Exemplo, na reconstrução implementada a partir de 1997 observa-se, no Quadro I, que poucas estações se encontram na posição de poderem ser utilizadas pelo MIRS na reconstrução dos registos se informação. O erro empírico estimado, na forma de erro quadrático médio, foi de 2.5°C.

Resultado da aplicação do modelo, etapa espacial, ficou condicionada pois nos seis primeiros meses de 1997 não existiam dados de qualquer estação. Entendeu-se que a aplicação de um modelo de previsão, neste caso ARIMA, apresentava-se como uma solução bastante razoável.

#### 4.1.1.3 Reconstrução mensal

O ajuste dos parâmetros do modelo ARIMA revela-se como a primeira coisa a fazer. Para o ajuste é necessário avaliar a nossa série de dados, nomeadamente, se é estacionária, se apresenta tendência, pressupostos enunciados nos conceitos.

A análise da ACF da série permite observar a sua sazonalidade, para o caso das séries em estudo pode-se afirmar que as séries não são estacionárias, esta conclusão pode ser inferida se observarmos os resultados obtidos através da aplicação da ACF às séries de dados de cada estação, Fig(s).c, dos diferentes ANEXOS D. A tendência das séries em estudo revela-se muito pequena, da ordem de  $10^{-4}$ , como se verifica nos resultados, Fig(s).a dos diferentes ANEXOS D.

Face a estes resultados torna-se necessário transformar as séries de dados em séries de dados estacionárias e sem tendência, para tal aplicou-se uma diferença de *lag* 12 ficando com séries estacionárias, e, retiramos a tendência aplicando um utilitário do software Minitab.

Após as transformações efectuadas nas séries de dados de cada estação, aplicou-se novamente a ACF e PACF, com o intuito de estimar os parâmetros a aplicar no modelo ARIMA.

Obtidas as melhores estimas para a parametrização dos vários modelos ARIMA aplicados para cada série de dados mensais e os respectivos coeficientes, efectuou-se uma validação do modelo para cada série. Para este efeito executou-se um pequeno artifício que se

baseia apenas na remoção de um certo período da série de dados com observações substituindo-os por registos sem informação, utilizando de seguida o modelo ARIMA para reconstrução do período removido.

O procedimento foi igual para todas as séries de dados mensais, isto é, para os valores médios, máximos e mínimos mensais da temperatura do ar máxima e mínima, foi removido o período de 60 meses compreendido entre 1992 e 1996, tendo de seguida aplicado o modelo ARIMA comparando os resultados obtidos com as observações existentes para esses mesmos períodos. Os resultados encontram-se representados na forma gráfica nas, Fig(s).h, dos diferentes ANEXOS D, sendo que os valores modelados se encontram no intervalo de confiança, 95%. De realçar, que nos ANEXOS D se encontram apenas representado o diagnóstico para as séries da média mensais da temperatura do ar máxima e mínima.

#### 4.1.2- Tendência das séries

##### 4.1.2.1 Ajuste e aplicação do modelo de tendência – anomalia da temperatura do ar

As tendências associadas às várias séries de dados foram analisadas, tendo para o efeito sido utilizadas as séries das médias mensais da temperatura máxima e mínima do ar, isto porque as séries da mínima e máxima poderão revelar fenómenos meteorológicos extremos ocorridos no período correspondente. Face a esta previsão a opção pelo valor médio mensal foi proposta como o valor mais sensível para o tipo de fenómeno em estudo.

Utilizando estas séries de dados mensais obtidas para o período 1941-2001, foram construídas as séries das anomalias normalizadas.

$$AT_i = \frac{[T_{med} - T_i]}{\delta T} \dots\dots\dots (49)$$

Consequentemente, foram calculadas as séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura máxima e mínima do ar para cada estação meteorológica e avaliadas as respectivas tendências através do modelo de ajustamento linear ou quadrático.

Na Fig.4h.1a à Fig.4h.18a, estão representadas as séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura mínima do ar, bem como o modelo de tendência (linear ou quadrático) que melhor se ajusta e respectivos intervalos de confiança (95%), de igual forma na Fig.4h.1b à Fig.4h.18b estão representadas as séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura máxima do ar, o modelo de tendência (linear ou quadrático) que melhor se ajusta e respectivos intervalos de confiança (95%).



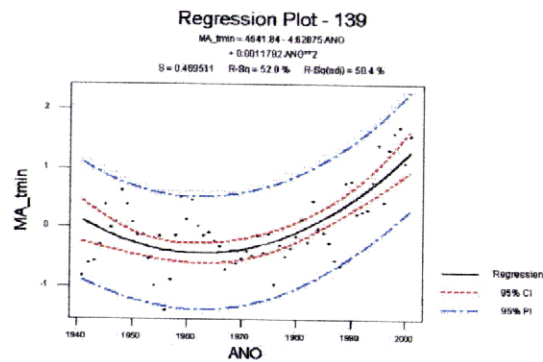


Fig.4h.1a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 139, 1941-2001.

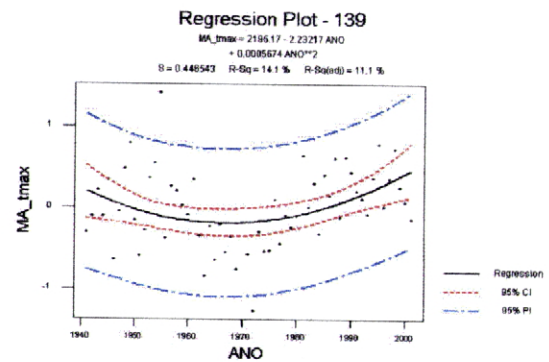


Fig.4h.1b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 139, 1941-2001.

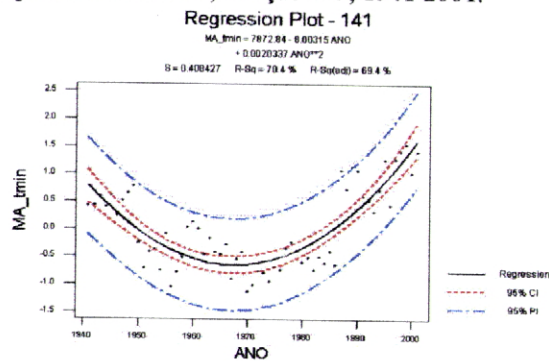


Fig.4h.2a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 141, 1941-2001.

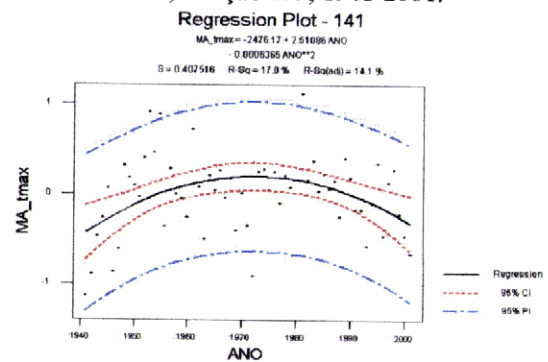


Fig.4h.2b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 141, 1941-2001.

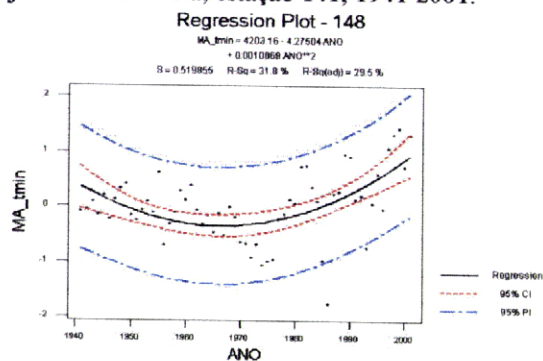


Fig.4h.3a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 148, 1941-2001.

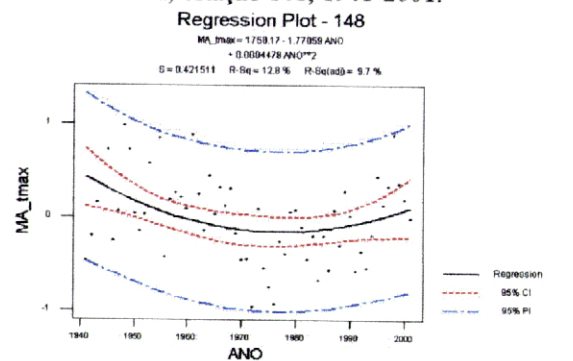


Fig.4h.3b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 148, 1941-2001.

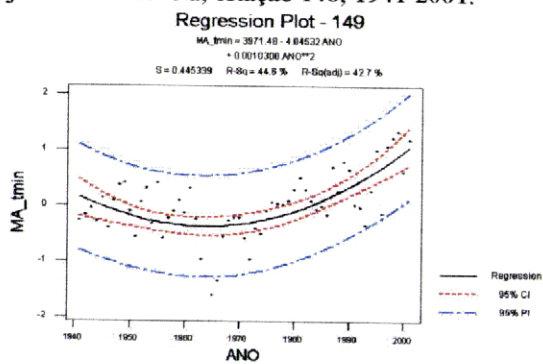


Fig.4h.4a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 149, 1941-2001.

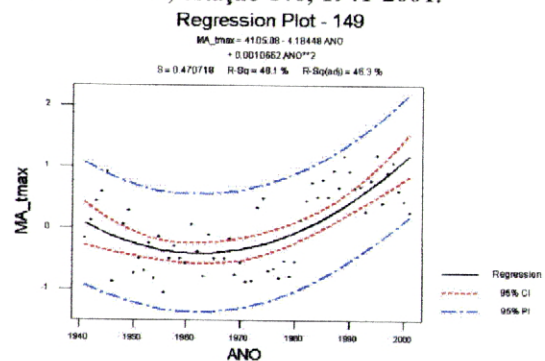


Fig.4h.4b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 149, 1941-2001.

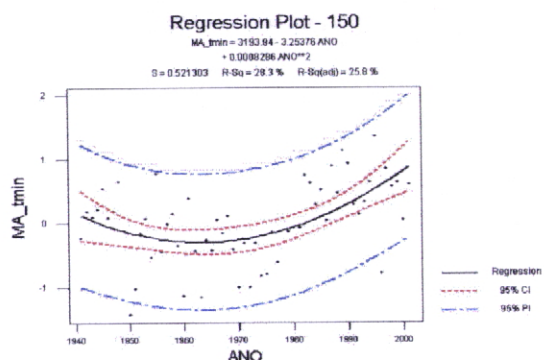


Fig.4h.5a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 150, 1941-2001.

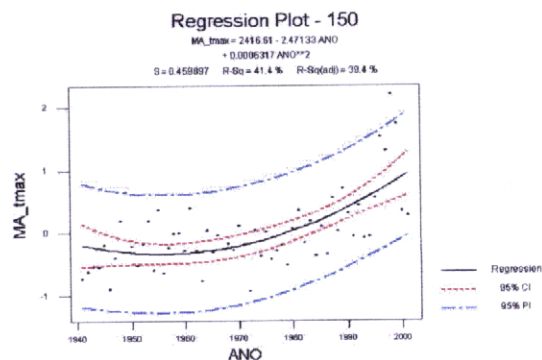


Fig.4h.5b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 150, 1941-2001.

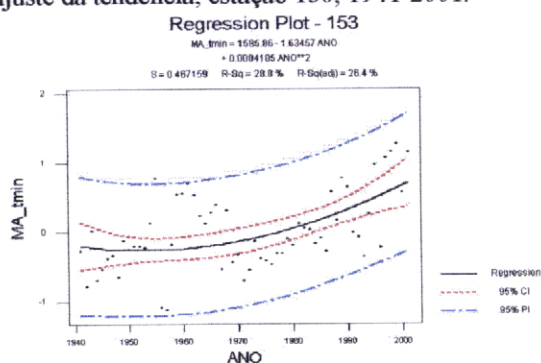


Fig.4h.6a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 153, 1941-2001.

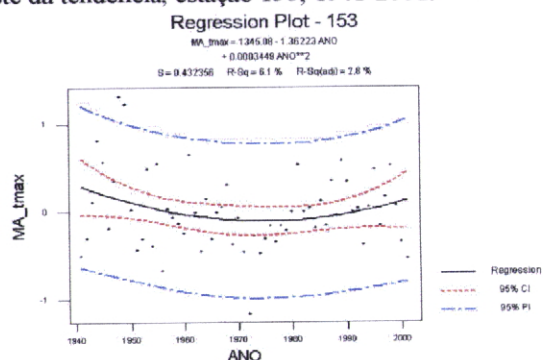


Fig.4h.6b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 153, 1941-2001.

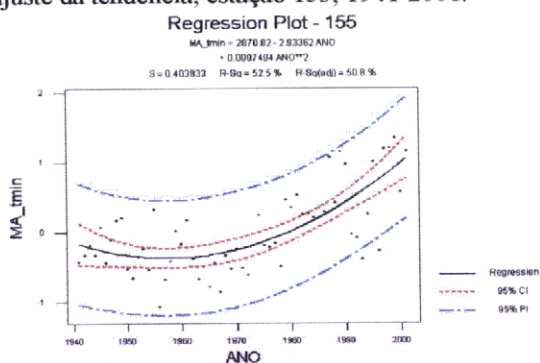


Fig.4h.7a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 155, 1941-2001.

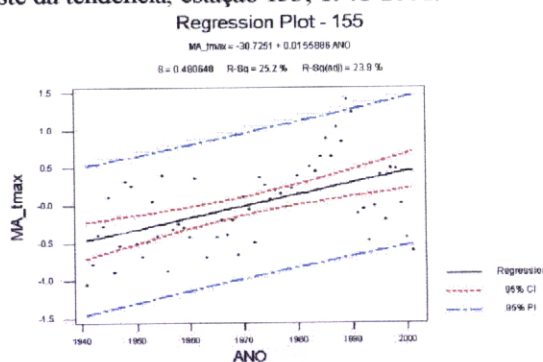


Fig.4h.7b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 155, 1941-2001.

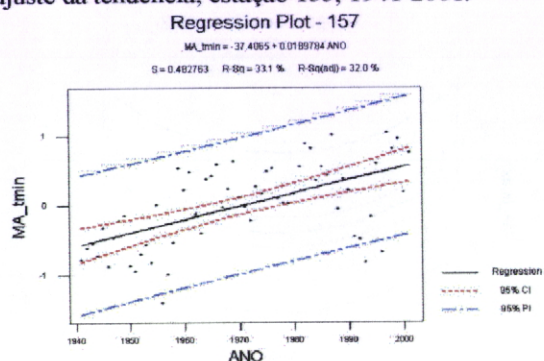


Fig.4h.8a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 157, 1941-2001.

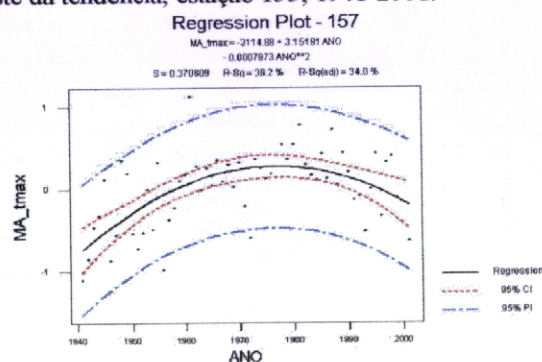


Fig.4h.8b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 157, 1941-2001.



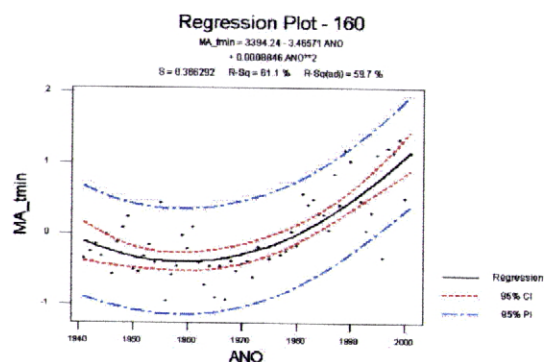


Fig.4h.9a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 160, 1941-2001.

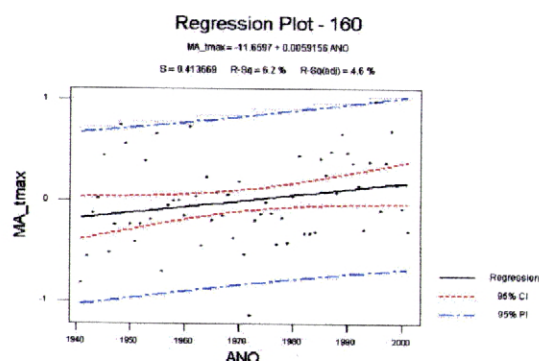


Fig.4h.9b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 160, 1941-2001.

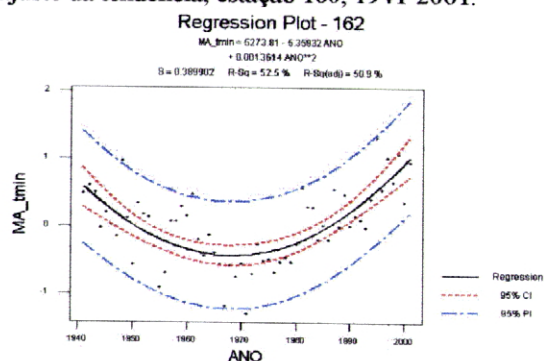


Fig.4h.10a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 162, 1941-2001.

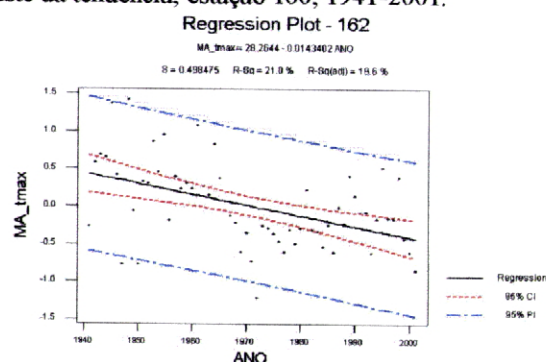


Fig.4h.10b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 162, 1941-2001.

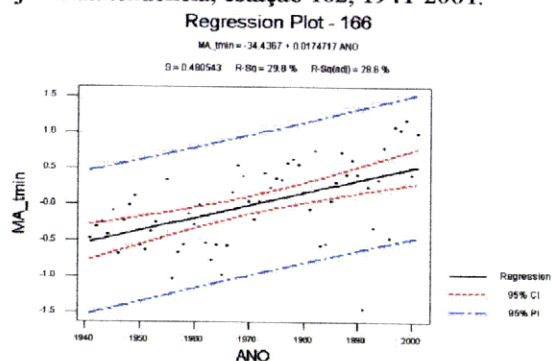


Fig.4h.11a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 166, 1941-2001.

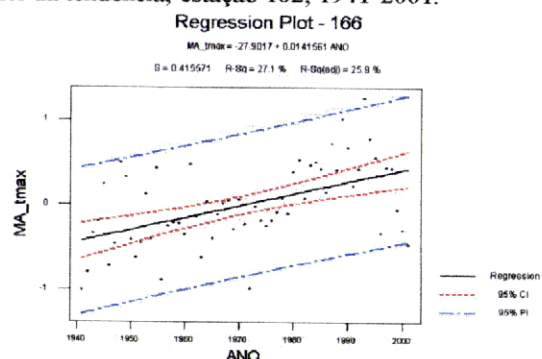


Fig.4h.11b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 166, 1941-2001.

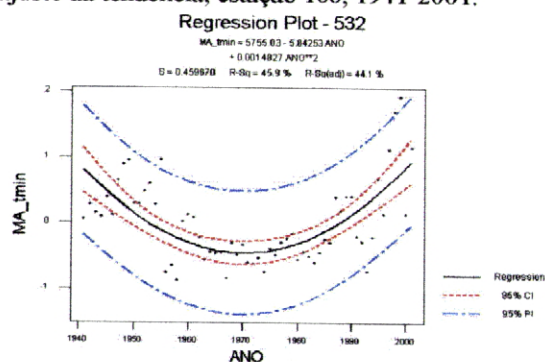


Fig.4h.12a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 532, 1941-2001.

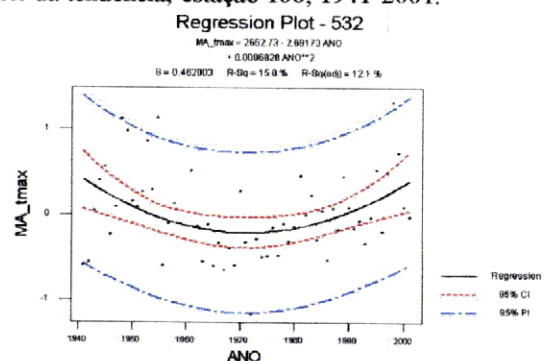


Fig.4h.12b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 532, 1941-2001.

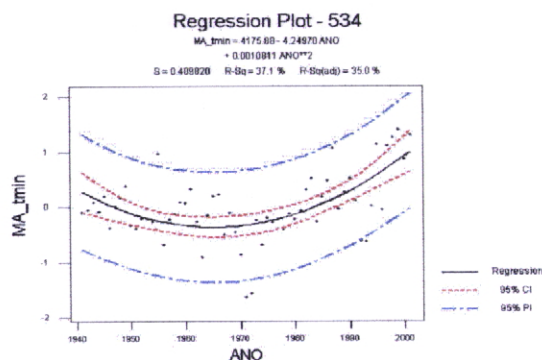


Fig.4h.13a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 534, 1941-2001.

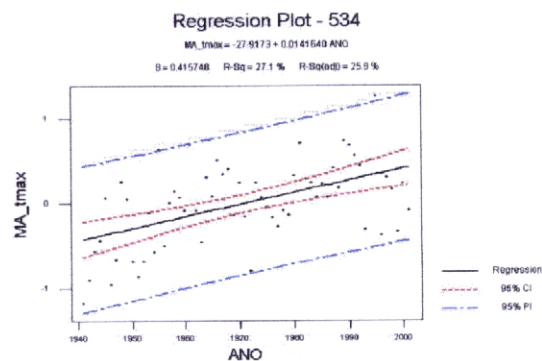


Fig.4h.13b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 534, 1941-2001.

