

**UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,  
GEOFÍSICA E ENERGIA**



# **Microclimatologia do Município de Sintra com base em estações meteorológicas**

Sónia Isabel Sequeira Domingos

Dissertação submetida para a obtenção do  
grau de Mestre em Ciências Geofísicas – Especialização  
Meteorologia

2008

**UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,  
GEOFÍSICA E ENERGIA**



# **Microclimatologia do Município de Sintra com base em estações meteorológicas**

**Sónia Isabel Sequeira Domingos**

Dissertação orientada pelo Doutor Ricardo Aguiar (INETI)  
e pelo Professor Doutor Pedro Miranda (FCUL)

Dissertação submetida para a obtenção do  
grau de Mestre em Ciências Geofísicas – Especialização  
Meteorologia

2008

Em memória do meu tio e padrinho, Rogério Sequeira.

## **Agradecimentos**

Agradeço o apoio incansável do meu orientador, o Doutor Ricardo Aguiar, pela forma como orientou esta tese e me incentivou a realizá-la, contribuindo com o seu conhecimento e experiências para a valorização deste trabalho.

Os meus agradecimentos ao Prof. Pedro Miranda, meu supervisor, pelo seu apoio na realização deste trabalho.

O meu agradecimento à Fundação da Faculdade de Ciências (FFCUL), cuja atribuição de uma bolsa de iniciação à investigação permitiu o financiamento desta tese, onde este trabalho se encontra integrado no projecto Plano Estratégico para o Concelho de Sintra face às alterações climáticas, no âmbito do Protocolo de Cooperação entre o Município de Sintra e a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e o Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia. Ao INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P., pelas condições de trabalho oferecidas. Ao Instituto de Meteorologia, I.P. Portugal (IM) pela cedência dos dados meteorológicos necessário para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de gabinete, ao Ricardo Coelho e ao David Avelar pelo ambiente de trabalho e entajuda.

Aos colegas do INETI, em especial à Raquel Marujo, Liliana Madeira e Nuno Silva pelos momentos de convívio proporcionados.

Ao Paulo Costa (INETI) pelo apoio prestado.

À minha família por todo o apoio ao longo da minha vida académica.

Ao Paulo Belo Costa por tudo o que ele é.

## Resumo

No âmbito do Plano Estratégico para o Concelho de Sintra face às alterações climáticas, celebrado entre a Câmara Municipal de Sintra e a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL) – conhecido como projecto SIAM Sintra -, foi desenvolvido este trabalho com vista a caracterizar e obter representações quantitativas dos microclimas da região de Sintra. Esta espacialização é necessária a várias actividades das equipas sectoriais do SIAM Sintra. Foram utilizados dados de precipitação, temperatura média, amplitude térmica, humidade relativa, velocidade do vento média e insolação, fornecidos através de estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia, I.P. Portugal (IM) e do Instituto Nacional da Água (INAG). Obtiveram-se modelos regressivos da precipitação e temperatura médias mensais de longo prazo, em função apenas de variáveis orográficas, designadamente distância à costa e altitude. De seguida obteve-se a espacialização usando modelos digitais do terreno. De forma auxiliar também se usaram modelos espaciais, mais simples, para cartografar a magnitude do vento á superfície, a radiação solar global na horizontal, a pressão atmosférica e a humidade relativa.

A espacialização de séries diárias também foi necessária ao Projecto. Neste contexto, devido à existência de poucas estações meteorológicas na região com registos de longa duração, foi necessário encontrar uma estação que fosse representativa da região. Sintra / Granja foi a estação escolhida, depois de efectuados vários testes e comparações com as restantes estações. Os modelos microclimáticos desenvolvidos neste trabalho foram então empregues nesta espacialização para obter séries meteorológicas numa grelha de 1 km x 1 km. Tal permitiu a cartografia também de certos índices que não podem ser calculados apenas com base em valores climáticos, tais como o risco meteorológico de incêndio, o conforto térmico no exterior, ou a severidade de ondas de calor, tanto num cenário de referência como em cenários climáticos futuros.

Palavras-chave: Microclimas, Sintra, Modelos regressivos, estações meteorológicas

## **Abstract**

This work was developed under Sintra's Strategic Plan for Climate Change, signed in September 2007 by the Municipality of Sintra and the Faculty of Sciences of the Lisbon University Foundation (FFCUL), – know as Project SIAM Sintra.