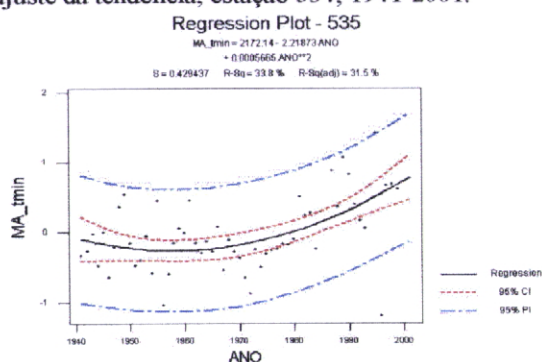


Fig.4h.14a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 535, 1941-2001.

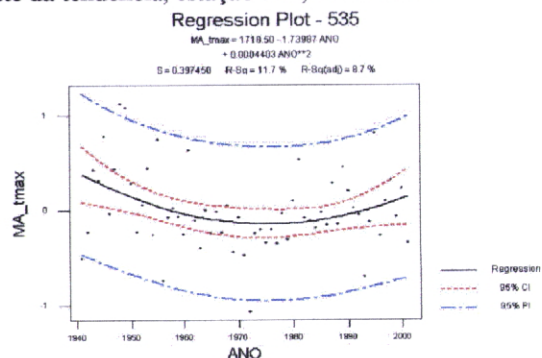


Fig.4h.14b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 535, 1941-2001.

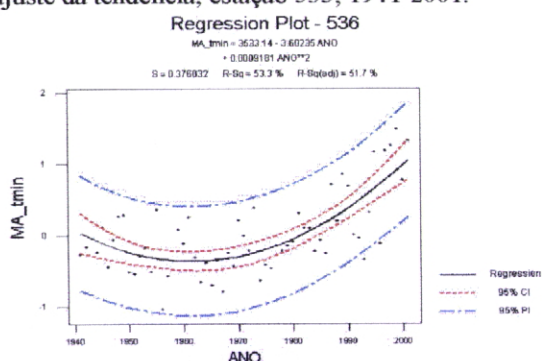


Fig.4h.15a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 536, 1941-2001.

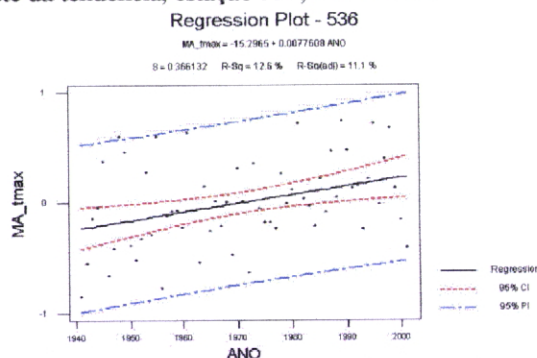


Fig.4h.15b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 536, 1941-2001.

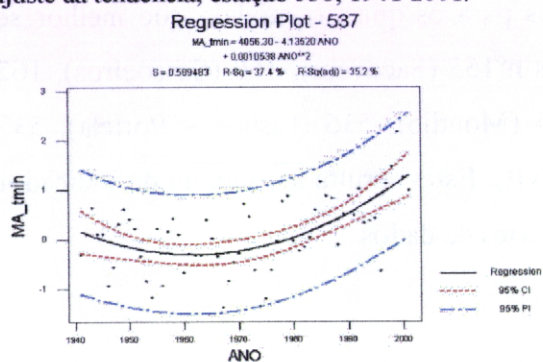


Fig.4h.16a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 537, 1941-2001.

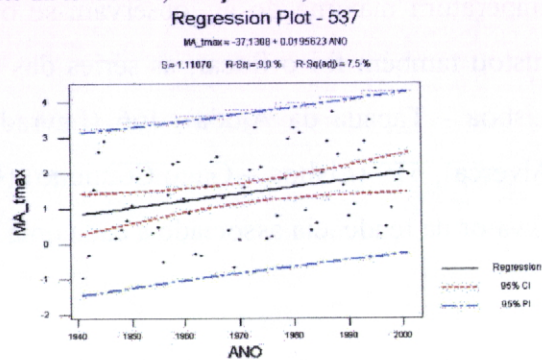


Fig.4h.16b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 537, 1941-2001.

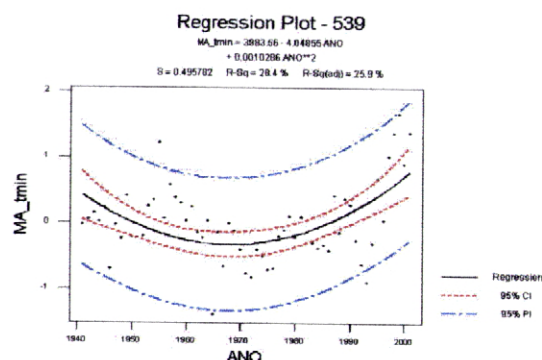


Fig.4h.17a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 539, 1941-2001.

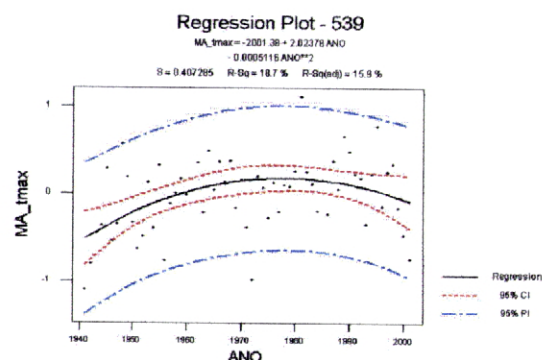


Fig.4h.17b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 539, 1941-2001.

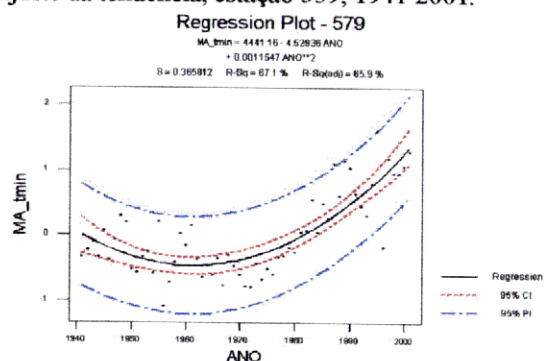


Fig.4h.18a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 579, 1941-2001.

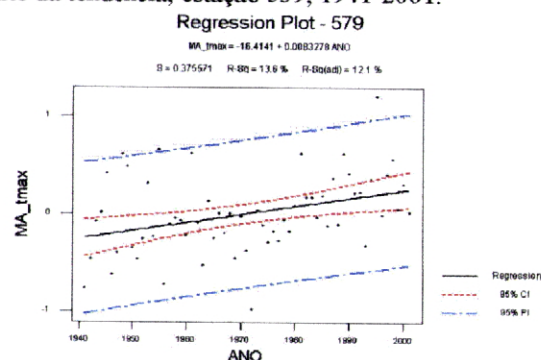


Fig.4h.18b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 579, 1941-2001.

Das representações gráficas, Fig.4h.1a à 4h.18a, das séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura mínima do ar podemos identificar, nomeadamente para as séries das estações nº157 (Cabo Ruivo) e nº166 (Lavradio), dois casos nos quais o modelo que melhor se ajustou foi o linear.

Nas Fig.4h.1a à Fig.4h.18a, das séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura máxima do ar, observam-se oito casos para os quais o modelo que melhor se ajustou também foi o linear, as séries das estações nº155 (Sacavém), 160 (Sassoeiros), 162 (Lisboa - Tapada da Ajuda), 166 (Lavradio), 534 (Montijo), 536 (Lisboa – Portela), 537 (Alverca), 579 (Lisboa – Gago Coutinho) (QuadroXII). Estes resultados servem de indicador do valor da tendência associado a cada uma destas séries de dados.



| <b>QuadroXII</b><br><b>Resultados da aplicação do modelo de tendência linear e quadrática (ano de inflexão) às várias séries de dados de cada estação.</b> |                                    |                                 |                                    |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Nº da estação/nº da estação no mapa e Quadrol                                                                                                              | Ano inflexão AN temperatura mínima | Tendência associada (valor/ano) | Ano inflexão AN temperatura máxima | Tendência associada (valor/ano) |
| 139 (1)                                                                                                                                                    | 1962                               |                                 | 1967                               |                                 |
| 141 (2)                                                                                                                                                    | 1967                               |                                 | 1972                               |                                 |
| 148 (3)                                                                                                                                                    | 1966                               |                                 | 1976                               |                                 |
| 149 (4)                                                                                                                                                    | 1963                               |                                 | 1962                               |                                 |
| 150 (5)                                                                                                                                                    | 1963                               |                                 | 1956                               |                                 |
| 153 (7)                                                                                                                                                    | 1952                               |                                 | 1974                               |                                 |
| 155 (8)                                                                                                                                                    | 1957                               |                                 |                                    | 0.0155886                       |
| 157 (9)                                                                                                                                                    |                                    | 0.0189784                       | 1976                               |                                 |
| 160 (10)                                                                                                                                                   | 1958                               |                                 |                                    | 0.0059156                       |
| 162 (11)                                                                                                                                                   | 1968                               |                                 |                                    | 0.0143402                       |
| 166 (12)                                                                                                                                                   |                                    | 0.0174717                       |                                    | 0.0141561                       |
| 532 (13)                                                                                                                                                   | 1970                               |                                 | 1971                               |                                 |
| 534 (14)                                                                                                                                                   | 1965                               |                                 |                                    | 0.0141640                       |
| 535 (15)                                                                                                                                                   | 1958                               |                                 | 1975                               |                                 |
| 536 (16)                                                                                                                                                   | 1961                               |                                 |                                    | 0.0077608                       |
| 537 (17)                                                                                                                                                   | 1962                               |                                 |                                    | 0.0195623                       |
| 539 (18)                                                                                                                                                   | 1967                               |                                 | 1977                               |                                 |
| 579 (16)                                                                                                                                                   | 1961                               |                                 |                                    | 0.0083278                       |

As séries de dados nas quais o modelo de tendência quadrática se melhor ajustou, evidenciaram uma característica importante para as séries de dados da temperatura do ar, isto é, identificou-se a existência de um ponto de inflexão no qual a tendência da série é invertida, no que respeita ao seu sinal. Este ponto pode ser considerado como o ano a partir do qual a série de dados muda o sinal da tendência (ver QuadroXII).

Assim, tendo em conta este tipo de informação gerada com aplicação do modelo de tendência quadrática obteve-se para cada série de dados nestas condições o supra mencionado ponto de inflexão, ponto este que na realidade não mais que o zero da função polinomial de segundo grau.

Após a obtenção do ponto (ano) de inflexão da tendência de cada série, efectuou-se nova análise da tendência integrada entre o ano obtido e 2001. De realçar que o modelo de tendência linear foi o que melhor se ajustou. Os resultados obtidos com aplicação deste modelo encontram-se representados na forma gráfica nas figuras 6i.1a à 6i.17a para as séries anuais da média da anomalia normalizada da temperatura mínima do ar, e, nas figuras 6i.1b à 6i.16b para as séries anuais da média da anomalia normalizada (M.A.A.N.) da temperatura máxima do ar.

Dos resultados evidencia-se, para cada série de dados, o valor numérico da tendência obtida para cada intervalo de tempo, cujos valores se encontram apresentados no QuadroXIII.

## M.A.A.N. temperatura mínima do ar

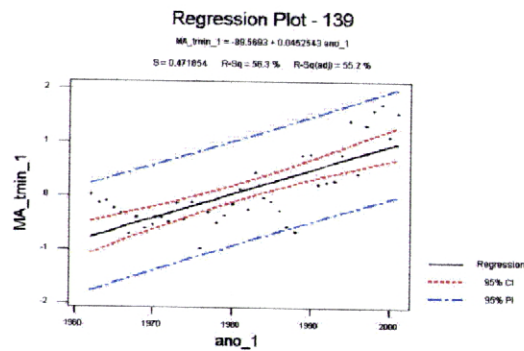


Fig.4i.1a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 139, 1962-2001.

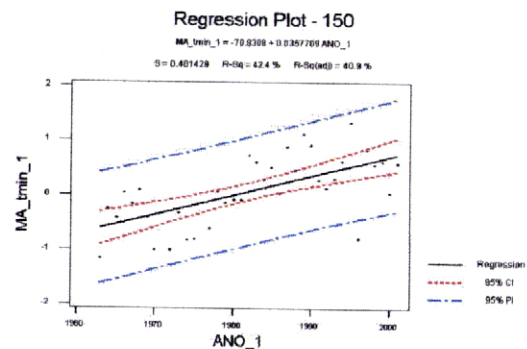


Fig.4i.5a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 150, 1963-2001.

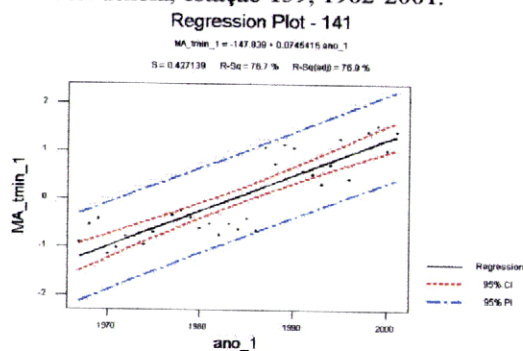


Fig.4i.2a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 141, 1967-2001.

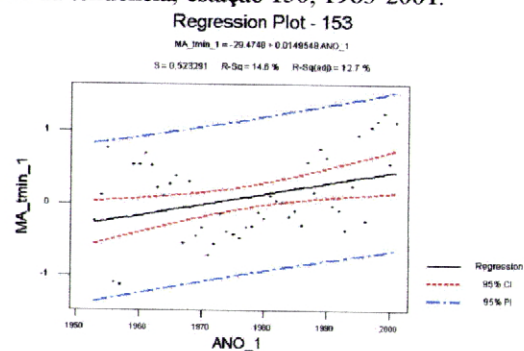


Fig.4i.6a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 153, 1952-2001.

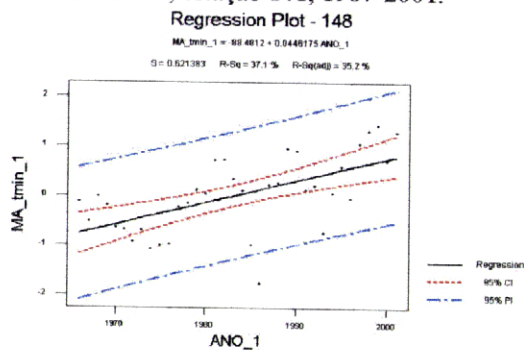


Fig.4i.3a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 148, 1966-2001.

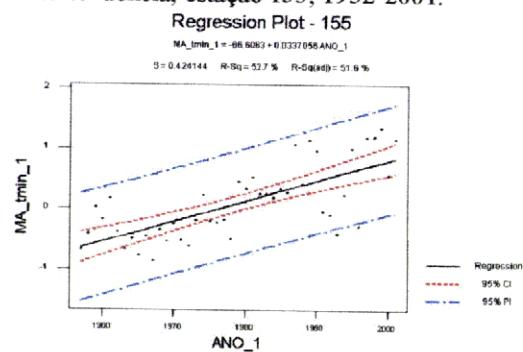


Fig.4i.7a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 155, 1957-2001.

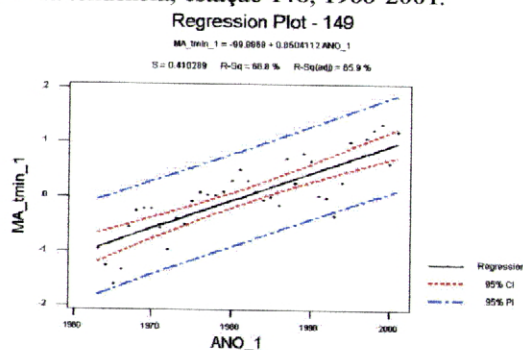


Fig.4i.4a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 149, 1963-2001.

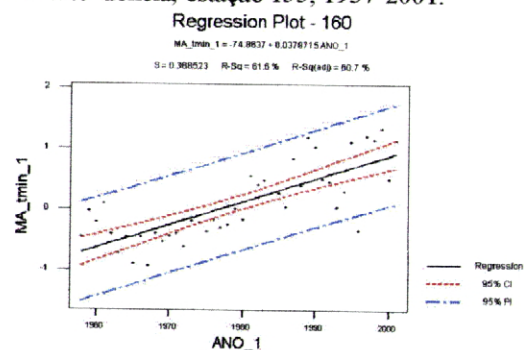


Fig.4i.9a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 160, 1958-2001.



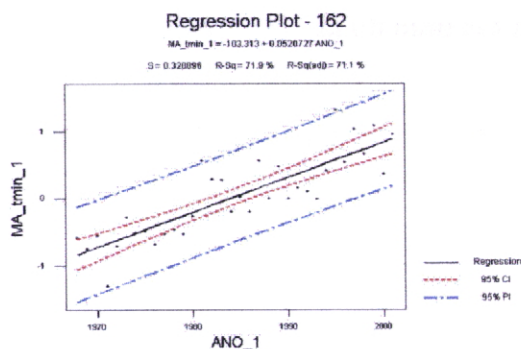


Fig.4i.10a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 162, 1968-2001.

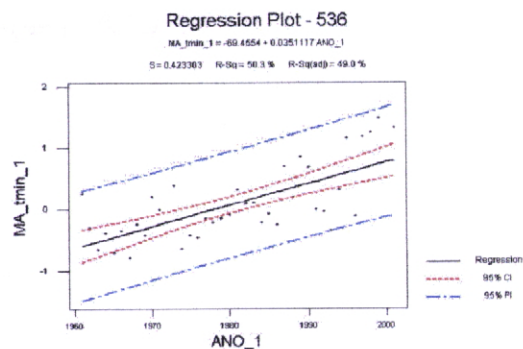


Fig.4i.14a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 536, 1961-2001.

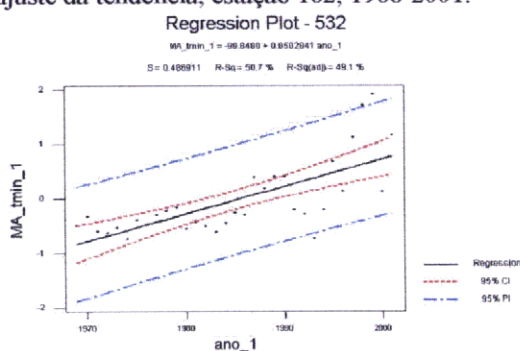


Fig.4i.11a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 532, 1970-2001.

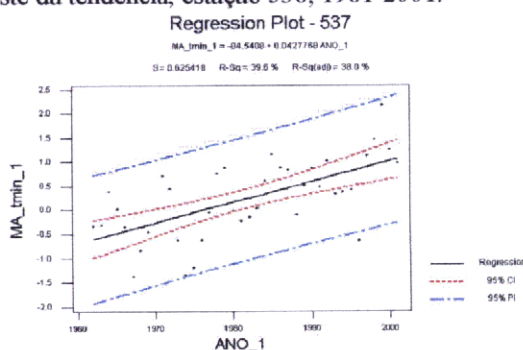


Fig.4i.15a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 537, 1962-2001.

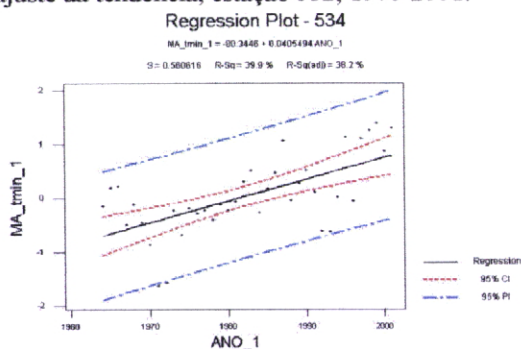


Fig.4i.12a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 534, 1965-2001.

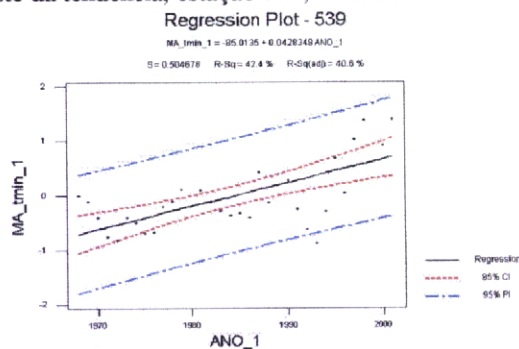


Fig.4i.16a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 539, 1967-2001.

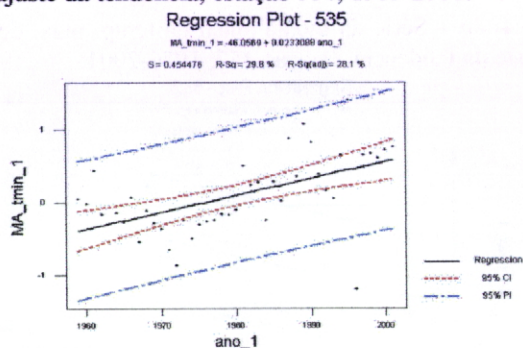


Fig.4i.13a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 535, 1958-2001.

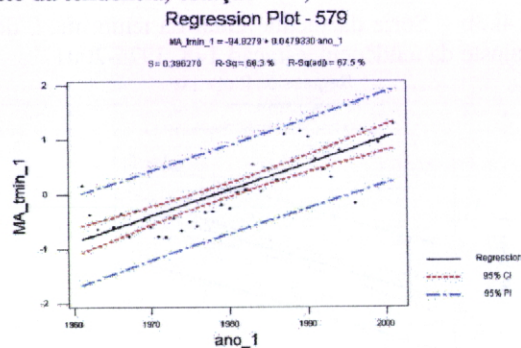


Fig.4i.17a – Série da média anual da temp. min. do ar, ajuste da tendência, estação 579, 1961-2001.

## M.A.A.N. temperatura máxima do ar

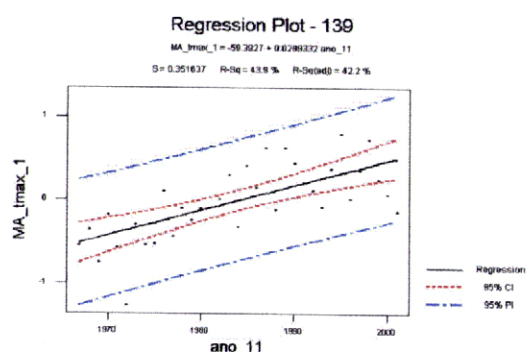


Fig.4i.1b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 139, 1967-2001.

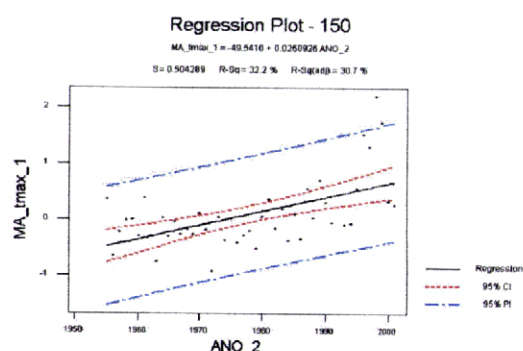


Fig.4i.5b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 150, 1956-2001.

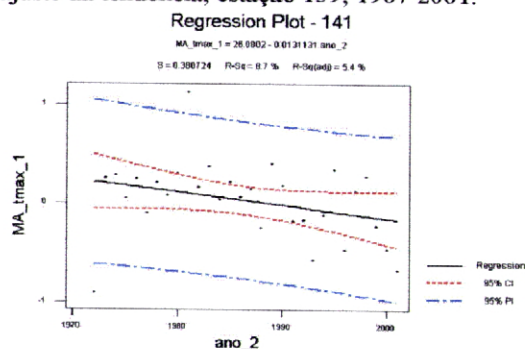


Fig.4i.2b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 139, 1972-2001.

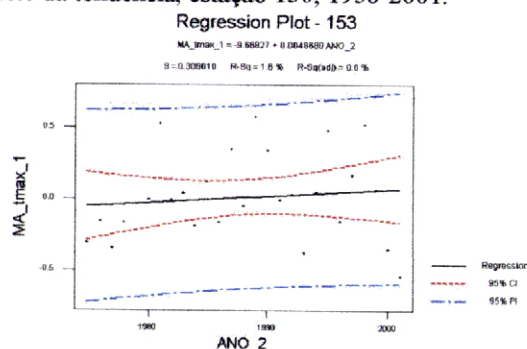


Fig.4i.6b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 153, 1974-2001.

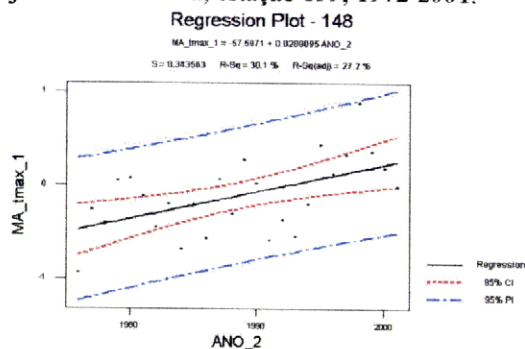


Fig.4i.3b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 148, 1976-2001.

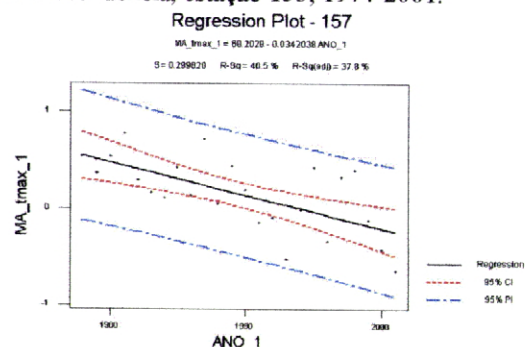


Fig.4i.8b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 157, 1976-2001.

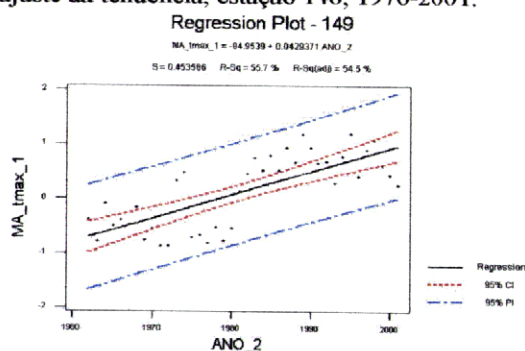


Fig.4i.4b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 149, 1962-2001.

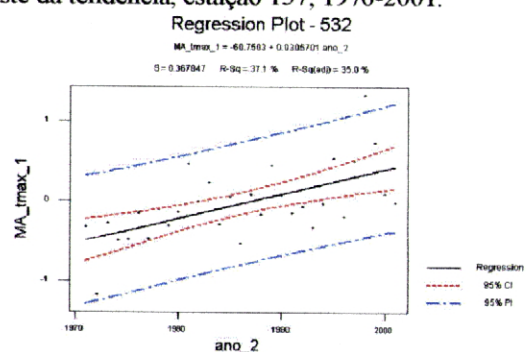


Fig.4i.11b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 532, 1971-2001.



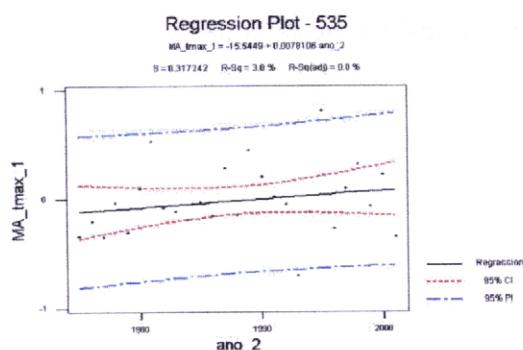


Fig.4i.13b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 535, 1975-2001.

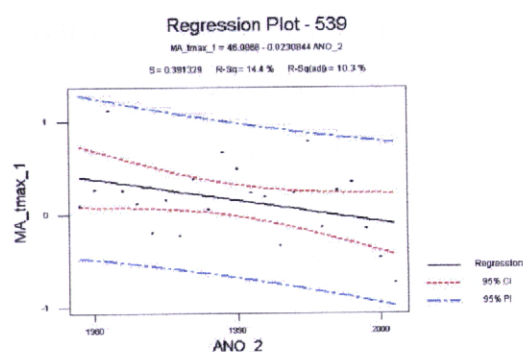


Fig.4i.16b – Série da média anual da temp. max. do ar, ajuste da tendência, estação 539, 1977-2001.

| <b>Quadro XIII</b><br><b>Resultados da aplicação do modelo de tendência linear, às várias séries de dados de cada estação (Med. Anual Anoma. Norma. da Temp. min. e max. do ar), 1941-2001</b> |                                      |                                 |                                      |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Nº da estação/nº da estação no mapa e Quadrol                                                                                                                                                  | Período analisado temperatura mínima | Tendência associada (valor/ano) | Período analisado temperatura máxima | Tendência associada (valor/ano) |
| 139 (1)                                                                                                                                                                                        | 1962-2001                            | 0.0453                          | 1967-2001                            | 0.0299                          |
| 141 (2)                                                                                                                                                                                        | 1967-2001                            | 0.0745                          | 1972-2001                            | 0.0131                          |
| 148 (3)                                                                                                                                                                                        | 1966-2001                            | 0.0446                          | 1976-2001                            | 0.0289                          |
| 149 (4)                                                                                                                                                                                        | 1963-2001                            | 0.0504                          | 1962-2001                            | 0.0429                          |
| 150 (5)                                                                                                                                                                                        | 1963-2001                            | 0.0358                          | 1956-2001                            | 0.0251                          |
| 153 (7)                                                                                                                                                                                        | 1952-2001                            | 0.0150                          | 1974-2001                            | 0.0049                          |
| 155 (8)                                                                                                                                                                                        | 1957-2001                            | 0.0337                          | 1941-2001                            | 0.0156                          |
| 157 (9)                                                                                                                                                                                        | 1941-2001                            | 0.0190                          | 1976-2001                            | 0.0342                          |
| 160 (10)                                                                                                                                                                                       | 1958-2001                            | 0.0379                          | 1941-2001                            | 0.0059                          |
| 162 (11)                                                                                                                                                                                       | 1968-2001                            | 0.0521                          | 1941-2001                            | 0.0143                          |
| 166 (12)                                                                                                                                                                                       | 1941-2001                            | 0.0175                          | 1941-2001                            | 0.0142                          |
| 532 (13)                                                                                                                                                                                       | 1970-2001                            | 0.0503                          | 1971-2001                            | 0.0306                          |
| 534 (14)                                                                                                                                                                                       | 1965-2001                            | 0.0405                          | 1941-2001                            | 0.0142                          |
| 535 (15)                                                                                                                                                                                       | 1958-2001                            | 0.0233                          | 1975-2001                            | 0.0078                          |
| 536 (16)                                                                                                                                                                                       | 1961-2001                            | 0.0351                          | 1941-2001                            | 0.0078                          |
| 537 (17)                                                                                                                                                                                       | 1962-2001                            | 0.0428                          | 1941-2001                            | 0.0196                          |
| 539 (18)                                                                                                                                                                                       | 1967-2001                            | 0.0428                          | 1977-2001                            | -0.0231                         |
| 579 (16)                                                                                                                                                                                       | 1961-2001                            | 0.0479                          | 1941-2001                            | 0.0083                          |

Dos resultados apresentados no Quadro XIII, identifica-se que: os valores da tendência obtidos para as diferentes séries associadas à temperatura mínima do ar são em regra, superiores aos valores obtidos para as séries associadas à temperatura máxima do ar; para o período completo (1941-2001) apenas para as séries de dados associadas a temperatura mínima do ar das estações 157 (Cabo Ruivo) e 166 (Lavrado) o modelo de tendência que melhor se ajustou foi o linear, resultando que a tendência associada foi sempre positiva.

Estes resultados reflectem um problema encontrado com a aplicação do MIRS, problema este que surge do facto do referido modelo na sua “Etapa diária – Dependência espacial” utilizar informação existente (dados) das séries de dados das várias estações para reconstruir dados que apresentem código de falha. Face ao número elevado de registos com



falhas nos últimos anos (entre 1995-2001), mais concretamente, neste período constata-se que apenas as séries das estações do Geofísico e Gago Coutinho apresentavam registos com dados, o que originou que o MIRS para este período apenas utilizou informação destas duas estações para reconstruir todas as outras. Factor este que, directamente, influenciou os valores da temperatura do ar utilizados na geração das séries mensais e anuais das restantes estações.

Tendo em conta, que estas duas estações referidas são aquelas que possivelmente mais reflectem a influência da intensificação do fenómeno ilha calor urbano, podemos inferir que os dados gerados pelo MIRS, sobrestimarão a realidade das diferentes séries de dados da temperatura do ar de cada estação.

Face a estas condicionantes a proposta para reavaliação das séries de dados será a integração até ao ano de 1995. Os resultados encontram-se no QuadroXIV.

| <b>QuadroXIV</b>                                                                                                                                                         |                                             |                                        |                                             |                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Resultados da aplicação do modelo de tendência linear, às várias séries de dados de cada estação, (Med. Anual Anoma.Norma. da Temp. min. e max. do ar), 1941-1995</b> |                                             |                                        |                                             |                                        |
| <b>Nº da estação/nº da estação no mapa e Quadrol</b>                                                                                                                     | <b>Período analisado temperatura mínima</b> | <b>Tendência associada (valor/ano)</b> | <b>Período analisado temperatura máxima</b> | <b>Tendência associada (valor/ano)</b> |
| 139 (1)                                                                                                                                                                  | 1962-1995                                   | 0.0294                                 | 1967-1995                                   | 0.0415                                 |
| 141 (2)                                                                                                                                                                  | 1967-1995                                   | 0.0709                                 | 1972-1995                                   | -0.0038                                |
| 148 (3)                                                                                                                                                                  | 1966-1995                                   | 0.0302                                 | 1976-1995                                   | 0.0148                                 |
| 149 (4)                                                                                                                                                                  | 1963-1995                                   | 0.0483                                 | 1962-1995                                   | 0.0523                                 |
| 150 (5)                                                                                                                                                                  | 1963-1995                                   | 0.0486                                 | 1956-1995                                   | 0.0107                                 |
| 153 (7)                                                                                                                                                                  | 1952-1995                                   | 0.0054                                 | 1974-1995                                   | 0.0189                                 |
| 155 (8)                                                                                                                                                                  | 1957-1995                                   | 0.0302                                 | 1941-1995                                   | 0.0156                                 |
| 157 (9)                                                                                                                                                                  | 1941-1995                                   | 0.0190                                 | 1976-1995                                   | 0.0347                                 |
| 160 (10)                                                                                                                                                                 | 1958-1995                                   | 0.0329                                 | 1941-1995                                   | 0.0059                                 |
| 162 (11)                                                                                                                                                                 | 1968-1995                                   | 0.0512                                 | 1941-1995                                   | 0.0143                                 |
| 166 (12)                                                                                                                                                                 | 1941-1995                                   | 0.0175                                 | 1941-1995                                   | 0.0142                                 |
| 532 (13)                                                                                                                                                                 | 1970-1995                                   | 0.0266                                 | 1971-1995                                   | 0.0270                                 |
| 534 (14)                                                                                                                                                                 | 1965-1995                                   | 0.0275                                 | 1941-1995                                   | 0.0142                                 |
| 535 (15)                                                                                                                                                                 | 1958-1995                                   | 0.0233                                 | 1975-1995                                   | 0.0158                                 |
| 536 (16)                                                                                                                                                                 | 1961-1995                                   | 0.0251                                 | 1941-1995                                   | 0.0078                                 |
| 537 (17)                                                                                                                                                                 | 1962-1995                                   | 0.0375                                 | 1941-1995                                   | 0.0196                                 |
| 539 (18)                                                                                                                                                                 | 1967-1995                                   | 0.0148                                 | 1977-1995                                   | 0.0001                                 |
| 579 (16)                                                                                                                                                                 | 1961-1995                                   | 0.0502                                 | 1941-1995                                   | 0.0083                                 |

Face aos resultados obtidos com a aplicação do modelo de tendência linear para os intervalos 1941-2001 e 1941-1995, dos quais se pode salientar:

- 1) embora os resultados numéricos, da aplicação do modelo de tendência linear, associados a cada série de dados sejam diferentes, o sinal dessa tendência é claramente similar, salvo no caso das estações 141 (Salvaterra de Magos) e 539 (Ota) série associada à média anual da temperatura máxima do ar em que o sinal inverteu;
- 2) os valores da tendência, obtidos para o intervalo 1941-1995 e para a série de dados associada à média anual da temperatura mínima do ar, são mais baixos, comparativamente, com os resultados obtidos para o intervalo 1941-2001;

- 3) em regra, com aplicação do modelo de tendência linear, os resultados obtidos evidenciam valores superiores da tendência para a série de dados associada à média anual da temperatura mínima do ar;
- 4) os diferentes pontos (anos) de inflexão da tendência obtidos para cada série de dados, não são concordantes entre si, sendo que as estações instaladas em zonas envolvidas pela cidade, caso da 535 (Geofísico), 579 (Gago Coutinho) e 536 (Portela), apresentam pontos de inflexão para a série de dados associada à média anual da temperatura mínima do ar que variam entre 1958 e 1962;
- 5) observando os resultados já evidenciados (Quadro XIII), identifica-se a alteração do sinal da tendência (Fig. 4h.14a) para a estação do Geofísico período 1941-2001, caso da série da média da anomalia normalizada da temperatura mínima do ar, essa alteração ocorreu no ano 1958 sendo que a partir desse ano até 2001 a tendência apresenta-se com valor positivo com valor de 0.0233. No caso da série da média da anomalia normalizada da temperatura máxima do ar, essa alteração ocorreu no ano 1975 (Fig. 4h.14b) sendo que a partir desse ano até 2001 a tendência apresenta-se com valor positivo com valor de 0.0158068;
- 6) a estação do Gago Coutinho para o período 1941-2001, a alteração do sinal da tendência (Fig. 4h.18a), no caso da série da média da anomalia normalizada da temperatura mínima do ar, essa alteração ocorreu no ano 1961 sendo que a partir desse ano até 2001 a tendência apresenta-se com valor positivo, (com valor de 0.0479330) e para o caso da série da média da anomalia normalizada da temperatura máxima do ar não se identificou o período de mudança do sinal da tendência, sendo que, a integração na análise da tendência foi efectuada entre 1941-2001 obtendo-se um valor de 0.0083278 (Fig. 4h.18b).

#### **4.1.2.2 Aplicação do modelo tendência casos pontuais – séries da temperatura do ar**

As tendências observadas, nas séries de dados utilizados neste estudo, reflectem algumas particularidades inerentes, nomeadamente, no que respeita à localização das estações meteorológicas, nas quais são executadas as observações, bem como ao que poderá ser uma tendência à escala regional, e ou, até mundial.

Utilizando apenas algumas das séries em estudo, caso das séries das estações 535 (Geofísico), 579 (Gago Coutinho), 139 (Dois Portos) e 532 (Sintra - Granja), representou-se a variação temporal entre 1941-2001, das séries obtidas da média anual da temperatura mínima e máxima do ar.



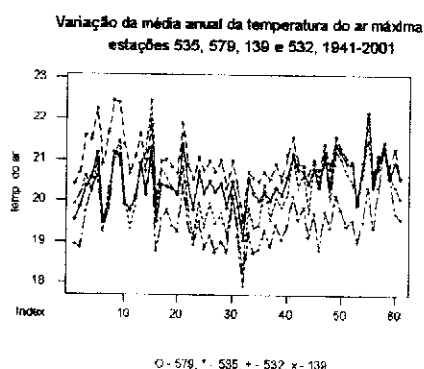
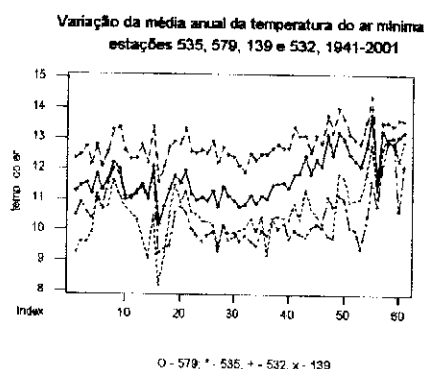


Fig.4.j – Variação da média anual da temperatura mínima do ar das estações, 535, 579, 532 e 139, 1941-2001

Fig.4.k – Variação da média anual da temperatura máxima do ar das estações, 535, 579, 532 e 139, 1941-2001

Na fig.4.j reconhece-se que os registos de valores mais elevados da média anual da temperatura mínima do ar, foram obtidos na estação 535 e 579, sendo que, das quatro estações representadas a 535 e 579 encontram-se envolvidas pela cidade, com a particularidade de a estação 579 tornar-se, efectivamente, envolvida pela cidade no início dos anos 80. De igual forma, os registos mais elevados da média anual da temperatura máxima do ar, fig.4.k, foram obtidos na estação 535 e 579.

Algumas destas séries de dados foram obtidas em estações meteorológicas que se encontram instaladas na malha urbana de Lisboa (caso da estação instalada no Geofísico – nº535) e outras em áreas que, devido ao desenvolvimento e expansão da cidade de Lisboa, foram envolvidas pelas zonas urbanas da cidade de Lisboa (caso da estação Gago Coutinho- nº579 que se encontra aproximadamente a 200metros da estação da Portela-nº536). Perante este cenário, a condicionante dos dados e o facto supramencionado, optou-se por avaliar de uma forma diferente, da até agora efectuada, as séries de dados das duas estações, Geofísico (535) e Gago Coutinho (579), fig.4.l e fig.4.m.

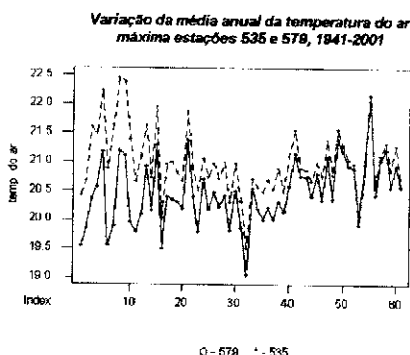
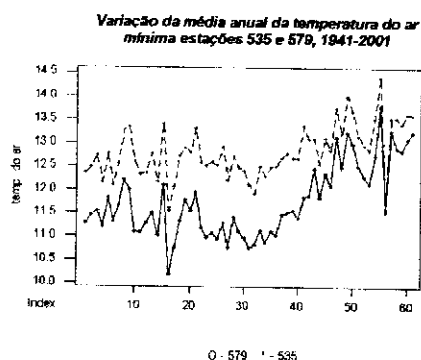


Fig.4.l – Variação da média anual da temperatura mínima do ar das estações, 535, 579, 1941-2001

Fig.4.m – Variação da média anual da temperatura máxima do ar das estações, 535, 579, 1941-2001

Aplicando estes dados da média anual temperatura do ar, mas convertendo-os em anomalia,

$$AT_i = [T_{med} - T_i] \dots \dots \dots (50)$$

ao modelo de tendência linear podemos inferir os seguintes resultados para as séries destas duas estações. QuadroXV.

| <b>Quadro XV</b>                                             |                           |                                     |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>Resultados da aplicação do modelo de tendência linear</b> |                           |                                     |
|                                                              | <b>Intervalo de tempo</b> | <b>Tendência associada (°C/ano)</b> |
| Geofísico (535), temp. min.                                  | 1958-2001                 | 0.0239                              |
| Geofísico (535), temp. max.                                  | 1975-2001                 | 0.0113                              |
| Gago Coutinho (579), temp. min.                              | 1961-2001                 | 0.0600                              |
| Gago Coutinho (579), temp. max.                              | 1941-2001                 | 0.0120                              |

Os resultados, expressos no QuadroXV, concretizam numericamente a evolução da temperatura do ar na cidade de Lisboa, nos períodos nele identificados. Assim evidencia-se o aumento na média anual da temperatura mínima do ar entre 1958-2001 (últimos 43 anos) de aproximadamente de 1.0 °C na estação do Geofísico (535) e de aproximadamente 2.4°C na estação de Gago Coutinho (579) entre 1961-2001 (últimos 40 anos). No caso da média anual da temperatura máxima do ar no Geofísico o aumento é de aproximadamente 0.3°C entre 1975-2001 (últimos 26 anos) e na estação do Gago Coutinho o aumento nos últimos 60 anos é de aproximadamente 0.7°C. Partindo dos resultados obtidos, identifica-se a estação do Geofísico (535) como a estação que esteve sob influência do fenómeno ilha de calor durante mais tempo, assim pretende-se analisar entre 1958-2001 em que período(s) do ano (meses), se observa uma maior contribuição para o aumento da temperatura mínima do ar na cidade de Lisboa.