The present work was developed in order to characterize and to obtain quantitative representations of the microclimates in Sintra region. This downscaling was required for the various studies performed by the sector teams of SIAM Sintra. Data from rainfall, mean temperature, temperature range, relative humidity, wind speed and sunshine, was provided by meteorological stations of the Portuguese Institute of Meteorology and the Portuguese Water Institute. Regressive models of long term average monthly precipitation and temperature were obtained, depending only of orographic variables, namely distance to coastline and altitude. Digital Terrain Models were used to perform the downscaling. Ancillary data of surface wind, global solar horizontal radiation, atmospheric pressure and relative humidity was assembled using simple spatial models.

Downscaled daily series were also required by the Project teams. As few meteorological stations with long records were available, a representative station was first selected. Sintra / Granja was the station chosen, after several tests and comparisons made with the other stations. The microclimatic models developed in this study were then used in conjunction with a method of analogs and stochastic models to obtain meteorological series in a grid of 1 km x 1 km. This also allowed the mapping of certain indices that cannot be calculated simply on the basis of climatic values – such as the meteorological risk of fire, thermal comfort, or the severity of heat waves –, both for a baseline scenario as well as for future climatic scenarios.

**Keywords:** Microclimates, Sintra, Regressive models, weather stations

# ÍNDICE

<b>Resumo</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação	1
1.2 Município de Sintra	2
1.2.1 Breve caracterização climática do município de Sintra	3
1.3 Diferentes tipos de microclima	3
1.3.1 Regiões montanhosas	3
1.3.2 Regiões costeiras	4
1.3.3 Florestas	5
1.3.4 Regiões urbanas	5
1.4 Revisão bibliográfica	5
1.5 Abordagem seguida	6
<b>2 Dados meteorológicos</b>	<b>7</b>
2.1 Fontes e obtenção de dados	7
2.2 Análise exploratória dos dados	9
2.2.1 Climatologia específica de cada estação meteorológica	9
2.2.2 Comparação dos dados meteorológicos entre estações	22
2.2.3 Regiões: Zona Costeira, Zona Central e Zona Norte	26
<b>3 Aplicação da metodologia</b>	<b>27</b>
3.1 Abordagem geral	27
3.2 Regressões	29
3.2.1 Amplitude térmica (AT)	29
3.2.2 Temperatura média (T)	31
3.2.3 Precipitação (RR)	33
3.3 Calibração e validação dos dados	34
<b>4 Resultados</b>	<b>47</b>
4.1 Temperatura média	47
4.2 Amplitude Térmica	52

4.3 Precipitação	56
4.4 Outros parâmetros meteorológicos: Humidade Relativa, intensidade do vento média, Índice de claridade, Radiação solar e Pressão atmosférica	60
4.4.1 Humidade Relativa	60
4.4.2 Intensidade do vento média	62
4.4.3 Radiação Solar	65
4.4.4 Pressão atmosférica	67
<b>5 Aplicações</b>	<b>69</b>
5.1 Regionalização de séries diárias	69
5.2 Valores horários	70
5.3 Desenvolvimento de cenários climáticos	70
5.4 Risco de incêndio	75
5.5 Sensação Térmica	80
5.6 Ondas de calor	83
<b>6 Conclusões</b>	<b>87</b>
<b>Referências</b>	<b>88</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Localização do município de Sintra em Portugal Continental.	2
<b>Figura 2</b>	Cabo da Roca.	2
<b>Figura 3</b>	Localização das estações meteorológicas utilizadas na região de Sintra (com sobreposição da orografia com 10m de resolução). A vermelho estão representadas as estações do INAG e a preto as estações do IM.	8
<b>Figura 4</b>	Precipitação acumulada mensal acumulada (mm) relativa ao período 1947-1967, para Azenhas do Mar.	9
<b>Figura 5</b>	Precipitação acumulada anual (mm) de 1947 a 1967, para Azenhas do Mar.	9
<b>Figura 6</b>	Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1990-2002, para Barragem Rio da Mula.	10
<b>Figura 7</b>	Precipitação acumulada anual (mm) de 1990 a 2002, para Barragem rio da Mula.	10
<b>Figura 8</b>	Temperatura média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Cabo da Roca.	11
<b>Figura 9</b>	Temperatura média anual de 1961 a 1990, para Cabo da Roca.	11
<b>Figura 10</b>	Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1961-1990, para Cabo da Roca.	12
<b>Figura 11</b>	Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1961-1990, para Cabo da Roca.	12
<b>Figura 12</b>	Precipitação acumulada anual de 1961 a 1990, para Cabo da Roca.	12
<b>Figura 13</b>	Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1980-2007, para Cheleiros.	13
<b>Figura 14</b>	Precipitação acumulada anual de 1980 a 2007, para Cheleiros.	13
<b>Figura 15</b>	Temperatura média mensal relativa ao período de 1970 – 1996, para Colares.	14
<b>Figura 16</b>	Temperatura média anual de 1970 a 1996, para Colares.	14
<b>Figura 17</b>	Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1970 a 1996, para Colares.	14
<b>Figura 18</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1970 – 1996, para Colares.	15
<b>Figura 19</b>	Precipitação acumulada anual de 1970 a 1996, para Colares.	15
<b>Figura 20</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1990 – 2002, para Linhó.	16
<b>Figura 21</b>	Precipitação acumulada anual de 1990 a 2002, para Linhó.	16
<b>Figura 22</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1980 – 2001, para Quinta do Pisão.	17
<b>Figura 23</b>	Precipitação acumulada anual de 1980 a 2001, para Quinta do Pisão	17
<b>Figura 24</b>	Temperatura média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.	18
<b>Figura 25</b>	Temperatura média anual de 1961 a 1990, para Sintra Granja.	18

<b>Figura 26</b>	Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.	18
<b>Figura 27</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.	19
<b>Figura 28</b>	Precipitação acumulada anual de 1961 a 1990, para Sintra Granja.	19
<b>Figura 29</b>	Temperatura média mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.	20
<b>Figura 30</b>	Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.	20
<b>Figura 31</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.	20
<b>Figura 32</b>	Temperatura média mensal relativa ao período 1951 – 1980, para Sintra Vila.	21
<b>Figura 33</b>	Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1951 – 1980, para Sintra Vila.	21
<b>Figura 34</b>	Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1951 – 1980, para Sintra Vila.	22
<b>Figura 35</b>	Precipitação acumulada anual para Cabo Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).	23
<b>Figura 36</b>	Precipitação acumulada mensal para Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).	24
<b>Figura 37</b>	Temperaturas média, máxima e mínima anual para as estações de Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).	25
<b>Figura 38</b>	Temperatura média mensal para as estações de Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).	26
<b>Figura 39</b>	Resultado do software utilizado, referente ao mês de Março para a regressão da amplitude térmica.	31
<b>Figura 40</b>	Output gráfico referente ao mês de Março para a regressão da temperatura média.	32
<b>Figura 41</b>	Cartografia de temperatura média com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.	47
<b>Figura 42</b>	Cartografia de temperatura média anual com resolução espacial de 10 m, para o município de Sintra.	48
<b>Figura 43</b>	Cartografia de amplitude térmica média com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.	52
<b>Figura 44</b>	Cartografia de precipitação acumulada com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.	56
<b>Figura 45</b>	Cartografia de precipitação acumulada anual com resolução espacial de 10 m, para o município de Sintra.	56
<b>Figura 46</b>	Humidade relativa média mensal, para Cabo da Roca no período de 1978 – 1996.	61
<b>Figura 47</b>	Humidade relativa média mensal, para Sintra / Granja no período de 1961 – 1990.	61

<b>Figura 48</b>	Intensidade do vento média mensal, para Cabo da Roca no período de 1961 – 1990.	63
<b>Figura 49</b>	Intensidade do vento média mensal, para Colares no período de 1970 – 1996.	63
<b>Figura 50</b>	Intensidade do vento média mensal, para Sintra / Granja no período de 1971 – 2000.	64
<b>Figura 51</b>	Evolução sazonal do índice de claridade para as estações de Cabo da Roca e Sintra Granja, nos seus respectivos períodos.	67
<b>Figura 52</b>	Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a temperatura média nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.	71
<b>Figura 53</b>	Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a temperatura média anual.	72
<b>Figura 54</b>	Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a precipitação acumulada nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.	73
<b>Figura 55</b>	Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a precipitação acumulada anual.	74
<b>Figura 56</b>	O diagrama ilustra as componentes necessárias para o cálculo do FWI.	75