Para esse efeito geraram-se 12 séries da anomalia da média mensal da temperatura mínima do ar, aplicando o modelo de tendência linear a cada uma das séries geradas, as representações gráficas dos resultados encontram-se nas fig.4.n.a à fig.4.n.l.

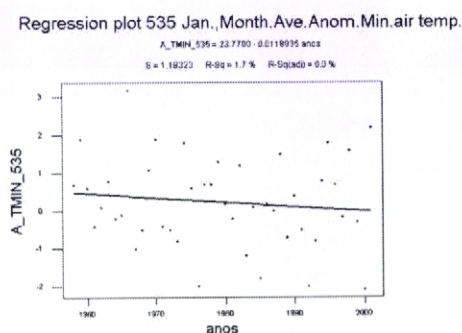


Fig.4.n.a– Série dos valores mensais (Jan.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001.

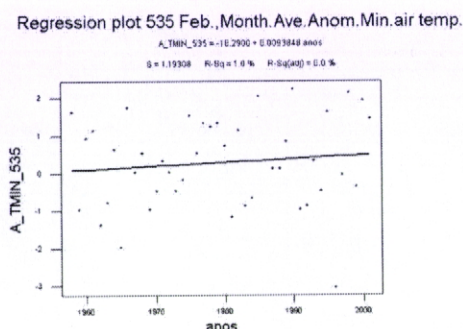


Fig.4.n.b– Série dos valores mensais (Fev.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001



Regression plot 535 Mar.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

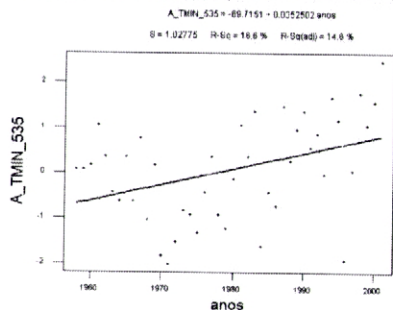


Fig.4.n.c– Série dos valores mensais (Mar.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Apr.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

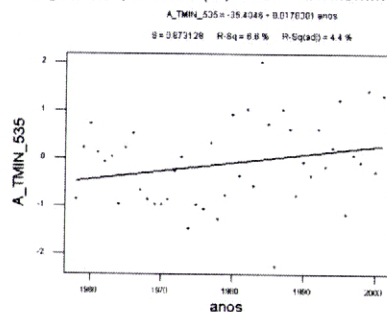


Fig.4.n.d– Série dos valores mensais (Abr.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 May,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

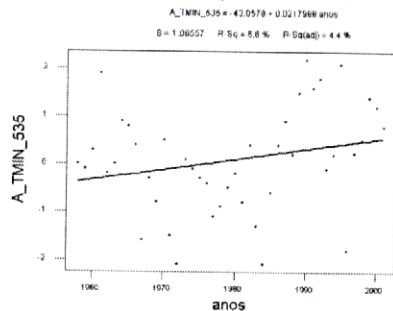


Fig.4.n.e– Série dos valores mensais (Mai.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Jun.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

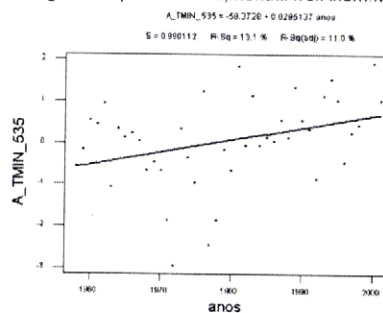


Fig.4.n.f– Série dos valores mensais (Jun.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Jul.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

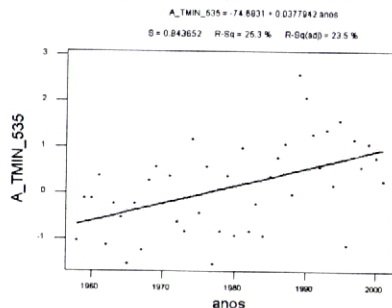


Fig.4.n.g– Série dos valores mensais (Jul.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Aug.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

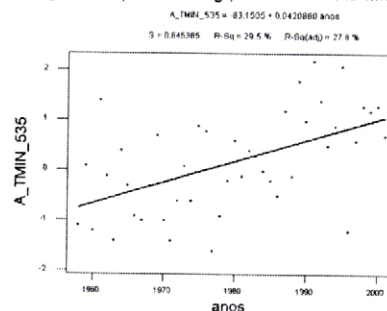


Fig.4.n.h – Série dos valores mensais (Ago.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Sep.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

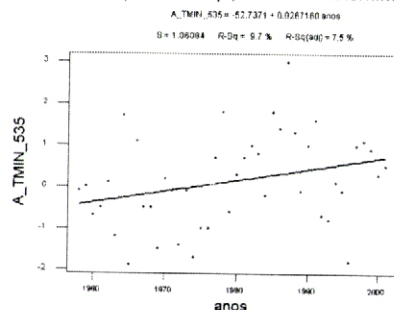


Fig.4.n.i– Série dos valores mensais (Set.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Oct.,Month.Ave.Anom.Min.air temp.

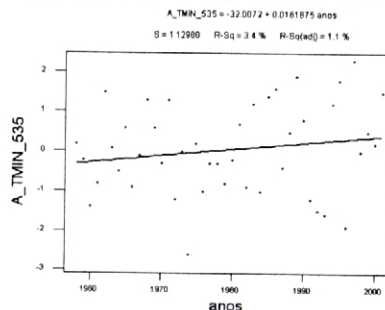


Fig.4.n.j – Série dos valores mensais (Out.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Nov., Month. Ave. Anom. Min. air temp.

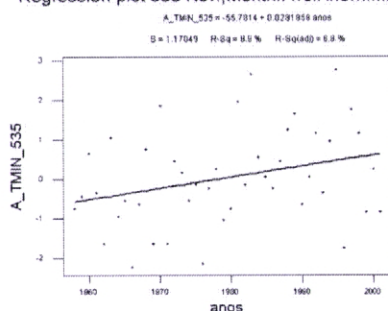


Fig.4.n.k– Série dos valores mensais (Nov.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Regression plot 535 Dec., Month. Ave. Anom. Min. air temp.

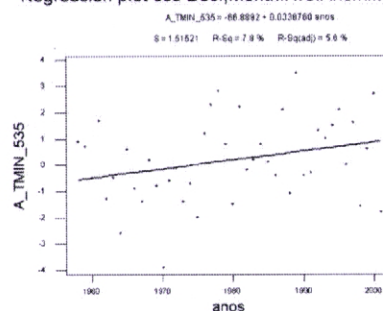


Fig.4.n.l– Série dos valores mensais (Dez.) da med. temp. min. do ar, ajuste da tendência, 1958-2001

Os resultados da aplicação do modelo de tendência linear, às séries da média da temperatura mínima do ar dos diferentes meses, evidenciam que: mês de Agosto aumento da média mensal da temperatura mínima do ar foi traduzido em 1.8°C; Julho 1.6°C; Março e Dezembro 1.5°C; 1.3°C em Junho; Novembro 1.2°C; nos restantes meses os valores obtidos foram positivos embora com valores abaixo de 1.0°C.

Pode-se então dizer que, aparentemente, os meses de Verão contribuíram (em média 1.6°C) de forma mais preponderante para aumento da média da temperatura mínima do ar durante o período 1958-2001.

**QuadroXVI**  
**Resultados da aplicação do modelo de tendência linear, às séries mensais da média da anomalia da temperatura mínima do ar, estação Geofísico (535), 1958-2001**

| mês  | Valor da tendência (°C/ano) | Variação temperatura do ar (°C) |
|------|-----------------------------|---------------------------------|
| Jan. | 0.0118935                   | 0.5                             |
| Fev. | 0.0093848                   | 0.4                             |
| Mar. | 0.0352502                   | 1.5                             |
| Abr. | 0.0178301                   | 0.8                             |
| Mai. | 0.0217988                   | 0.9                             |
| Jun. | 0.0295137                   | 1.3                             |
| Jul. | 0.0377942                   | 1.6                             |
| Ago. | 0.0420860                   | 1.8                             |
| Set. | 0.0267160                   | 1.1                             |
| Out. | 0.0161875                   | 0.7                             |
| Nov. | 0.0281959                   | 1.2                             |
| Dez. | 0.0338760                   | 1.5                             |



## 4.2 - FASE II

### 4.2.1- Observações de superfície

Os resultados da análise das variáveis meteorológicas, obtidas nas observações de superfície utilizadas neste trabalho, encontram-se apresentados na forma numérica e gráfica. Os valores apresentados na forma numérica são o valor médio, mínimo e máximo da temperatura e da humidade relativa do ar obtido em cada mês do ano 2002, os valores base utilizados estão integrados em 10 minutos.

Os dados representados na forma gráfica obedeceram a uma integração horária e referenciados ao dia Juliano. O valor da temperatura do ar está referenciado à escala graus Celsius, o valor da humidade relativa do ar referenciado à escala percentual, rumo do vento referenciado à escala angular (graus Norte) e a intensidade do vento referenciado à escala metros/segundo.

#### 4.2.1.1- Temperatura do ar

Os valores mensais obtidos para a temperatura do ar média, mínima e máxima encontram-se no Quadro XVII.

**QUADRO XVII**

|     | 535  |      |      | 925  |      |      | 920  |      |      | 921  |      |      | 923  |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mês | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax |
| 1   | 12.4 | 6.8  | 19.8 | 12.9 | 7.1  | 24.9 | 12.7 | 6.9  | 24.3 | 12.1 | 5.1  | 21.3 | 12.0 | 3.4  | 22.3 |
| 2   | 13.3 | 7.3  | 20.8 | 14.1 | 7.7  | 25.9 | 13.8 | 7.4  | 27.1 | 13.4 | 5.6  | 24.4 | 13.2 | 3.2  | 23.9 |
| 3   | 14.8 | 6.1  | 29.3 | 15.7 | 6.6  | 35.3 | 15.3 | 6.0  | 33.4 | 14.8 | 3.6  | 31.3 | 14.5 | 2.3  | 31.7 |
| 4   | 15.4 | 7.9  | 29.0 | 16.6 | 9.2  | 34.7 | 15.4 | 8.3  | 32.0 | 15.3 | 7.5  | 30.6 | 15.3 | 6.4  | 31.6 |
| 5   | 16.6 | 10.6 | 28.9 | 18.1 | 11.4 | 31.5 | 17.6 | 10.8 | 31.5 | 16.8 | 9.8  | 30.3 | 16.8 | 7.7  | 31.3 |
| 6   | 19.5 | 12.9 | 31.8 | 21.0 | 13.9 | 34.9 | 20.5 | 13.1 | 33.9 | 19.6 | 12.9 | 34.2 | 19.8 | 11.0 | 34.0 |
| 7   | 21.6 | 14.9 | 36.9 | 23.1 | 15.5 | 41.2 | 22.7 | 15.1 | 38.2 | 21.6 | 14.4 | 38.0 | 21.9 | 14.5 | 39.1 |
| 8   | 21.7 | 14.7 | 34.3 | 23.0 | 15.6 | 37.1 | 22.5 | 15.0 | 36.7 | 21.9 | 14.3 | 37.1 | 21.8 | 14.2 | 36.3 |
| 9   | 19.8 | 14.4 | 26.9 | 20.9 | 14.8 | 29.8 | 20.0 | 14.0 | 29.1 | 20.0 | 12.5 | 29.4 | 20.0 | 10.6 | 29.1 |
| 10  | 18.8 | 11.8 | 28.0 | 19.9 | 13.4 | 32.9 | 18.9 | 12.0 | 31.2 | 18.8 | 11.0 | 28.0 | 18.7 | 9.7  | 30.5 |
| 11  | 14.8 | 8.4  | 22.7 | 15.6 | 8.3  | 26.9 | 15.0 | 1.8  | 29.0 | 14.7 | 5.8  | 26.9 | 14.5 | 4.2  | 25.0 |
| 12  | 13.6 | 6.8  | 20.1 | 14.2 | 6.8  | 21.9 | 12.4 | 4.0  | 22.7 | -    | -    | -    | 13.4 | 2.7  | 24.5 |

|     | 924  |      |      | 926  |      |      | 927  |      |      | 928  |      |      | 929  |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mês | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax |
| 1   | 12.8 | 6.8  | 21.3 | 11.9 | 6.2  | 21.2 | 12.0 | 4.4  | 21.2 | 12.0 | 4.7  | 21.6 | 13.1 | 6.9  | 22.9 |
| 2   | 14.0 | 7.2  | 24.0 | 12.7 | 6.2  | 34.1 | 13.0 | 4.4  | 23.4 | 13.0 | 4.4  | 21.7 | 13.4 | 5.8  | 23.0 |
| 3   | 15.6 | 5.8  | 31.9 | 15.0 | 5.6  | 31.5 | 14.4 | 2.1  | 32.8 | 14.8 | 4.0  | 29.7 | 15.5 | 4.5  | 33.2 |
| 4   | 16.2 | 8.5  | 31.7 | 14.8 | 7.4  | 30.9 | 15.0 | 5.9  | 31.7 | 16.2 | 8.6  | 31.7 | 16.2 | 8.2  | 33.6 |
| 5   | 17.6 | 10.7 | 32.0 | 15.9 | 8.8  | 30.4 | 16.4 | 7.7  | 32.1 | 17.9 | 9.8  | 30.8 | 17.6 | 9.3  | 31.5 |
| 6   | 20.6 | 13.3 | 35.4 | 18.3 | 11.6 | 33.6 | 18.7 | 9.7  | 34.8 | 21.3 | 13.1 | 35.2 | 20.3 | 12.8 | 35.4 |
| 7   | 22.8 | 15.3 | 39.2 | 20.5 | 14.0 | 37.8 | 20.7 | 13.6 | 39.3 | 22.8 | 14.3 | 38.0 | 22.6 | 15.0 | 38.6 |
| 8   | 22.9 | 15.1 | 37.4 | 20.6 | 13.6 | 34.4 | 21.0 | 13.9 | 34.7 | 22.8 | 15.5 | 37.3 | 22.2 | 15.1 | 35.1 |
| 9   | 20.7 | 14.1 | 28.7 | 19.3 | 12.0 | 28.1 | 19.8 | 10.3 | 28.5 | 20.6 | 13.1 | 28.9 | 20.2 | 12.5 | 28.9 |
| 10  | 19.5 | 12.5 | 30.0 | 18.2 | 11.1 | 29.6 | 18.5 | 10.2 | 29.5 | 19.3 | 12.0 | 29.6 | 19.1 | 11.9 | 28.5 |
| 11  | 15.3 | 8.0  | 25.6 | 14.2 | 6.7  | 34.3 | 13.9 | 4.3  | 24.6 | 15.0 | 6.6  | 23.9 | 14.9 | 7.7  | 24.7 |
| 12  | 14.0 | 6.5  | 21.5 | 13.1 | 5.6  | 19.5 | 12.1 | 3.4  | 19.5 | 13.9 | 4.9  | 19.9 | -    | -    | -    |

|     | 766  |      |      | 739  |      |      | 579  |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mês | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax | Tmed | Tmin | Tmax |
| 1   | 11.7 | 5.2  | 18.6 | 10.6 | 2.1  | 19.5 | 11.8 | 6.1  | 18.4 |
| 2   | 12.8 | 4.9  | 19.4 | 11.5 | 0.4  | 19.4 | 12.7 | 5.8  | 19.6 |
| 3   | 14.0 | 3.7  | 25.7 | 13.0 | 1.0  | 29.0 | 14.2 | 4.2  | 27.9 |
| 4   | 15.8 | 8.9  | 30.0 | 13.5 | 4.1  | 28.9 | 14.7 | 8.1  | 29.3 |
| 5   | 17.1 | 10.6 | 29.1 | 15.0 | 5.7  | 29.3 | 16.1 | 10.0 | 29.2 |
| 6   | 19.9 | 13.9 | 32.2 | 17.4 | 7.9  | 30.7 | 19.0 | 12.5 | 34.0 |
| 7   | 21.5 | 15.0 | 36.1 | 19.2 | 11.2 | 37.6 | 21.1 | 14.3 | 37.2 |
| 8   | 21.7 | 15.7 | 34.0 | 19.5 | 11.2 | 32.8 | 21.3 | 14.3 | 35.5 |
| 9   | 20.3 | 13.7 | 26.1 | 18.7 | 8.6  | 28.4 | 19.7 | 14.0 | 26.1 |
| 10  | 19.2 | 12.0 | 26.6 | 17.0 | 8.5  | 25.1 | 18.5 | 11.8 | 27.4 |
| 11  | 15.9 | 8.1  | 22.5 | 14.1 | 1.7  | 22.5 | 14.6 | 7.3  | 21.9 |
| 12  | 12.5 | 5.6  | 19.4 | 11.8 | 0.7  | 18.5 | 13.2 | 4.9  | 19.1 |

Conclui-se que, durante o ano 2002, na EMA instalada na Baixa, em regra, foram registados os valores mais elevados da temperatura mínima do ar, com a excepção do mês de Dezembro em que valor foi igual (6.8°C) ao registado na EMA do Geofísico, e no mês de Agosto o

valor mais elevado (15.7°C) foi registado na EMA do Lavradio-Barreiro. Os valores mais baixos da temperatura mínima do ar foram, em regra, registados na EMA de Dois Portos tendo sido o valor mais baixo registado (0.4°C) no mês de Fevereiro.

Os valores mais elevados da temperatura máxima do ar mensal foram, regra geral, registados na EMA instalada na Baixa com a excepção dos meses de: Fevereiro, no qual o valor mais elevado foi registado na EMA da Estrela; Novembro, no qual o valor mais elevado foi registado na EMA da Amadora; Dezembro, no qual o valor mais elevado foi registado na EMA da Benfica. Os valores mais baixos da temperatura máxima do ar foram registados nas EMA's de Dois Portos, nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Julho, Setembro, Novembro na EMA do Lavradio, nos meses de Abril, Junho, Agosto, Outubro, Dezembro e na EMA do Geofísico no mês de Maio.

Utilizando os dados horários da temperatura do ar, com o objectivo de observar a flutuação do campo da temperatura do ar, aplica-se um sistema de eixos nos gráficos tal que contemplem: a variação horária (eixo xx) entre 0 e 23 horas; a variação diária (eixo yy) entre 1 e 365 dias (Juliano); e a variação do parâmetro em estudo (eixo zz).

Estes resultados encontram-se na forma gráfica nas fig.4.o.1 à fig.4.o.12 seguintes. Os resultados obtidos para a variação do parâmetro da temperatura do ar nas estações da Baixa - Lisboa, Dois Portos - Torres Vedras, Estefânia - Lisboa, Geofísico - Lisboa, Gago Coutinho - Lisboa, Benfica - Lisboa, Estrela - Lisboa, Amadora - Amadora, Alvalade - Lisboa, Cacém - Sintra, Lavradio - Barreiro e Barreiro - Barreiro.

Realçar que, os registos sem informação encontram-se representados pela cor branca, nos gráficos da fig.4.o.1 à fig.4.o.12.



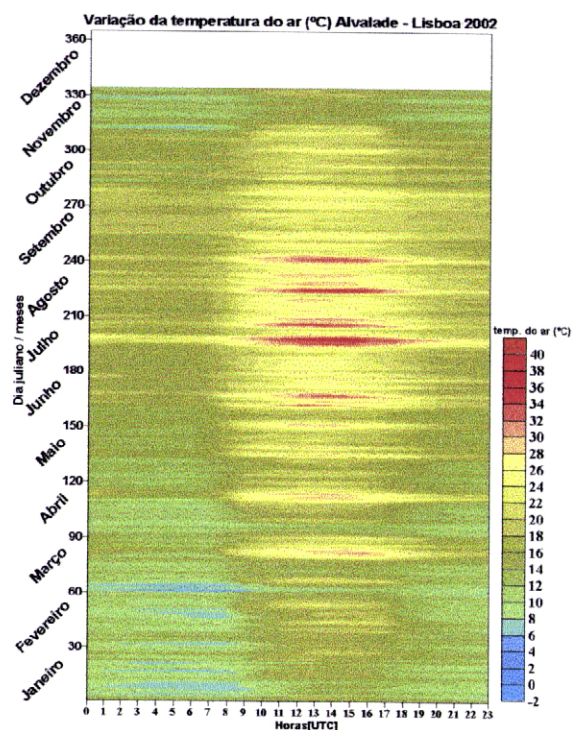


Fig.4.o.1 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA da Alvalade, durante o ano 2002.