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b>	Orografia com resolução de 1Km, para a região de Sintra.	3
<b>Tabela 2</b>	Estações meteorológicas utilizadas para a região de Sintra.	7
<b>Tabela 3</b>	Representação esquemática dos períodos disponíveis para cada estação meteorológica utilizada.	8
<b>Tabela 4</b>	Estudo estatístico exploratório da precipitação, para as estações meteorológicas Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).	24
<b>Tabela 5</b>	Estudo estatístico da temperatura média, para as estações meteorológicas Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990), onde o período de sobreposição das três estações corresponde a 1970 – 1990.	25
<b>Tabela 6</b>	Divisão dos períodos de dados disponíveis para cada estação meteorológica.	28
<b>Tabela 7</b>	Exemplo do ficheiro com dados de temperatura média de Agosto.	28
<b>Tabela 8</b>	Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à amplitude térmica mensal.	29
<b>Tabela 9</b>	Apresentação dos valores de $r^2$ , coeficientes $a$ e $b$ referentes à regressão (3.1) para a amplitude térmica mensal.	30
<b>Tabela 10</b>	Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à temperatura média mensal.	31
<b>Tabela 11</b>	Apresentação dos valores de $r^2$ , coeficientes $a$ , $b$ e $c$ referentes à regressão (3.2) para a temperatura média mensal.	32
<b>Tabela 12</b>	Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à precipitação acumulada mensal.	33
<b>Tabela 13</b>	Apresentação dos valores de $r^2$ , coeficientes $a$ , $b$ e $c$ referentes à regressão (3.3) para a precipitação média mensal e anual.	34
<b>Tabela 14</b>	Estudo estatístico para a estação de Azenhas do Mar, valores de precipitação	35
<b>Tabela 15</b>	Estudo estatístico para a estação de Barragem Rio da Mula, valores de precipitação	36
<b>Tabela 16</b>	Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de precipitação	37
<b>Tabela 17</b>	Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de temperatura média	38
<b>Tabela 18</b>	Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de amplitude térmica média	38
<b>Tabela 19</b>	Estudo estatístico para a estação de Cheleiros, valores de precipitação.	39
<b>Tabela 20</b>	Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de precipitação.	40
<b>Tabela 21</b>	Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de temperatura média.	41
<b>Tabela 22</b>	Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de amplitude térmica.	41
<b>Tabela 23</b>	Tabela 23 – Estudo estatístico para a estação de Linhó, valores de precipitação.	42
<b>Tabela 24</b>	Estudo estatístico para a estação de Linhó, valores de precipitação.	43

<b>Tabela 25</b>	Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de precipitação.	44
<b>Tabela 26</b>	Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de temperatura média.	45
<b>Tabela 27</b>	Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de amplitude térmica.	45
<b>Tabela 28</b>	Distribuição espacial da temperatura média Janeiro com resolução 1km, para o município de Sintra.	49
<b>Tabela 29</b>	Evolução espacial da temperatura média Abril com resolução 1km, para o município de Sintra.	49
<b>Tabela 30</b>	Distribuição espacial da temperatura média Julho com resolução 1km, para o município de Sintra.	50
<b>Tabela 31</b>	Distribuição espacial da temperatura média Outubro, com resolução 1km, para o município de Sintra.	50
<b>Tabela 32</b>	Distribuição espacial da temperatura média anual, com resolução 1km, para o município de Sintra.	51
<b>Tabela 33</b>	Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Janeiro, com resolução 1km, para o município de Sintra.	53
<b>Tabela 34</b>	Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Abril, com resolução 1km, para o município de Sintra.	54
<b>Tabela 35</b>	Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Julho, com resolução 1km, para o município de Sintra.	54
<b>Tabela 36</b>	Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Outubro, com resolução 1km, para o município de Sintra.	55
<b>Tabela 37</b>	Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Janeiro, com resolução 1km, para o município de Sintra.	57
<b>Tabela 38</b>	Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Abril, com resolução 1km, para o município de Sintra.	58
<b>Tabela 39</b>	Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Julho, com resolução 1km, para o município de Sintra.	58
<b>Tabela 40</b>	Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Outubro, com resolução 1km, para o município de Sintra.	59
<b>Tabela 41</b>	Evolução espacial da precipitação acumulada anual, com resolução 1km, para o município de Sintra.	59
<b>Tabela 42</b>	Humidade relativa média mensal (%) relativa a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos	60
<b>Tabela 43</b>	Distribuição espacial da humidade relativa média anual (%), no período de referência 1961 – 1990, para a região de Sintra	62
<b>Tabela 44</b>	Intensidade do vento média mensal (m/s), relativa a Cabo da Roca, Colares e Sintra / Granja	63
<b>Tabela 45</b>	Evolução espacial da velocidade média anual (m/s), no período de referência 1961 – 1990, para a região de Sintra.	65
<b>Tabela 46</b>	$S_m$ , relativo a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos	66
<b>Tabela 47</b>	Kt, relativo a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos	66

<b>Tabela 48</b>	Distribuição espacial da pressão atmosférica em hPa, para o período de referência 1961 – 1990, no município de Sintra.	68
<b>Tabela 49</b>	Cenário SRES A1 (2070 – 2099) – para a temperatura média anual com resolução 1km, para o município de Sintra.	72
<b>Tabela 50</b>	Cenário SRES A1 (2070 – 2099) – para a precipitação acumulada anual com resolução 1km, para o município de Sintra.	74
<b>Tabela 51</b>	Base 1961 – 1990, com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.	77
<b>Tabela 52</b>	Cenário SRES A1 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.	77
<b>Tabela 53</b>	Cenário SRES A2 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.	78
<b>Tabela 54</b>	Cenário SRES B1 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.	78
<b>Tabela 55</b>	Cenário SRES B2 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.	79
<b>Tabela 56</b>	Base 1961 – 1990, para o ASV_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.	80
<b>Tabela 57</b>	Cenário SRES A1 (2070 – 2099), para o ASV_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.	81
<b>Tabela 58</b>	Cenário SRES A2 (2070 – 2099), para o ASV_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.	81
<b>Tabela 59</b>	Cenário SRES B1 (2070 – 2099), para o ASV_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.	82
<b>Tabela 60</b>	Cenário SRES B2 (2070 – 2099), para o ASV_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.	82
<b>Tabela 61</b>	Base 1961 – 1990, para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.	83
<b>Tabela 62</b>	Cenário SRES A1 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.	84
<b>Tabela 63</b>	Cenário SRES A2 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.	84
<b>Tabela 64</b>	Cenário SRES B1 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.	85

**Tabela 65** Cenário SRES B2 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra. 85

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

No âmbito Geral da Convenção Quadro das Alterações Climáticas, da Agenda 21 local e da Estratégia Nacional de Combate às Alterações Climáticas, compete também às autarquias desenvolverem todos os mecanismos de prevenção e controle ao nível local deste fenómeno global. Assim, recentemente a Câmara Municipal da Sintra, definiu entre os seus objectivos a nível de Ambiente, a análise do impacto das alterações climáticas no seu município, em particular (mas não só) na zona costeira, tendo em vista a melhor eficácia dos sistemas de prevenção e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

Nesse sentido a Câmara Municipal da Sintra assinou em 25 de Setembro de 2007 um Protocolo com a Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL), que tem por objecto a concepção e desenvolvimento de um Plano Estratégico para o Concelho de Sintra face às alterações climáticas, com particular incidência na Zona Costeira. Uma equipa multidisciplinar reunida pela FFCUL trabalha durante cerca de 14 meses para identificar impactos e estudar estratégias e medidas para sua prevenção, controle e minimização; e ainda, para sugerir medidas de mitigação ao nível do município (redução de emissões de GEE e sequestro de Carbono). Os estudos ao abrigo deste Protocolo são informalmente conhecidos como “Projecto SIAM Sintra”.

Neste contexto são evidentemente necessários dados meteorológicos algo detalhados, tanto para uma situação climática de referência correspondendo às últimas décadas, como para cenários climáticos futuros decorrentes do Aquecimento Global.

Ora, incidindo os estudos sobre sistemas com escalas espaciais da ordem de 1 km<sup>2</sup> ou mesmo inferiores (arribas, praias, biomas, ribeiras e aquíferos, povoações...) mas por outro lado sendo o Município de Sintra bem conhecido por exibir diversos microclimas – com destaque para a zona costeira e a zona da Serra de Sintra – torna-se necessária uma descrição microclimatológica para se poder regionalizar a uma escala muito pequena os dados climáticos provenientes de modelos climáticos.

Contudo, até hoje ainda não foi desenvolvida uma microclimatologia quantitativa do município de Sintra para todos os parâmetros necessários aos estudos previstos no Protocolo: temperaturas, precipitação, humidade, radiação solar e vento, a nível mensal - esse foi portanto o objectivo do presente trabalho.

Quando se fala de microclima, no fundo referimo-nos às condições climáticas de áreas de pequena escala, tais como jardins, parques, vales e partes de uma cidade. As variáveis climáticas num microclima, nomeadamente a temperatura, precipitação, vento ou humidade, diferem

subtilmente das da área que prevalece como um todo. São precisamente estas pequenas diferenças que tornam tão interessante o estudo de um microclima.