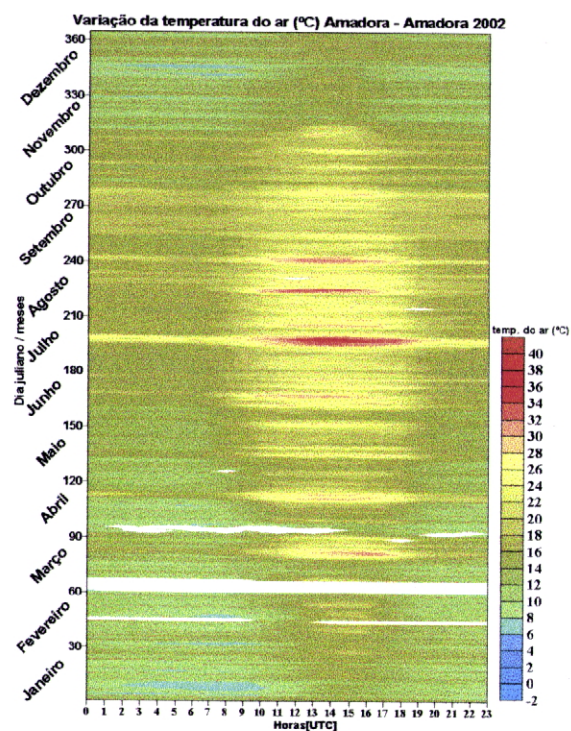


Fig.4.o.2 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA da Amadora, durante o ano 2002

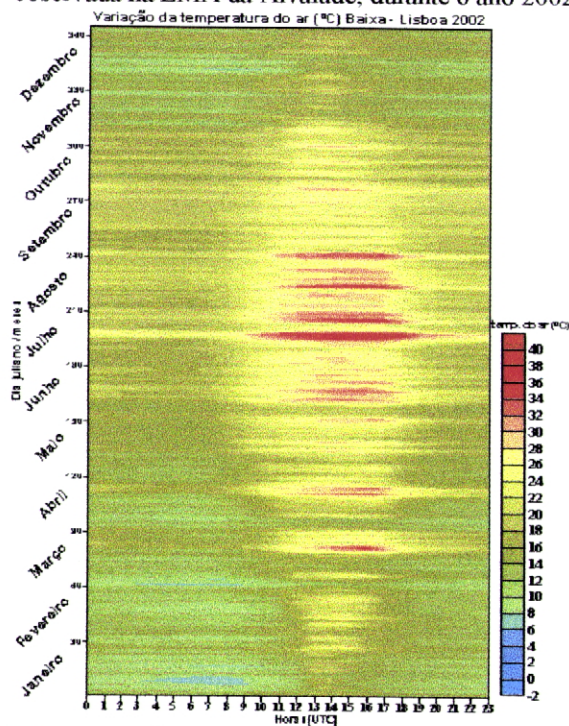


Fig.4.o.3 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA da Baixa, durante o ano 2002

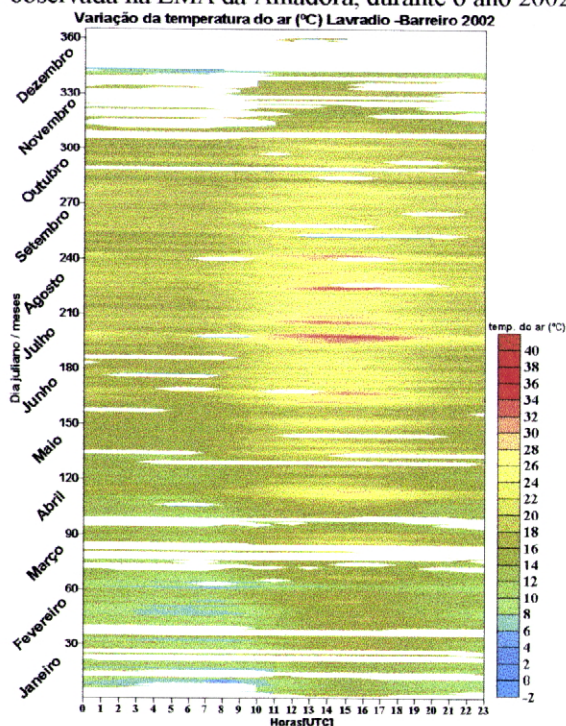


Fig.4.o.4 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Barreiro, durante o ano 2002



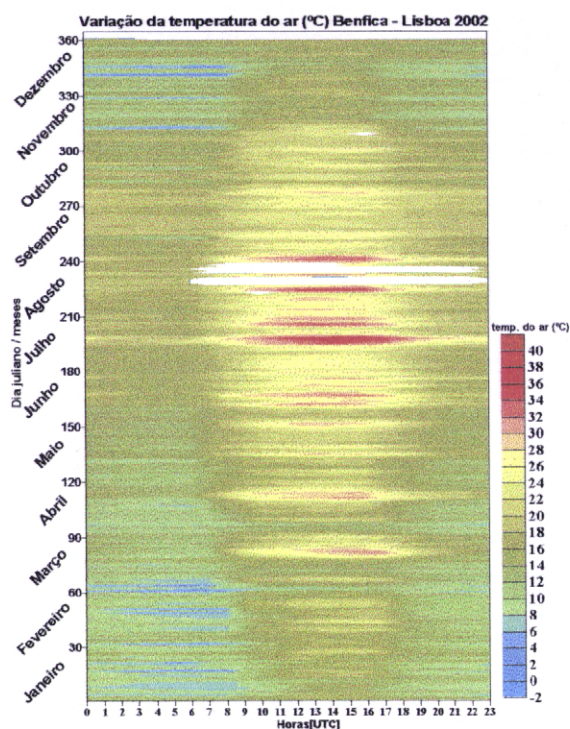


Fig.4.o.5 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Benfica, durante o ano 2002.

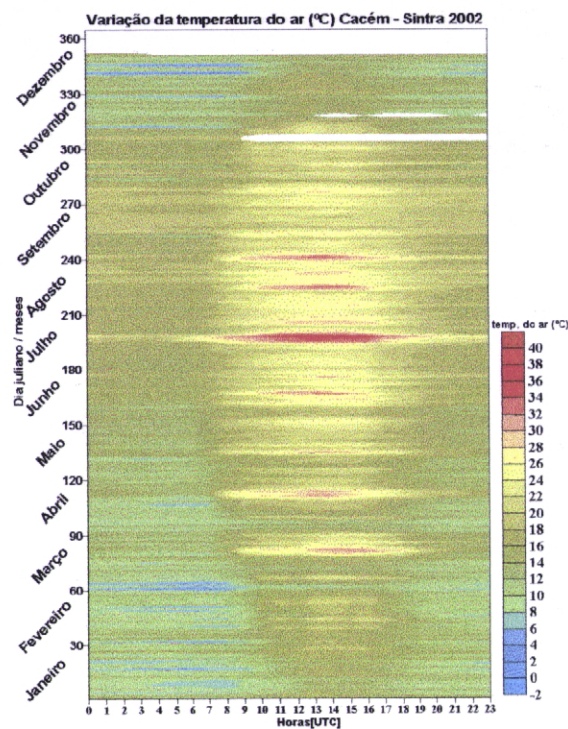


Fig.4.o.6 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Cacém, durante o ano 2002.

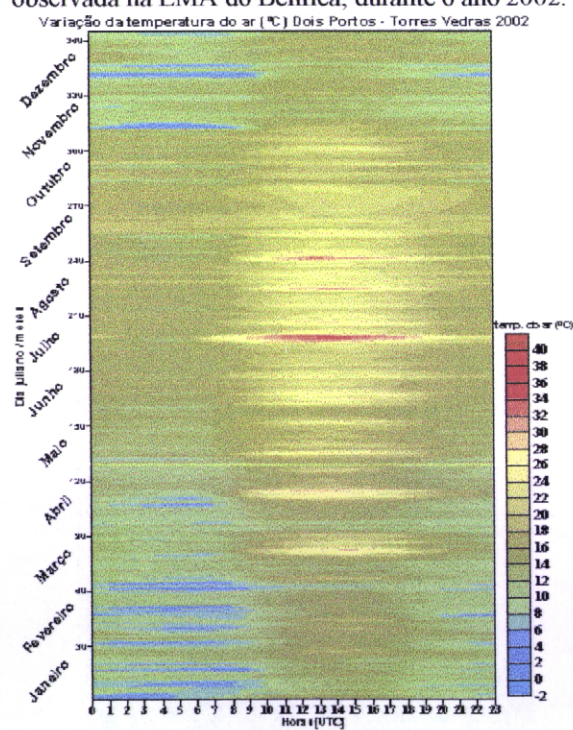


Fig.4.o.7 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA de Dois Portos, durante o ano 2002.

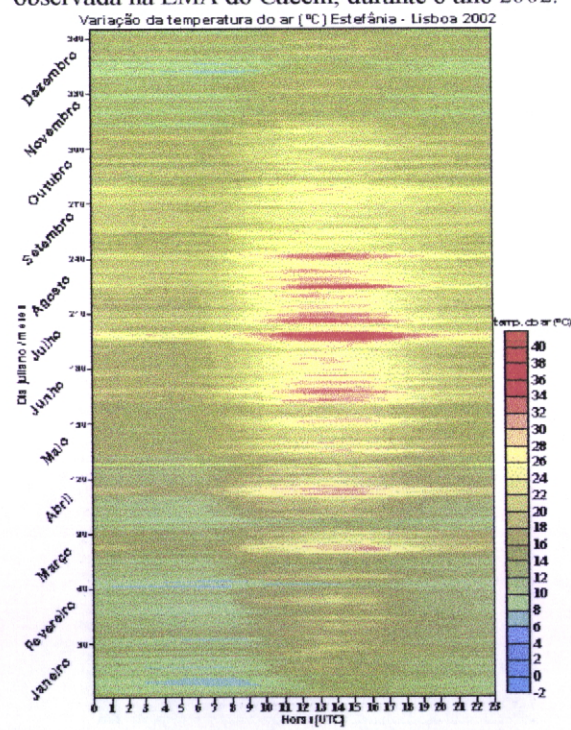


Fig.4.o.8 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA da Estefânia, durante o ano 2002.



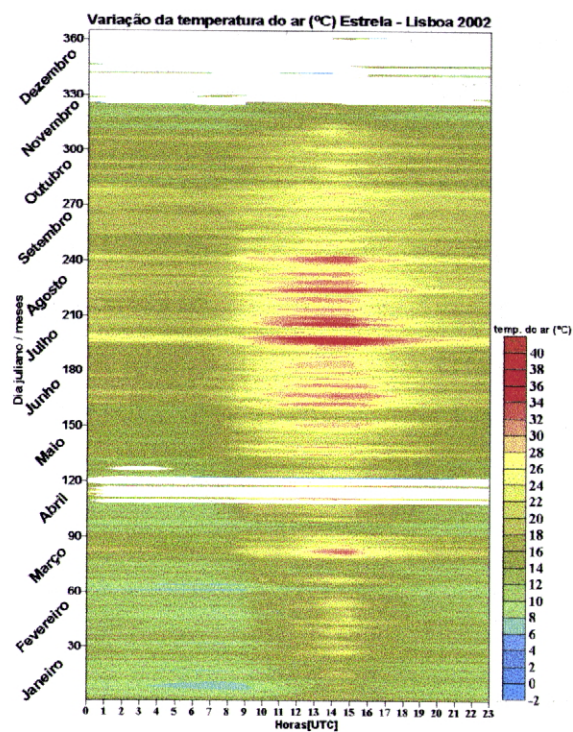


Fig.4.o.9 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Estrela, durante o ano 2002.

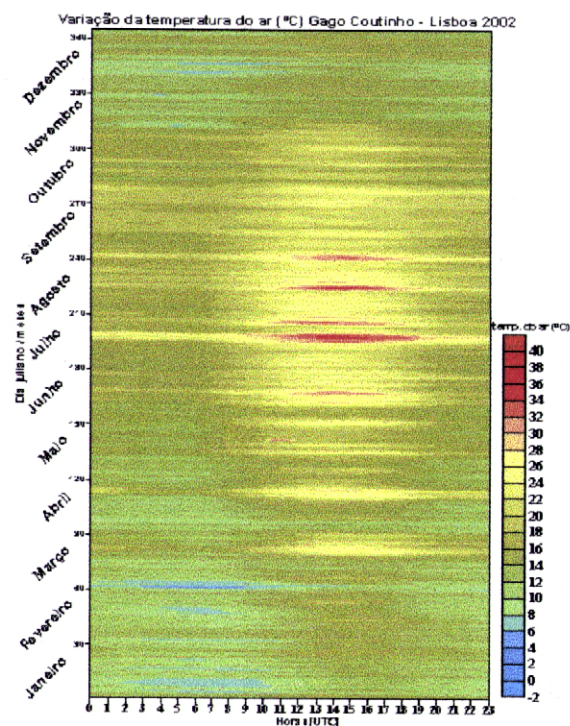


Fig.4.o.10 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Gago Coutinho, durante o ano 2002.

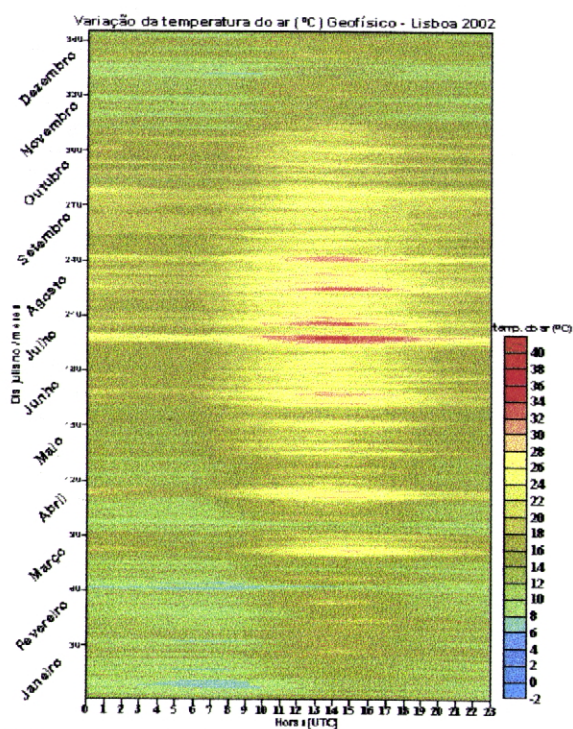


Fig.4.o.11 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Geofísico, durante o ano 2002.

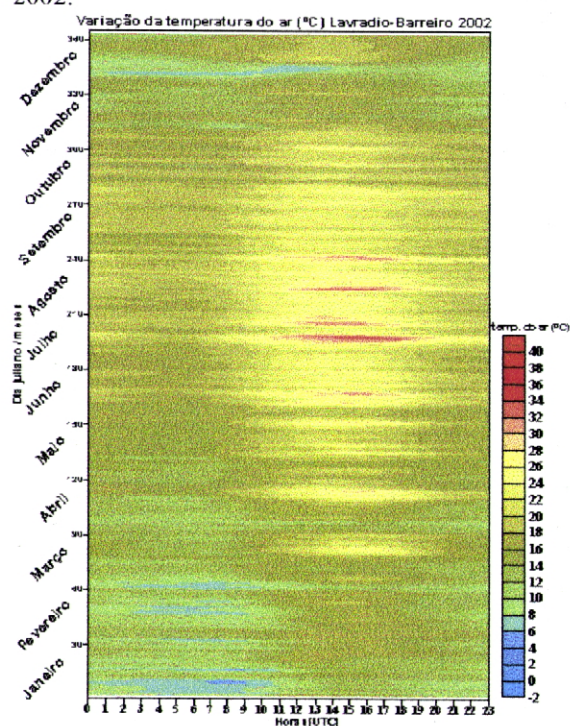


Fig.4.o.12 – Variação horária da temperatura do ar observada na EMA do Lavradio, durante o ano 2002.

Da análise dos vários gráficos da variação da temperatura do ar observa-se, comparativamente, que as “manchas” mais encarnadas são mais predominantes nas estações instaladas dentro da cidade contrariamente às cores mais azuladas, indiciando valores da temperatura do ar mais elevados. Das EMA's identifica-se que a instalada na Baixa



(Fig.4.o.3) apresenta, em regra valores mais elevados da temperatura do ar e que a instalada em Dois-Portos (Fig.4.o.7) são registados os valores mais baixos.

#### 4.2.1.2- Humidade relativa do ar

De igual modo é analisado parâmetro da humidade relativa do ar, isto é, através da mesma forma numérica e da mesma forma gráfica (mesmos eixos coordenadas e abcissas), apenas variando apenas o eixo dos zz, para o caso da forma gráfica

Os valores obtidos para a humidade relativa do ar média, mínima e máxima encontram-se no Quadro XVIII.

**QUADRO XVIII**

|     | 535   |       |       | 925   |       |       | 920   |       |       | 921   |       |       | 923   |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mês | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax |
| 1   | 79    | 44    | 95    | 55    | 29    | 68    | 81    | 38    | 99    | 82    | 42    | 99    | 83    | 41    | 100   |
| 2   | 70    | 28    | 95    | 45    | 15    | 60    | 71    | 17    | 99    | 71    | 24    | 99    | 73    | 25    | 100   |
| 3   | 69    | 27    | 95    | 43    | 12    | 57    | 71    | 24    | 98    | 71    | 18    | 99    | 75    | 25    | 100   |
| 4   | 63    | 20    | 94    | 51    | 19    | 91    | 66    | 22    | 97    | 66    | 23    | 97    | 68    | 24    | 99    |
| 5   | 65    | 21    | 93    | 62    | 22    | 94    | 65    | 22    | 95    | 66    | 21    | 96    | 68    | 25    | 97    |
| 6   | 63    | 14    | 93    | 60    | 12    | 94    | 62    | 16    | 95    | 64    | 17    | 94    | 65    | 18    | 95    |
| 7   | 58    | 10    | 93    | 57    | 12    | 96    | 58    | 13    | 96    | 60    | 11    | 95    | 60    | 13    | 97    |
| 8   | 60    | 19    | 89    | 59    | 16    | 90    | 61    | 20    | 93    | 62    | 19    | 94    | 63    | 16    | 95    |
| 9   | 78    | 31    | 94    | 78    | 31    | 96    | 81    | 32    | 98    | 78    | 34    | 96    | 80    | 33    | 99    |
| 10  | 77    | 38    | 93    | 76    | 34    | 97    | 81    | 39    | 98    | 79    | 39    | 97    | 81    | 39    | 99    |
| 11  | 79    | 26    | 94    | 80    | 27    | 99    | 84    | 26    | 99    | 81    | 30    | 98    | 84    | 25    | 100   |
| 12  | 81    | 33    | 95    | 84    | 34    | 99    | 80    | 34    | 97    | -     | -     | -     | 86    | 30    | 100   |

|     | 924   |       |       | 926   |       |       | 927   |       |       | 928   |       |       | 929   |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mês | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax |
| 1   | 81    | 40    | 99    | 84    | 45    | 100   | 84    | 43    | 100   | 86    | 46    | 100   | 84    | 45    | 100   |
| 2   | 70    | 26    | 100   | 74    | 26    | 99    | 75    | 24    | 99    | 76    | 28    | 100   | 74    | 29    | 99    |
| 3   | 69    | 18    | 100   | 74    | 26    | 99    | 75    | 23    | 100   | 75    | 23    | 100   | 72    | 24    | 99    |
| 4   | 63    | 23    | 97    | 69    | 22    | 97    | 70    | 22    | 98    | 65    | 22    | 97    | 67    | 23    | 98    |
| 5   | 64    | 21    | 97    | 72    | 26    | 97    | 72    | 23    | 96    | 64    | 23    | 96    | 66    | 26    | 98    |
| 6   | 62    | 14    | 94    | 72    | 19    | 96    | 72    | 27    | 97    | 61    | 11    | 90    | 66    | 21    | 96    |
| 7   | 57    | 11    | 97    | 67    | 16    | 98    | 68    | 15    | 98    | 60    | 7     | 96    | 61    | 12    | 97    |
| 8   | 59    | 18    | 92    | 70    | 22    | 97    | 71    | 22    | 97    | 62    | 18    | 94    | 65    | 20    | 96    |
| 9   | 78    | 30    | 98    | 84    | 37    | 98    | 83    | 35    | 98    | 79    | 28    | 97    | 83    | 33    | 99    |
| 10  | 77    | 39    | 98    | 82    | 39    | 98    | 82    | 39    | 98    | 79    | 38    | 97    | 82    | 42    | 99    |
| 11  | 80    | 27    | 100   | 84    | 23    | 100   | 87    | 21    | 100   | 83    | 39    | 98    | 84    | 29    | 100   |
| 12  | 83    | 32    | 100   | 87    | 35    | 100   | 86    | 34    | 100   | 85    | 38    | 99    | -     | -     | -     |

|     | 766   |       |       | 739   |       |       | 579   |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mês | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax | HRmed | HRmin | HRmax |
| 1   | 87    | 50    | 100   | 83    | 46    | 98    | 84    | 51    | 98    |
| 2   | 77    | 27    | 100   | 77    | 28    | 98    | 75    | 31    | 98    |
| 3   | 75    | 31    | 99    | 77    | 32    | 98    | 74    | 20    | 98    |
| 4   | 64    | 21    | 94    | 75    | 24    | 97    | 69    | 27    | 97    |
| 5   | 63    | 22    | 92    | 76    | 27    | 96    | 70    | 25    | 96    |
| 6   | 62    | 14    | 89    | 77    | 30    | 96    | 68    | 13    | 95    |
| 7   | 61    | 10    | 92    | 73    | 15    | 97    | 64    | 12    | 96    |
| 8   | 62    | 16    | 89    | 76    | 25    | 98    | 66    | 21    | 95    |
| 9   | 78    | 31    | 94    | 84    | 33    | 98    | 81    | 33    | 97    |
| 10  | 78    | 35    | 95    | 84    | 49    | 98    | 81    | 44    | 97    |
| 11  | 83    | 38    | 100   | 86    | 37    | 100   | 82    | 35    | 98    |
| 12  | 86    | 40    | 100   | 85    | 45    | 98    | 85    | 37    | 98    |



Conclui-se que, durante o ano 2002, os valores mais baixos da humidade relativa do ar foram registados na EMA instalada na Baixa nos meses de Janeiro (29%), Fevereiro (15%), Março (12%), Abril (19%) durante o mês de Maio o valor mínimo (21%) foi observado em três EMA's Geofísico, Alvalade e Estefânia, no mês de Junho (11%) e Julho (7%) o valor mínimo foi observado na estação Barreiro, em Agosto o valor mínimo (16%) foi observado em várias EMA's nomeadamente Barreiro, Baixa e Benfica, no mês de Setembro o mínimo foi observado na EMA do Barreiro (28%), no mês de Outubro o mínimo (34%) foi registado na EMA da Baixa, em Novembro o mínimo (21%) foi observado no Cácia-Sintra e em Dezembro o mínimo (30%) foi obtido na EMA de Benfica.

Os valores mensais mais baixos do máximo da humidade relativa do ar foram, em regra, observados na EMA da Baixa nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Abril e nos restantes meses foi na EMA do Geofísico.

À semelhança do que foi realizado para a variável da temperatura do ar, foram executadas as formas gráficas que se encontram nas Fig.4.p.1 à Fig.4.p.12 seguintes. Os resultados obtidos para a variação do parâmetro da humidade relativa do ar nas estações em estudo.