## 1.2 *Município de Sintra*

Sintra é uma vila portuguesa no Distrito de Lisboa com cerca de 27.000 habitantes. O município tem uma área de 316,06 km<sup>2</sup> e 409.482 habitantes (2004), estando subdividido em 20 freguesias. O concelho (Figura 1) é limitado a norte pelo município de Mafra, a leste por Loures e Odivelas, a sueste pela Amadora, a sul por Oeiras e Cascais e a oeste tem litoral no Oceano Atlântico.

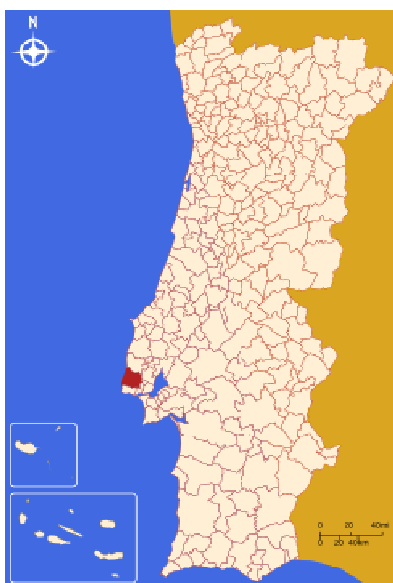


Figura 1 – Localização do município de Sintra em Portugal Continental [<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sintra>].

É neste município que se situa o extremo mais ocidental do Continente Europeu, o Cabo da Roca. Já dizia Luís de Camões, nos Lusíadas: “Aqui... Onde a Terra se acaba e o mar começa”.

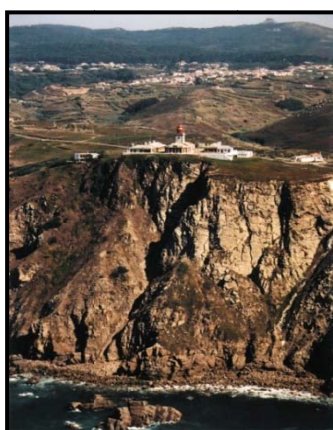


Figura 2 – Cabo da Roca [[http://www.marinha.pt/extra/revista/ra\\_set\\_out2003/pag\\_35.html](http://www.marinha.pt/extra/revista/ra_set_out2003/pag_35.html)]

Vários têm sido os motivos que, no seu conjunto, levaram desde cedo a uma intensa ocupação humana de toda a região de Sintra. Para além de ser um concelho vizinho da capital do país,

Lisboa, esses motivos incluem o clima proporcionado pela Serra de Sintra, a fertilidade das terras depositadas nas várzeas circundantes e a relativa proximidade do estuário do Tejo. (<http://www.cm-sintra.pt/>)

### 1.2.1 Breve caracterização climática do município de Sintra

Sintra é uma região com um clima Mediterrânico de influência atlântica, mas com vários microclimas. No município de Sintra, as temperaturas mais amenas fazem-se sentir junto ao mar, devido essencialmente ao efeito atenuador deste sobre as temperaturas extremas. Para a zona da Serra de Sintra, os valores de precipitação são mais elevados que nas áreas circundantes, enquanto no litoral, se verificam os valores mínimos, o mesmo acontece na Serra da Carregueira (zona montanhosa a leste do município).