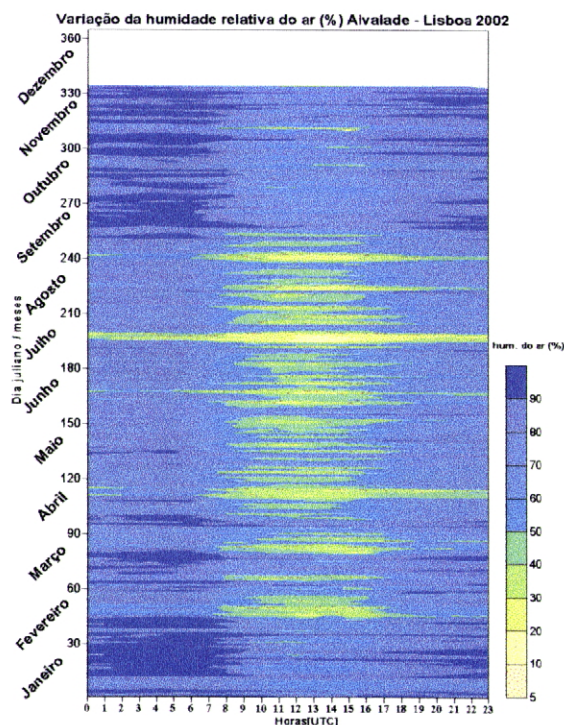


Fig. 4.p.1 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA da Alvalade, durante o ano 2002.

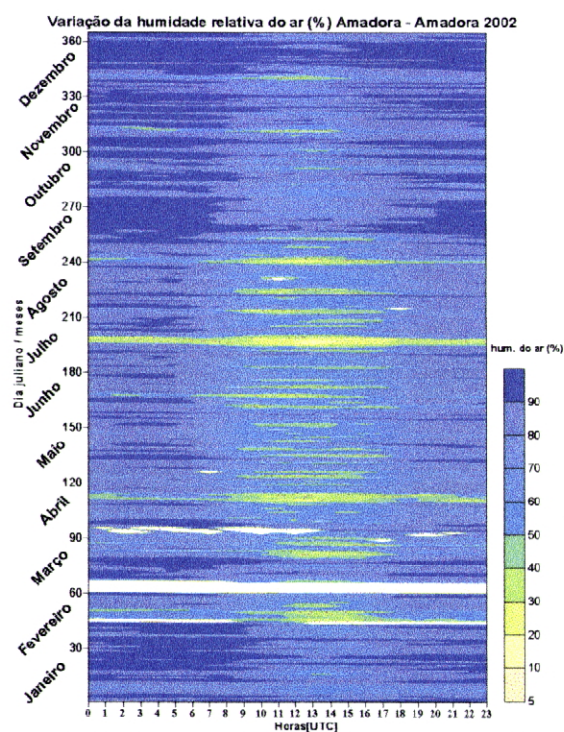


Fig. 4.p.2 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA da Amadora, durante o ano 2002



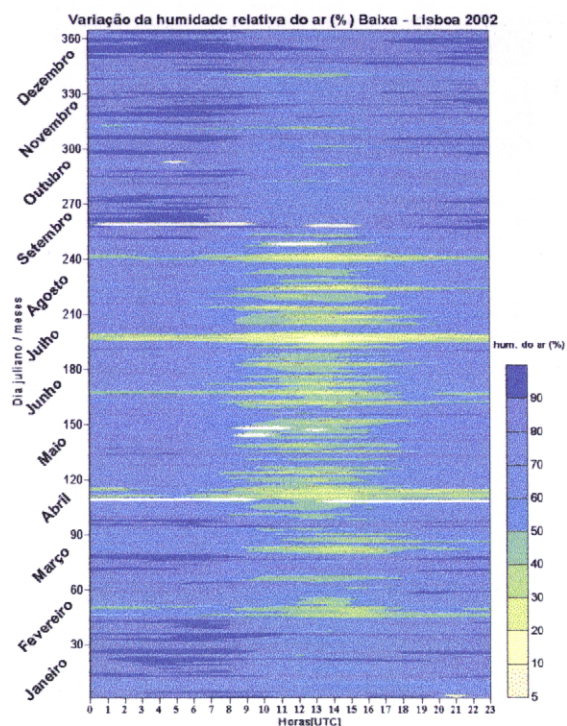


Fig.4.p.3 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA da Baixa, durante o ano 2002

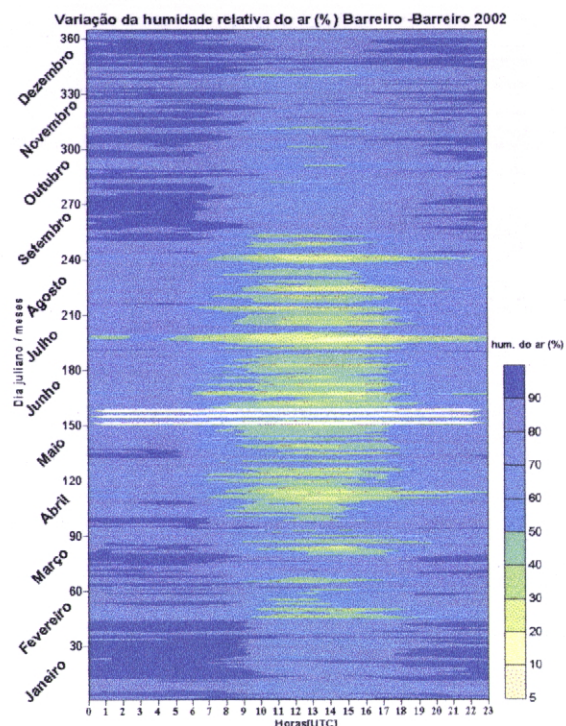


Fig.4.p.4 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Barreiro, durante o ano 2002

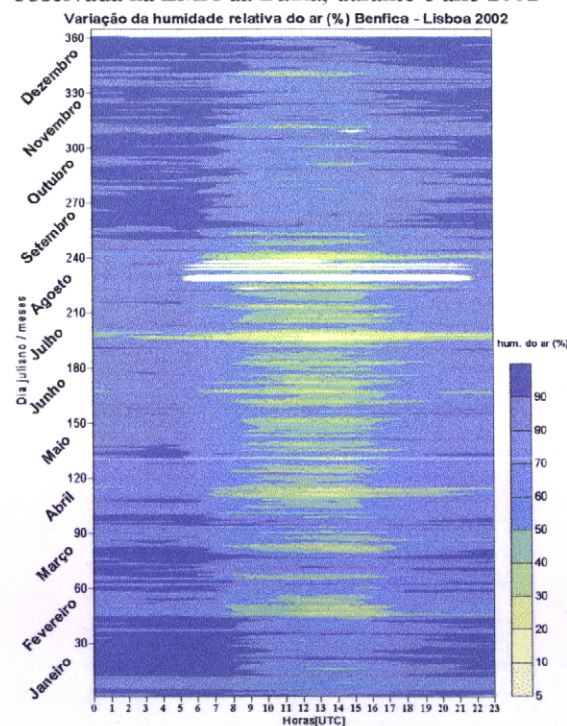


Fig.4.p.5 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Benfica, durante o ano 2002.

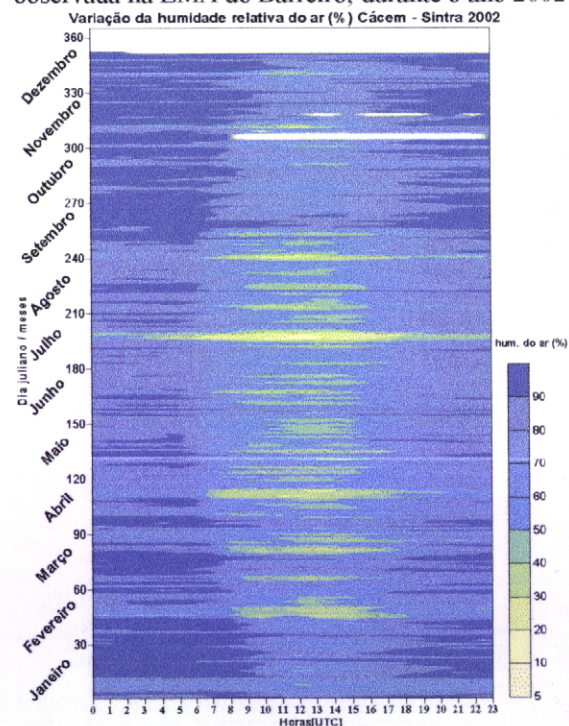


Fig.4.p.6 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Cacém, durante o ano 2002.



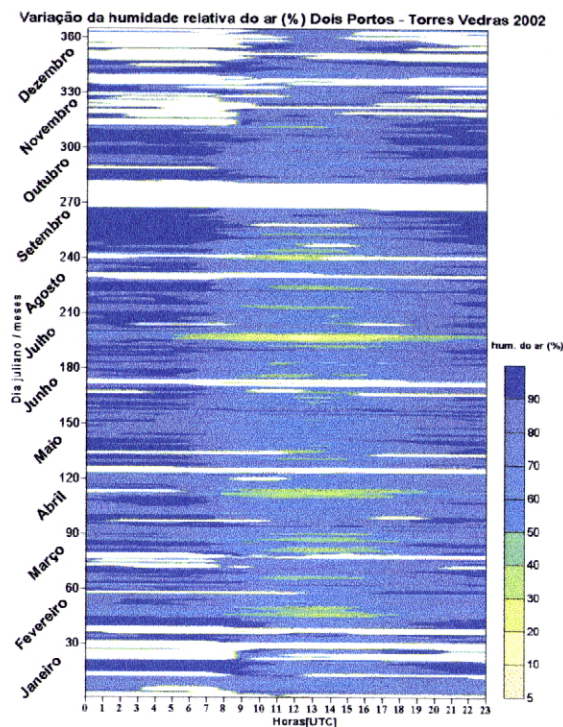


Fig.4.p.7 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA de Dois Portos, durante o ano 2002.

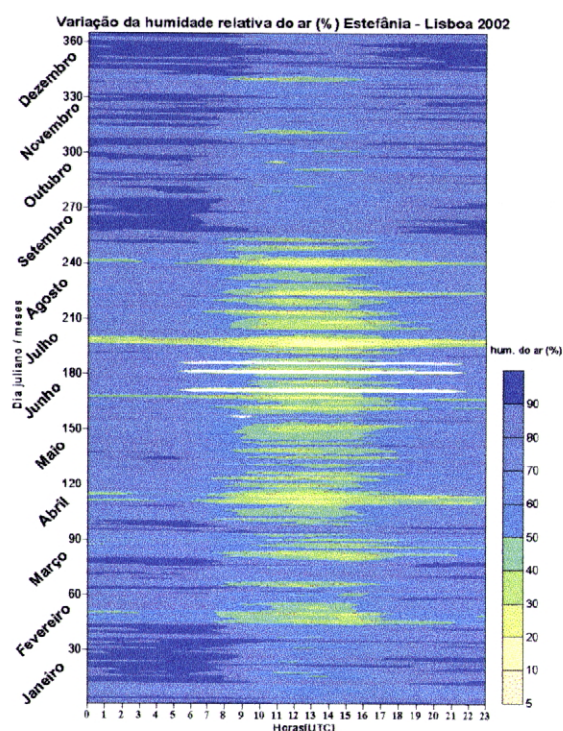


Fig.4.p.8 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA da Estefânia, durante o ano 2002.

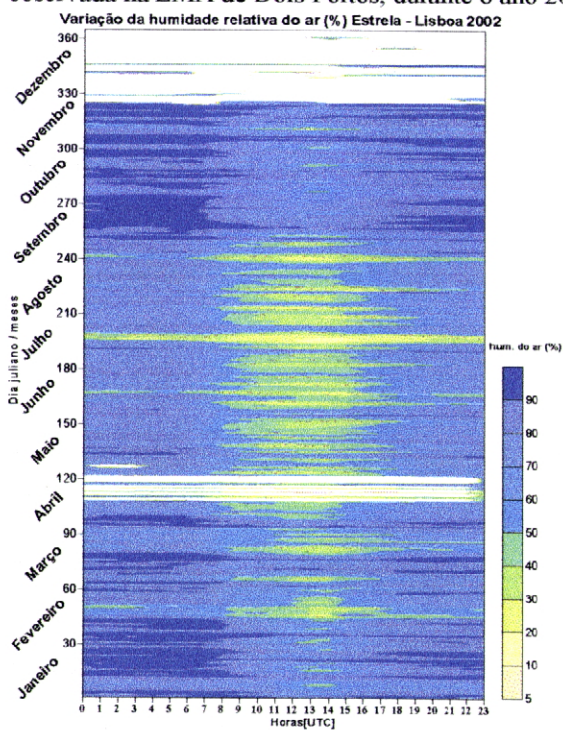


Fig.4.p.9 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Estrela, durante o ano 2002.

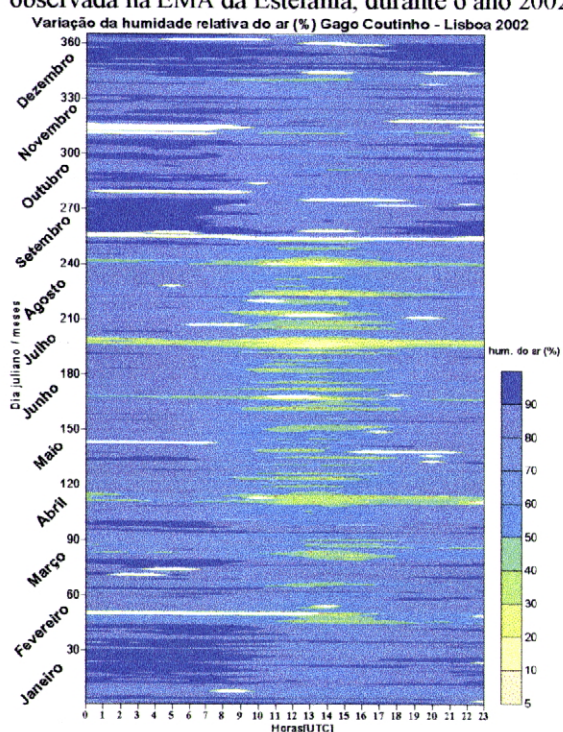


Fig.4.p.10 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Gago Coutinho, durante o ano 2002.



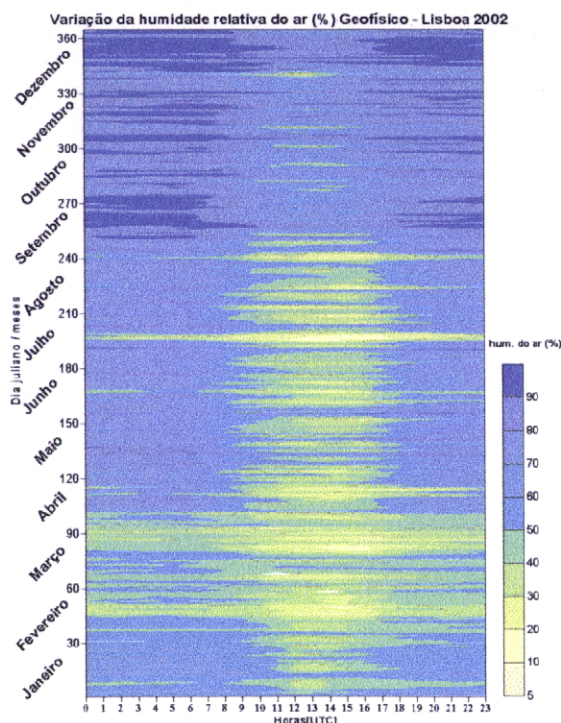


Fig.4.p.11 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Geofísico, durante o ano 2002.

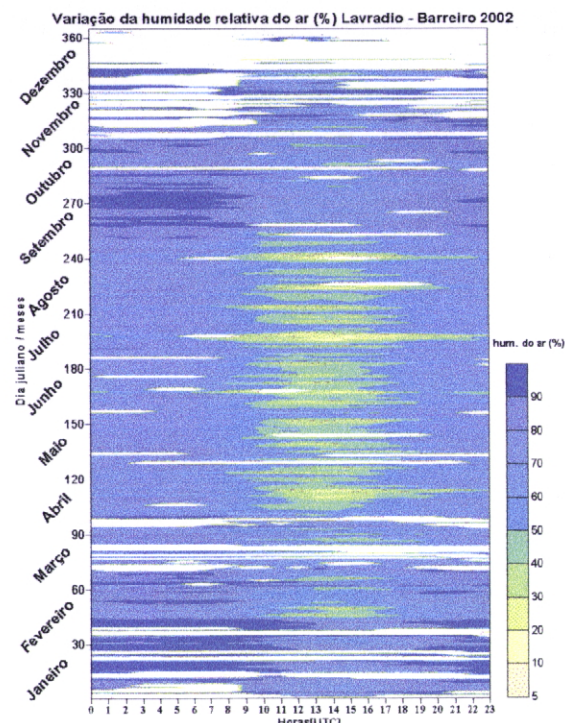


Fig.4.p.12 – Variação horária da humidade relativa do ar observada na EMA do Lavradio, durante o ano 2002.

#### 4.2.1.3- Rumo e intensidade do vento

A análise do campo do vento (rumo e intensidade) é efectuada recorrendo aos dados horários resultantes das observações executadas na estação meteorológica automática do Gago Coutinho. Este facto deve-se apenas às características sinópticas desta estação, representando assim a situação sinóptica que afecta a região.

A distribuição da intensidade e do rumo do vento durante o período em estudo

encontra-se representada na Fig.4.q, de realçar que apenas ocorreram 2% de falhas durante o respectivo período e que a distribuição apresentada é apenas dos dados sem registos de falhas.

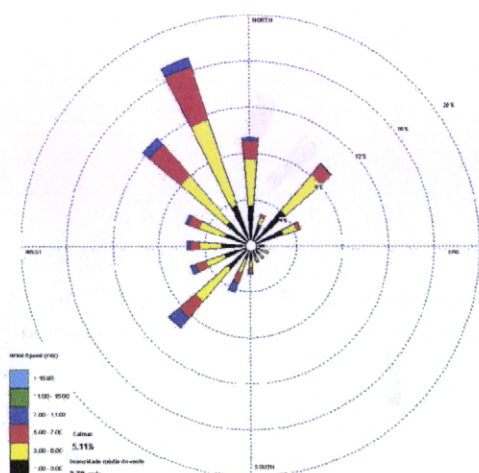


Fig.4.q – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o ano 2002.

Da representação gráfica dos dados do rumo e da intensidade do vento, na Fig.4.q, podemos observar que o rumo predominante do vento é de NNW (17.1%), seguido do rumo de NW (12.3%), SW (9.46%), NE (9.39%), N (9.38 %), SWW (5.97%), W e WNW (5.56%), NEE (4.52%), SSW (4.28%), nos restantes intervalos a percentagem do rumo é inferior a 4%. No caso da intensidade do



vento o valor médio anual obtido foi de 3.78 m/s. Dos valores observados EMA do Gago Coutinho 35.13% estão compreendidos entre 1 e 3 m/s, 36.92% entre 3 e 5 m/s, 17.73% entre 5 e 7 m/s, 5.01% entre 7 e 11 m/s, 0.08% de valores entre 11 e 15 m/s e 5.1% de valores inferiores a 1 m/s. Da distribuição da intensidade do vento, pelos diferentes rumos observados, podemos concluir que as maiores ocorrências dos valores mais elevados (entre 11 e 15 m/s) se distribuem pelos rumos WSW (0.03%), SW (0.02%) e SSW e S (0.01%), entre os valores de 7 e 11 m/s a distribuição obtida para o intervalo correspondente a WSW (1.13%), SW (0.86%), NNW (0.8%), NW (0.73%) os restantes valores foram todos inferiores a 0.5%.

Ao agrupar os dados em meses e fazendo o mesmo tipo de distribuição, os resultados evidenciam um comportamento diferente (Fig.4.q.1 à Fig.4.q.12). Assim, nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março observa-se um predomínio de NE, nos meses de Abril, Maio, Junho, Julho, e Agosto identifica-se um predomínio de NW e NNW, nos restantes meses de Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro o predomínio é de SW.

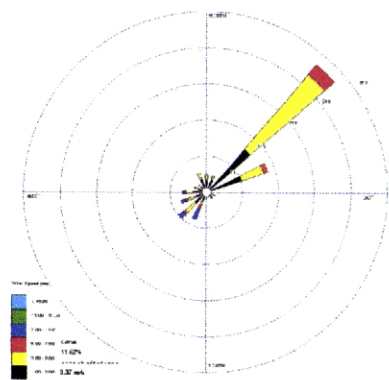


Fig.4.q.1 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Janeiro de 2002.

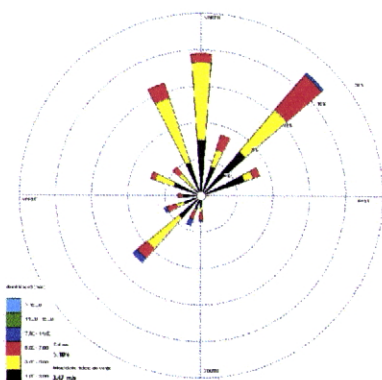


Fig.4.q.2 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Fevereiro de 2002.

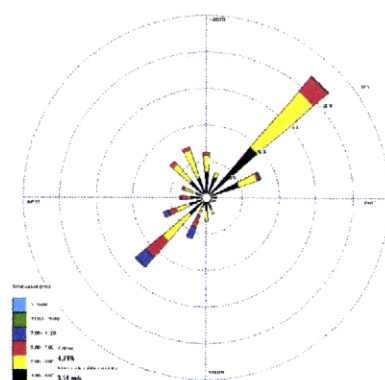


Fig.4.q.3 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Março de 2002.

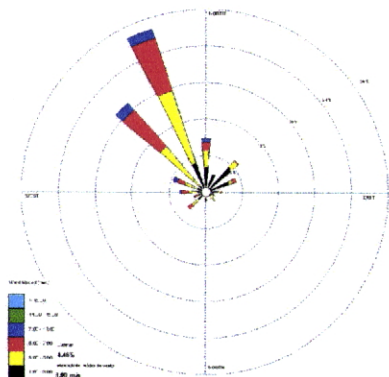


Fig.4.q.4 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Abril de 2002.

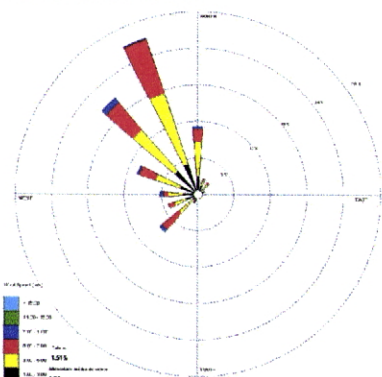


Fig.4.q.5 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Maio de 2002.