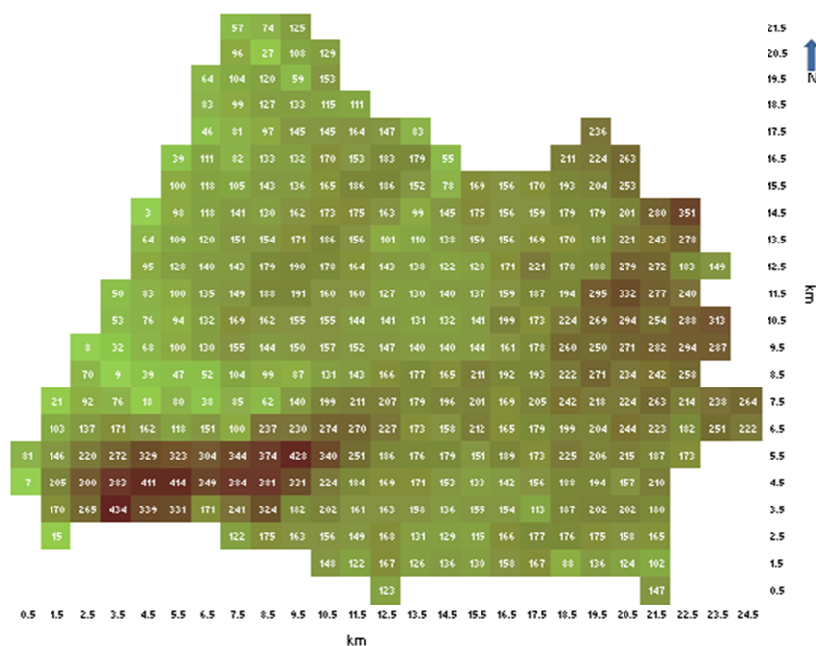
### 1.3 Diferentes tipos de microclima

Existem microclimas distintos para cada tipo de ambiente na superfície da Terra. Sendo o município de Sintra é composto por serra, vales, várzea e zonas urbanas, serão descritos brevemente neste capítulo os diferentes tipos de microclima (Met Office <http://www.metoffice.gov.uk>).

#### 1.3.1 Regiões montanhosas

As áreas montanhosas têm um tipo de clima específico, diferente dos níveis inferiores circundantes. O mapa que segue (Tabela 1) mostra a orografia do concelho com uma resolução de 1 km. A altura da serra de Sintra é de 471 m e da serra da Carregueira é de 351 m.

Tabela 1 – Orografia com resolução de 1km, para a região de Sintra.



Com colinas e montanhas mais elevadas, as temperaturas médias podem ser bastante baixas, originando invernos mais longos e verões mais curtos. Solo elevado tende a ser mais ventoso, o que torna o inverno mais rigoroso. Este efeito influencia muitas vezes a diferença existente entre o tipo de flora e fauna predominante nessas zonas, em relação ao dos níveis inferiores.

As nuvens formam-se frequentemente por cima das colinas, já que estas forçam o ar a subir, quer quando o vento passa por cima delas, quer quando estas são aquecidas pelo sol. Quando o vento se desloca contra um lado da colina e o ar está húmido, a base da nuvem que se forma pode ser baixa o suficiente para cobrir o topo da colina. Este fenómeno observa-se em Sintra, especialmente no Verão. Consequentemente, o lado sotavento das colinas e montanhas é muito mais seco do que o lado do barlavento. Isto diz respeito só à precipitação e depende das altitudes.

À parte das inversões de temperatura, outra situação em que as colinas podem ser mais quentes que os vales, ocorre durante noites limpas com vento fraco, particularmente no Inverno. À medida que o ar arrefece, começa a descer a colina e reúne-se junto do solo no vale ou então formam-se “bolsas” onde quer que existam depressões no terreno. Este facto pode levar à ocorrência de nevoeiro e/ou à formação de geada.

### **1.3.2 Regiões costeiras**

O clima costeiro é influenciado tanto pela terra como pelo mar, entre os quais a costa forma uma fronteira. As propriedades térmicas da água são tais, e o seu volume tão grande, que o mar mantém uma temperatura relativamente constante de dia para dia, quando comparada com a da terra. O mar leva muito tempo para aquecer durante os meses de Verão e, inversamente, um longo tempo para arrefecer durante o Inverno.

Em latitudes temperadas, o clima da zona costeira depende mais da influência do mar do que da terra e a costa é normalmente mais amena que o interior durante o Inverno e mais fresca durante o Verão. No entanto, variações a curto prazo das variáveis meteorológicas podem ser consideráveis. De uma maneira geral, a temperatura perto da costa na zona do barlavento é semelhante à temperatura sobre o mar. Na zona de sotavento a variação é bem maior. Durante o Outono e o Inverno, a zona a barlavento na costa é mais propensa a aguaceiros do que durante a Primavera e o Verão. Por outro lado um nevoeiro que se forme no mar (nevoeiro de advecção) pode ser transportado até à costa e pode persistir por algum tempo, enquanto o aquecimento diurno faz com que este mesmo nevoeiro se dissipe em terra. A zona da costa abrigada do vento está quase sempre seca, uma vez que não é sempre afectada por aguaceiros ou nevoeiro vindos do mar e até mesmo chuva frontal pode ser significativamente reduzida. Quando está vento fraco durante o Verão, as brisas terrestres e marítima são predominantes e mantêm a precipitação afastada da costa, mantendo também qualquer neblina ou nevoeiro ao largo, nas águas do mar.