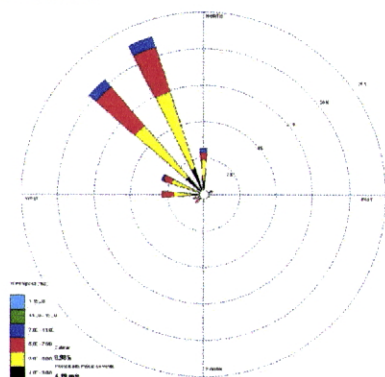


Fig.4.q.6 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Junho de 2002.



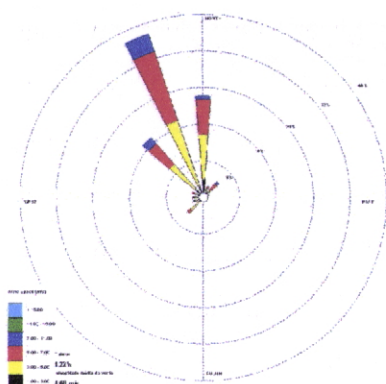


Fig.4.q.7 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Julho de 2002.

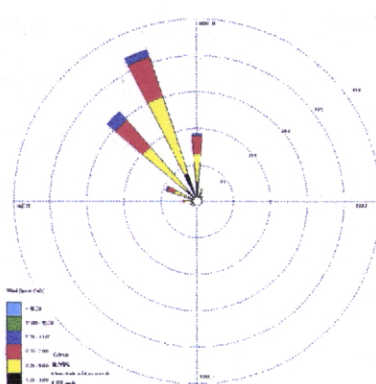


Fig.4.q.8 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Agosto de 2002.

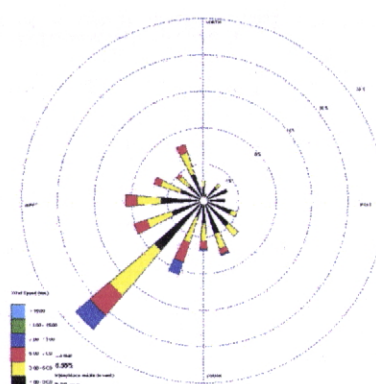


Fig.4.q.9 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Setembro de 2002.

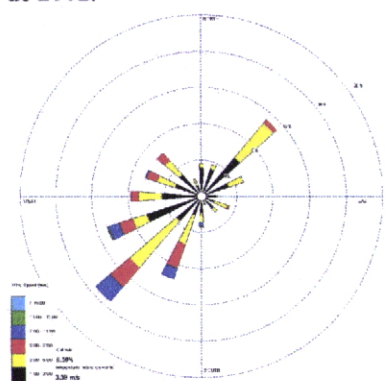


Fig.4.q.10 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Outubro de 2002.

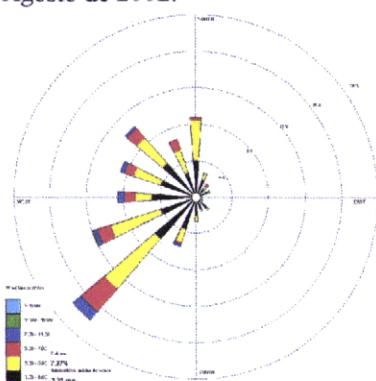


Fig.4.q.11 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Novembro de 2002.

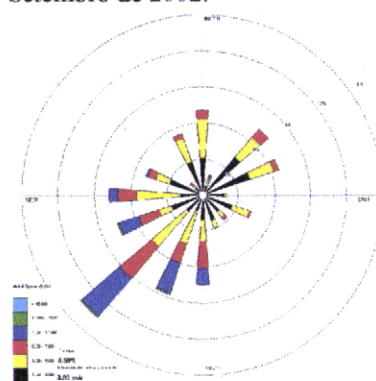


Fig.4.q.12 – Rosa dos ventos representativa da distribuição do rumo e da intensidade do vento observados na EMA do Gago Coutinho, durante o mês de Dezembro de 2002.

#### 4.2.2- Detecção do fenómeno de Ilha de calor urbano

À semelhança do que foi realizado para as variáveis da temperatura e da humidade relativa do ar, foram transformados os resultados numéricos nas formas gráficas que se encontram nas Fig.4.r.1 à Fig.4.r.11 seguintes. Os resultados obtidos com aplicação da equação 48 representam a diferença de temperatura do ar entre a estação da Baixa e todas as outras estações.



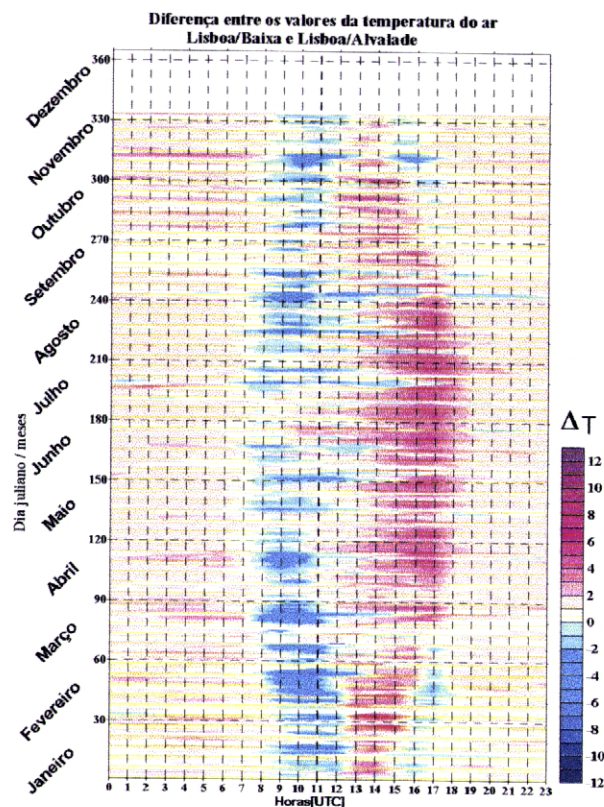


Fig.4.r.1 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e de Alvalade, durante o ano 2002.

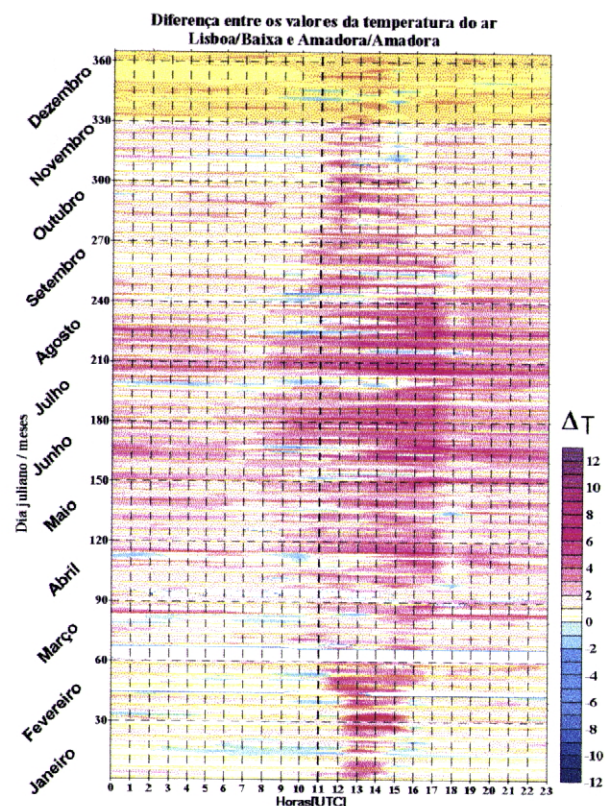


Fig.4.r.2 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e da Amadora, durante o ano 2002

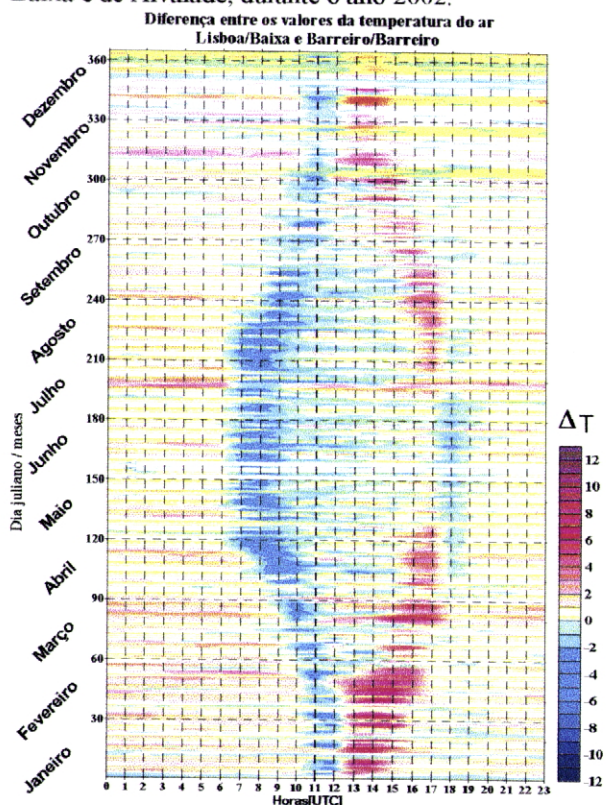


Fig.4.r.3 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e do Barreiro, durante o ano 2002

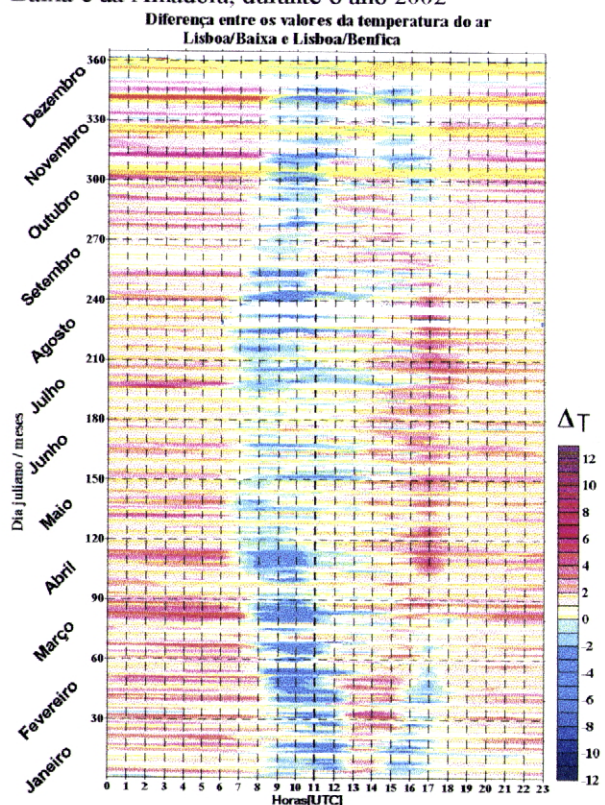


Fig.4.r.4 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e de Benfica, durante o ano 2002.



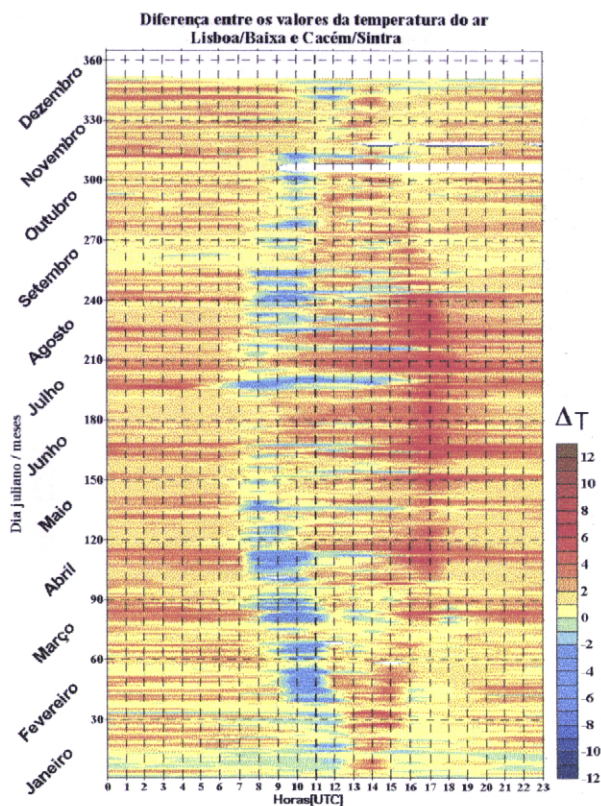


Fig.4.r.5 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e do Cacém, durante o ano 2002.

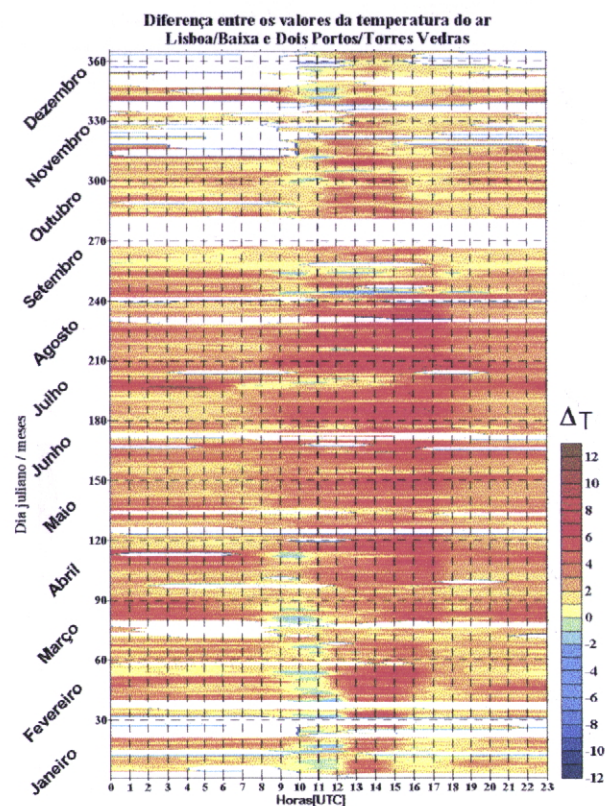


Fig.4.r.6 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e de Dois Portos, durante o ano 2002.

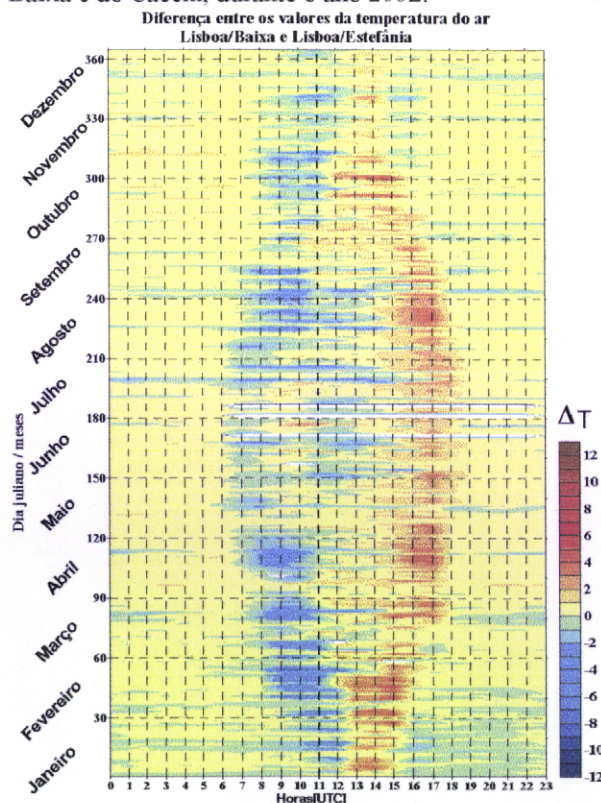


Fig.4.r.7 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e da Estefânia, durante o ano 2002.

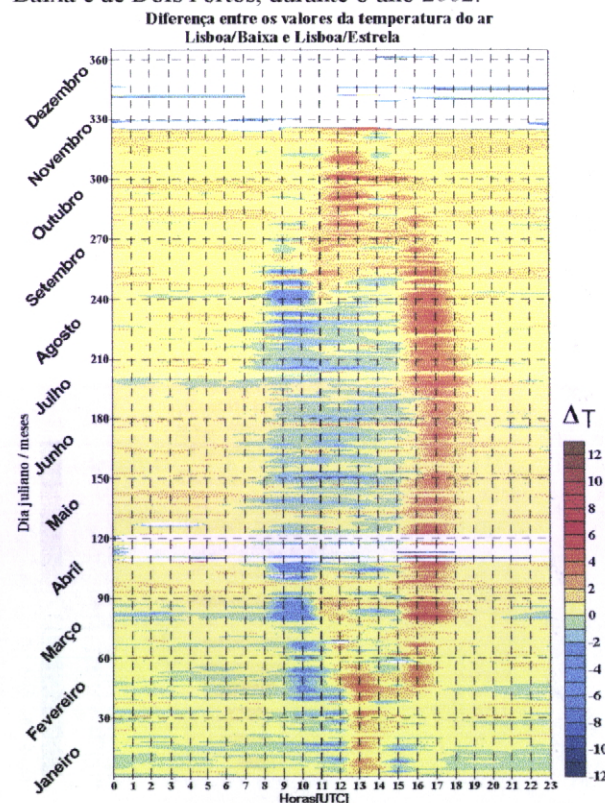


Fig.4.r.8 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e da Estrela, durante o ano 2002.



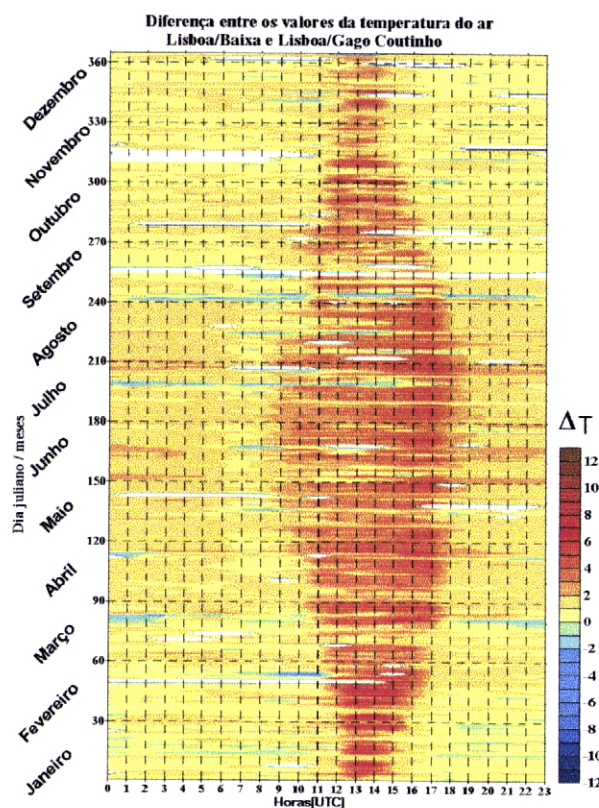


Fig.4.r.9 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e do Gago Coutinho, durante o ano 2002.

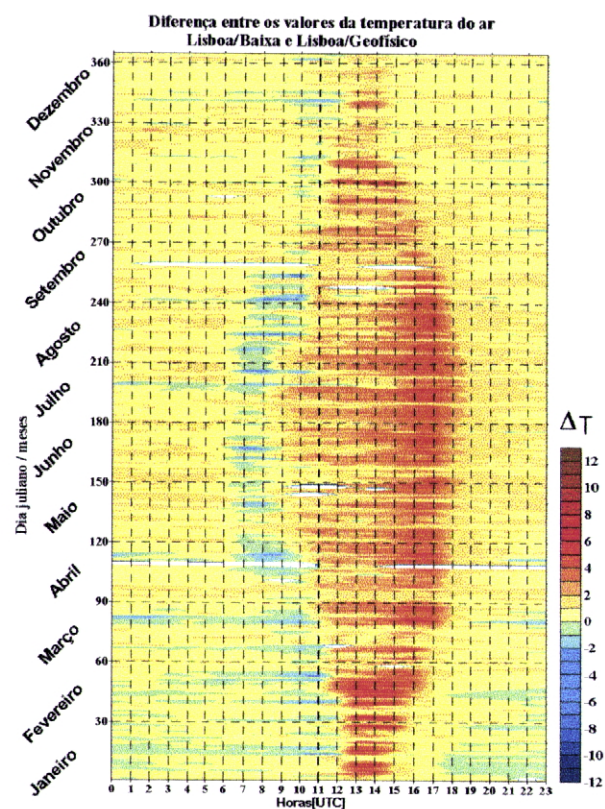


Fig.4.r.10 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e do Geofísico, durante o ano 2002.

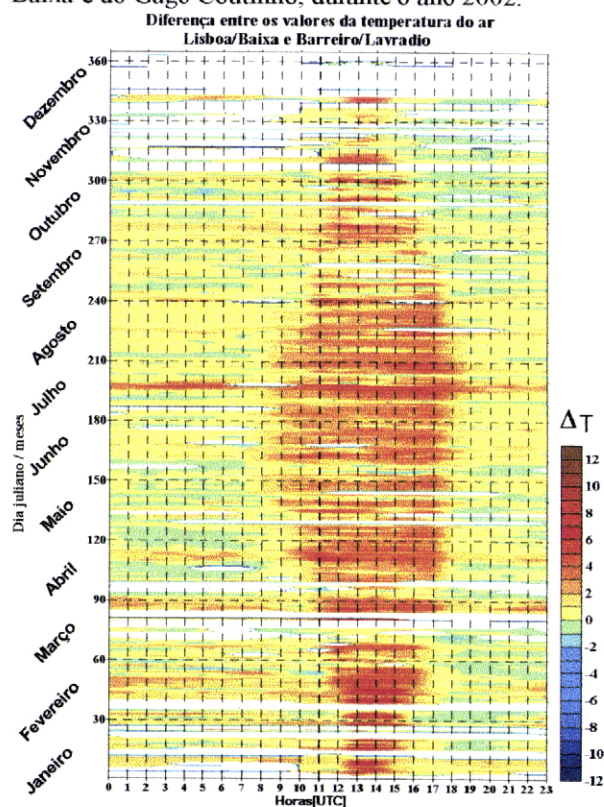


Fig.4.r.11 – Variação  $\Delta T$  obtida, entre a EMA da Baixa e do Lavradio, durante o ano 2002.



Através das figuras (Fig.4.r.1 à Fig.4.r.11) observa-se que:

- 7) existe uma forte dependência sazonal na variação diária de  $\Delta T$ , bem como uma forte dependência do ciclo diário da radiação de curto comprimento de onda;
- 8) as maiores diferenças na temperatura do ar durante o período diurno;
- 9) a estação, nomeadamente Dois Portos, instalada numa área tipicamente rural, apresenta na realidade maior diferença na temperatura do ar para com a estação da Baixa;
- 10) ocorrem momentos, especialmente nocturnos, em que os valores de  $\Delta T$  apresentam valores negativos, indiciando momentos em que a temperatura do ar se encontra mais elevada do que na EMA da Baixa;
- 11) identificam-se momentos em que valores de  $\Delta T$  apresentam maiores valores negativos, nomeadamente, nas horas perto do nascer do Sol, e valores elevados de  $\Delta T$  positivos nas horas perto da hora do pôr do sol;
- 12) observam-se praticamente em todas as figuras, mas com mais evidência nas Fig.4.r.6 e Fig.4.r.4, períodos nocturnos nos quais a variação de  $\Delta T$  apresenta valores positivos relativamente elevados, possível indicador de forte intensidade do fenómeno de ilha de calor;
- 13) é possível observar que existem períodos de tempo (mais concretamente nocturnos) nos quais os valores de  $\Delta T$  se mantêm negativos até alguns momentos depois do sol nascer, realça-se de entre as várias séries de  $\Delta T$  a da Estrela, Estefânia, Geofísico e Gago Coutinho nos quais os períodos de tempo são coincidentes, revelando que nesses períodos a estação da Baixa registou temperatura do ar inferior às mencionadas.

Considerando a definição (equação 48) adoptada para estimar a intensidade do fenómeno de ilha de calor urbano, pode-se calcular a variação das diferenças encontradas na temperatura do ar, mensais e anuais. Com este cálculo é possível distinguir as áreas centrais, suburbanas e rurais da cidade de Lisboa, nomeadamente as estações da Baixa, Estefânia, Estrela e Geofísico que caracterizam a área central da cidade, as estações de Alvalade Gago Coutinho, Benfica, Amadora, Cacém e Barreiro identificam a área suburbana e as estações de Dois Portos e Lavradio caracterizam a área rural que existe em redor da área metropolitana de Lisboa.

As diferentes características dos locais nos quais estão instaladas as estações originam estas diferenças no campo da temperatura do ar. Nos QuadroXIX ao QuadroXXIX encontram-se representadas as médias, mínimos e máximos mensais e anuais de  $\Delta T$ , para os casos apresentados.

**QuadroXIX**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Alvalade, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.7  | 0.7  | 0.9  | 1.3  | 1.3  | 1.4  | 1.4  | 1.1  | 0.8  | 1.2  | 0.9  | -    | 1.1  |
| min | -8.0 | -8.9 | -7.0 | -6.3 | -4.0 | -5.7 | -4.3 | -6.8 | -6.9 | -4.5 | -6.8 | -    | -8.9 |
| max | 6.3  | 6.5  | 5.2  | 6.9  | 5.9  | 6.3  | 5.9  | 6.5  | 5.3  | 5.6  | 4.4  | -    | 6.9  |

**QuadroXX**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Amadora, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 1.0  | 1.4  | 1.6  | 1.9  | 2.2  | 2.6  | 2.6  | 2.4  | 1.6  | 1.7  | 1.4  | 1.2  | 1.8  |
| min | -3.7 | -2.3 | -3.3 | -2.7 | -3.2 | -4.5 | -2.2 | -4.8 | -5.0 | -1.1 | -8.5 | -2.4 | -8.5 |
| max | 7.2  | 8.3  | 7.1  | 7.3  | 8.4  | 8.2  | 7.5  | 8.0  | 5.0  | 7.9  | 5.2  | 4.4  | 8.4  |

**QuadroXXI**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Barreiro, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.8  | 1.1  | 0.9  | 0.3  | 0.0  | -0.1 | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.6  | 0.6  | 0.4  | 0.5  |
| min | -4.4 | -5.2 | -5.3 | -5.6 | -7.0 | -5.9 | -5.7 | -5.7 | -4.8 | -5.8 | -3.8 | -5.0 | -7.0 |
| max | 8.8  | 8.7  | 8.9  | 5.7  | 4.1  | 3.6  | 4.6  | 4.8  | 5.0  | 5.8  | 6.3  | 6.3  | 8.9  |

**QuadroXXII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Benfica, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.8  | 1.0  | 1.2  | 1.2  | 1.3  | 1.2  | 1.2  | 1.0  | 0.9  | 1.2  | 1.1  | 0.9  | 1.1  |
| min | -7.8 | -8.1 | -7.0 | -6.2 | -3.3 | -5.1 | -4.5 | -6.5 | -6.2 | -4.6 | -4.9 | -6.6 | -8.1 |
| max | 5.5  | 6.0  | 6.3  | 6.4  | 5.5  | 4.8  | 6.4  | 5.5  | 5.0  | 5.4  | 6.4  | 8.5  | 8.5  |

**QuadroXXIII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Cacém, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.9  | 1.1  | 1.3  | 1.6  | 1.7  | 2.3  | 2.4  | 2.1  | 1.1  | 1.4  | 1.5  | 1.3  | 1.5  |
| min | -5.9 | -9.0 | -8.2 | -6.7 | -5.2 | -3.6 | -4.4 | -5.0 | -6.7 | -5.3 | -4.0 | -4.9 | -9.0 |
| max | 7.0  | 8.1  | 7.6  | 8.0  | 9.9  | 9.1  | 9.4  | 9.6  | 5.8  | 8.0  | 6.6  | 5.2  | 9.9  |

**QuadroXXIV**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Dois Portos, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 1.9  | 2.6  | 2.8  | 3.2  | 3.1  | 3.4  | 3.9  | 3.6  | 2.0  | 2.2  | 2.1  | 2.1  | 2.7  |
| min | -4.7 | -2.9 | -2.1 | -2.5 | -0.5 | -1.4 | -1.3 | -1.9 | -6.6 | -2.5 | -2.9 | -2.2 | -6.6 |
| max | 8.0  | 8.3  | 9.4  | 10.5 | 10.6 | 9.8  | 12.6 | 9.7  | 8.8  | 6.9  | 8.9  | 7.9  | 12.6 |

**QuadroXXV**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Estefânia, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.0  | 0.1  | 0.1  | 0.4  | 0.4  | 0.3  | 0.3  | 0.2  | 0.2  | 0.4  | 0.3  | 0.2  | 0.2  |
| min | -6.6 | -8.3 | -6.8 | -5.3 | -2.8 | -3.7 | -4.8 | -7.1 | -6.4 | -5.9 | -4.3 | -4.6 | -8.3 |
| max | 5.7  | 5.9  | 4.6  | 5.1  | 4.3  | 3.3  | 3.8  | 5.0  | 4.0  | 5.2  | 3.7  | 3.4  | 5.9  |



**QuadroXXVI**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Estrela, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.6  | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.5  | 0.9  | 1.0  | 0.9  | -1.0 | 0.4  |
| min | -5.2 | -4.3 | -5.9 | -5.0 | -3.3 | -3.7 | -3.6 | -5.4 | -4.5 | -2.6 | -6.2 | -7.1 | -7.1 |
| max | 4.6  | 5.0  | 7.7  | 6.8  | 4.6  | 4.9  | 5.1  | 6.0  | 5.4  | 6.1  | 5.9  | 11.0 | 11.0 |

**QuadroXXVII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Gago Coutinho, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 1.1  | 1.4  | 1.5  | 1.8  | 1.9  | 2.0  | 2.0  | 1.7  | 1.1  | 1.4  | 1.1  | 1.0  | 1.5  |
| min | -1.8 | -3.1 | -3.1 | -2.4 | -2.8 | -2.2 | -2.8 | -2.9 | -4.9 | -1.6 | -2.5 | -2.7 | -4.9 |
| max | 8.6  | 8.7  | 7.7  | 7.1  | 5.8  | 6.7  | 6.3  | 6.0  | 5.5  | 7.2  | 5.5  | 7.5  | 8.7  |

**QuadroXXVIII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Geofísico, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 0.5  | 0.8  | 0.9  | 1.2  | 1.4  | 1.4  | 1.5  | 1.3  | 1.1  | 1.1  | 0.8  | 0.6  | 1.1  |
| min | -4.2 | -3.3 | -2.6 | -2.6 | -2.1 | -2.8 | -3.0 | -3.9 | -3.6 | -1.6 | -2.6 | -2.7 | -4.2 |
| max | 7.2  | 6.8  | 7.4  | 6.7  | 6.2  | 5.9  | 6.3  | 6.6  | 5.7  | 5.8  | 4.8  | 4.3  | 7.4  |

**QuadroXXIX**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Lavradio, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| med | 1.1  | 1.3  | 1.2  | 1.2  | 1.0  | 1.1  | 1.7  | 1.3  | 0.6  | 0.7  | 0.4  | 0.8  | 1.0  |
| min | -2.1 | -2.1 | -2.5 | -2.5 | -1.6 | -2.8 | -2.2 | -2.3 | -2.0 | -2.9 | -3.0 | -2.4 | -3.0 |
| max | 8.5  | 10.1 | 8.2  | 7.0  | 6.1  | 6.0  | 7.1  | 6.9  | 4.8  | 7.4  | 5.6  | 6.7  | 10.1 |

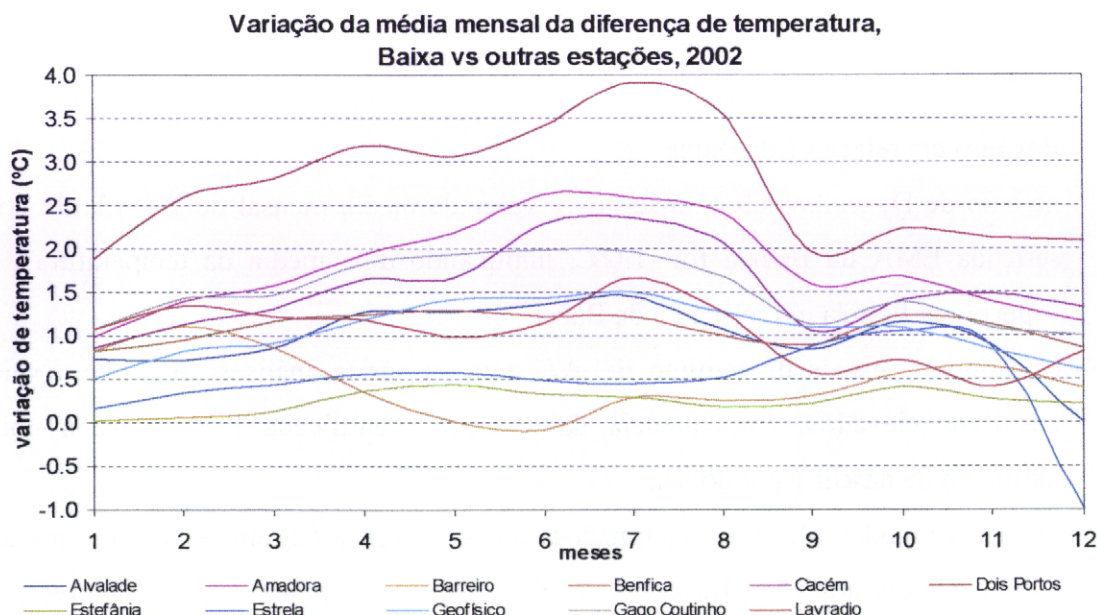


Fig.4.s.1 – Variação da média mensal de  $\Delta T$ , entre a EMA da Baixa e as outras EMA's da Fase II, durante o ano 2002.

Dos resultados apresentados nos QuadroXIX ao QuadroXXIX e na Fig.4.s.1 podemos retirar algumas ilações complementares do comportamento térmico da cidade de Lisboa durante o ano 2002, assim:

- 14) as séries das médias mensais dos diferentes  $\Delta T$  apresentam uma variação periódica na qual os valores mais elevados ocorrem nos meses de Verão, à excepção das séries das EMA's do Barreiro, Estefânia e Estrela nas quais os valores mais elevados ocorrem durante os meses de transição entre Inverno e Verão;
- 15) os valores mais elevadores da média mensal de  $\Delta T$ , foram obtidos na estação de Dois Portos, sendo que o valores mais elevado ocorreu no mês de Julho, 3.9°C e o valor mais baixo 1.9°C no mês de Janeiro;
- 16) os valores extremos mensais de  $\Delta T$  mais elevados foram observados para a série gerada entre os dados da EMA da Baixa e Dois Portos, 12.6°C no mês de Julho, é com esta série que também se obtêm o valor mais elevado da média anual, nomeadamente o valor de 2.7°C;
- 17) os valores médios anuais de  $\Delta T$  obtidos com as séries da EMA da Estefânia e a EMA da Estrela foram 0.2°C e 0.4°C, indiciando que os dados da temperatura do ar observados nestas duas EMA's são bastante aproximados dos registados na EMA da Baixa;
- 18) a variação anual da média mensal de  $\Delta T$  obtida com a série de dados da EMA do Barreiro apresenta um comportamento distinto das outras séries, pois observa-se que durante os meses de Abril a Setembro os valores de  $\Delta T$  são, em regra, mais baixos, sendo que para o mês de Julho o valor obtido da média mensal de  $\Delta T$  foi -0.1°C, quer dizer que durante o mês de Junho a média da temperatura do ar foi superior no Barreiro em relação à da Baixa;
- 19) no mês de Dezembro observa-se que o valor da média mensal de  $\Delta T$  obtido com a série da EMA da Estrela foi -1.0°C, implicando uma média da temperatura do ar superior na Estrela em relação à da Baixa;
- 20) os valores mensais do mínimo de  $\Delta T$  para as várias análises apresentam valores negativos elevados, consequência da situação identificada e relacionada com o momento de nascer e pôr do sol;
- 21) os valores médios de  $\Delta T$  relacionados com a diferença da temperatura do ar entre a estação meteorológica da Baixa e Gago Coutinho (estação meteorológica de referência para a previsão numérica do tempo) apresentam, para os três meses (Junho, Julho e

Agosto) considerados de Verão, um valor médio de 1.9°C, para os meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) um valor médio de 1.2°C.

Face aos resultados obtidos no que respeita às séries de  $\Delta T$ , podemos afirmar que o fenómeno da “ilha de calor urbana” no computo geral na cidade de Lisboa ocorre diariamente e que a sua intensidade apresenta uma forte dependência sazonal e diária. Observa-se também que, em determinadas situações sinópticas a intensidade do fenómeno se mantém durante o período nocturno.

Tendo em conta o comportamento diferenciado identificado para o período diurno e nocturno observado nas Fig.4.r.1 à Fig.4.r.11 para a variação horária da temperatura do ar, é executada uma análise mensal apenas os dados correspondentes ao período nocturno, para tal é utilizado a hora de nascer e pôr-do-sol.

Assim, no QuadroXXX ao QuadroXL encontram-se representadas as médias, mínimos e máximos mensais e anual de  $\Delta T$  apenas para o período nocturno.

#### QuadroXXX

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Alvalade, período nocturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 1.0  | 1.1  | 1.3  | 1.4  | 1.3  | 1.3  | 1.3  | 1.3  | 0.9  | 1.4  | 1.3  | -    | 1.2   |
| min | -1.0 | -1.2 | -0.5 | -1.2 | -1.0 | -2.4 | -1.4 | -1.2 | -2.2 | -0.4 | -0.1 | -    | -2.4  |
| max | 2.8  | 3.4  | 3.7  | 3.6  | 2.6  | 2.5  | 3.8  | 2.9  | 2.3  | 3.5  | 4.4  | -    | 4.4   |

#### QuadroXXXI

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Amadora, período nocturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.8  | 1.1  | 1.5  | 1.8  | 2.1  | 2.5  | 2.2  | 2.4  | 1.4  | 1.5  | 1.5  | 1.1  | 1.6   |
| min | -2.0 | -2.0 | -1.8 | -2.7 | -0.3 | -1.0 | -2.2 | -0.7 | -0.5 | -1.1 | -1.7 | -1.3 | -2.7  |
| max | 2.8  | 2.5  | 5.6  | 5.9  | 4.7  | 6.3  | 6.5  | 7.4  | 2.9  | 3.6  | 4.1  | 3.1  | 7.4   |

#### QuadroXXXII

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Barreiro, período nocturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.7  | 0.9  | 1.0  | 0.6  | 0.5  | 0.6  | 0.8  | 0.7  | 0.5  | 0.6  | 0.6  | 0.4  | 0.7   |
| min | -1.5 | -1.0 | -1.1 | -1.2 | -1.5 | -0.3 | -0.8 | -1.5 | -0.9 | -2.0 | -1.3 | -1.7 | -2.0  |
| max | 2.8  | 3.9  | 3.2  | 2.7  | 2.6  | 3.6  | 4.6  | 3.2  | 3.1  | 2.7  | 3.5  | 3.4  | 4.6   |

#### QuadroXXXIII

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Benfica, período nocturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 1.4  | 1.6  | 2.1  | 2.0  | 1.7  | 1.7  | 1.6  | 1.6  | 1.2  | 1.8  | 1.8  | 1.3  | 1.6   |
| min | -0.9 | -1.3 | -0.1 | 0.2  | -0.3 | -2.3 | -0.4 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -1.6 | -2.3  |
| max | 4.2  | 5.5  | 5.6  | 5.4  | 4.8  | 4.0  | 6.4  | 4.7  | 4.6  | 5.4  | 6.4  | 8.5  | 8.5   |



**QuadroXXXIV**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Cacém, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 1.0  | 1.4  | 2.1  | 2.1  | 1.9  | 2.2  | 2.3  | 2.3  | 1.2  | 1.6  | 1.8  | 1.6  | 1.8   |
| min | -1.7 | -2.2 | -0.4 | 0.0  | 0.0  | -0.8 | -0.4 | 0.2  | -1.3 | -1.5 | -1.3 | -2.0 | -2.2  |
| max | 4.3  | 4.9  | 6.0  | 5.7  | 4.9  | 6.5  | 7.3  | 7.8  | 5.0  | 3.9  | 6.6  | 5.2  | 7.8   |

**QuadroXXXV**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Dois Portos, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 2.0  | 2.5  | 3.2  | 2.9  | 2.7  | 2.8  | 3.3  | 3.0  | 2.1  | 2.2  | 2.2  | 2.6  | 2.6   |
| min | -0.3 | -0.4 | 0.2  | 0.3  | 0.2  | 0.7  | -0.3 | 0.8  | -2.9 | -0.4 | -0.1 | -0.1 | -2.9  |
| max | 6.2  | 8.3  | 6.8  | 8.7  | 6.9  | 8.1  | 12.6 | 9.2  | 6.8  | 5.9  | 8.9  | 7.9  | 12.6  |

**QuadroXXXVI**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Estefânia, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.0  | 0.1  | 0.2  | 0.4  | 0.5  | 0.4  | 0.3  | 0.3  | 0.2  | 0.4  | 0.4  | 0.3  | 0.3   |
| min | -1.5 | -1.6 | -1.8 | -2.3 | -1.2 | -3.7 | -2.4 | -1.9 | -2.4 | -1.5 | -0.7 | -1.0 | -3.7  |
| max | 1.3  | 0.9  | 1.3  | 1.4  | 1.2  | 1.1  | 1.3  | 1.2  | 1.0  | 1.7  | 1.7  | 1.5  | 1.7   |

**QuadroXXXVII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Estrela, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.1  | 0.3  | 0.4  | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.9  | 0.8  | -1.4 | 0.4   |
| min | -1.5 | -1.5 | -2.2 | -2.3 | -0.8 | -2.3 | -1.9 | -1.1 | -0.4 | -1.1 | -6.2 | -5.9 | -6.2  |
| max | 1.9  | 1.5  | 1.6  | 1.9  | 1.7  | 1.7  | 1.8  | 1.7  | 1.6  | 2.2  | 3.5  | 2.1  | 3.5   |

**QuadroXXXVIII**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Gago Coutinho, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.6  | 0.8  | 0.9  | 1.2  | 1.5  | 1.6  | 1.4  | 1.3  | 0.8  | 1.0  | 0.9  | 0.8  | 1.0   |
| min | -1.7 | -1.6 | -3.1 | -2.4 | -1.1 | -2.0 | -2.5 | -2.9 | -2.8 | -1.6 | -1.7 | -0.7 | -3.1  |
| max | 2.7  | 2.5  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.2  | 3.2  | 3.2  | 1.7  | 2.5  | 3.1  | 2.5  | 3.2   |

**QuadroXXXIX**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Geofísico, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.1  | 0.3  | 0.4  | 0.8  | 1.0  | 1.0  | 0.8  | 0.9  | 0.8  | 0.8  | 0.7  | 0.5  | 0.7   |
| min | -1.3 | -1.7 | -2.6 | -2.3 | -0.9 | -1.4 | -1.4 | -1.2 | -0.2 | -1.6 | -0.9 | -0.6 | -2.6  |
| max | 1.8  | 1.6  | 1.7  | 2.3  | 1.9  | 2.1  | 2.0  | 1.8  | 1.8  | 2.3  | 2.5  | 2.5  | 2.5   |

**QuadroXL**

**Valor mensal e anual (média, máxima e mínimo) de  $\Delta T$  aplicado entre a estação da Baixa e Lavradio, período noturno, 2002**

|     | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| med | 0.6  | 0.7  | 0.7  | 0.4  | 0.1  | 0.3  | 0.7  | 0.5  | 0.3  | 0.3  | 0.0  | 0.6  | 0.4   |
| min | -2.1 | -1.8 | -1.9 | -1.5 | -1.1 | -0.8 | -1.3 | -2.3 | -1.1 | -2.9 | -1.6 | -1.0 | -2.9  |
| max | 2.4  | 3.7  | 4.1  | 2.8  | 2.8  | 3.5  | 6.2  | 3.0  | 2.5  | 2.5  | 2.4  | 2.6  | 6.2   |