### **1.3.3 Florestas**

Zonas florestais a latitudes temperadas podem ser mais frias e menos ventosas do que as áreas descampadas circundantes, actuando as árvores como um “corta-vento” e a radiação solar incidente é filtrada pelas folhas e galhos dessas árvores. No entanto, estas diferenças variam dependendo da estação do ano (i.e. se as árvores têm folhas), bem como do tipo de vegetação (se é caduca ou persistente). Certos tipos de árvores são particularmente adequados para serem usados como corta-ventos e são plantadas como barreiras em torno de campos e de casas. Na serra de Sintra, na zonas de jardim do município com árvores de grande porte, este fenómeno de “corta-vento” é muitas vezes observado, pois o vento só se faz sentir no topo das árvores e não à superfície

### **1.3.4 Regiões Urbanas**

O aumento da densidade de edificação em áreas urbanas e a industrialização têm um efeito de degradação do microclima urbano. Devido ao crescimento exagerado de edifícios, considerações microclimáticas de carácter topográfico e de solo são frequentemente negligenciadas.

Como consequência do equilíbrio térmico, as temperaturas do ar, em zonas densamente urbanizadas são superiores às temperaturas das áreas rurais circundantes. Este fenómeno é conhecido como “ilha de calor”.

## ***1.4 Revisão bibliográfica***

Foi elaborado um levantamento bibliográfico sobre possíveis trabalhos que pudessem ter sido feitos para a região de Sintra. Existe demasiado ornamentado poucos estudos específicos sobre clima na região de Sintra. Os trabalhos encontrados são basicamente qualitativos, nomeadamente o trabalho da tese de Doutoramento de Boléo, J., (1940), um trabalho muito “poético”, que enferma da existência de poucas estações meteorológicas utilizadas na elaboração dessa mesma tese. A tese de Mestrado de Pereira, N., (1997) é um trabalho mais aplicado ao risco de incêndios em Sintra e que apenas utiliza dados de precipitação fornecidos pelas estações meteorológicas. Existe também uma breve descrição sobre o clima do parque Natural de Sintra – Cascais, no Atlas do parque Natural de Sintra – Cascais, onde estão representados os gráficos termopluiométricos de Cabo da Roca e Sintra / Pena. Existe também um trabalho de Alcoforado (1984) para Sintra, no âmbito dos ventos dominantes em torno da Serra de Sintra. O Plano Verde do concelho de Sintra (2005), é um relatório bastante completo no que diz respeito ao ordenamento do território do concelho e da paisagem da região.

No entanto verificou-se que existem muitos trabalhos a nível nacional que incluem referências a Sintra mas não desenvolvem microclimatologia específica.

## ***1.5 Abordagem seguida***

Neste trabalho, o estudo da microclimatologia do município de Sintra foi feito através da análise estatística de parâmetros meteorológicos observados, por oposição a uma abordagem de modelação física numérica com a qual não eram compatíveis a calendarização do protocolo SIAM Sintra. Foi desenvolvida uma metodologia que, tendo em conta a disponibilidade de estações meteorológicas em estudo, gerou mapas de evolução espacial dos parâmetros meteorológicos com diferentes resoluções (10 m e 1km). Serão mostradas aplicações possíveis deste método, desde o cálculo de índices de risco meteorológico de incêndio e de conforto térmico à aplicação a regionalização de cenários climáticos de Aquecimento Global.

## 2 Dados meteorológicos

### 2.1 Fontes e obtenção de dados

Foi feito o levantamento das estações disponíveis para a região do Município de Sintra. Para tal efectuou-se um pedido formal de dados meteorológicos observados, ao Instituto de Meteorologia (IM), os quais nos foram cedidos pelo Departamento de Meteorologia e Clima – Divisão de Observação Meteorológica e Clima. Também foram utilizados os dados meteorológicos disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do Instituto Nacional da Água (INAG) (<http://snirh.pt/>) (Tabela 2 e Figura 3).

Os dados meteorológicos obtidos para caracterizar o clima do município de Sintra englobam a precipitação acumulada diária (RR) em mm, a temperatura máxima diária (Tmax) e temperatura mínima diária (Tmin) em °C. No entanto, utilizou-se a amplitude térmica ( $AT = Tmax - Tmin$ ) e a Temperatura Média ( $T = (Tmax + Tmin) / 2$ ), visto ser um parâmetro mais estável, evitando assim trabalhar com valores com extremos. No total, foram consideradas 10 estações para o estudo da climatologia da região de Sintra.

Tabela 2 – Estações meteorológicas utilizadas para a região de Sintra.

Estação	Lat. (°N)	Long. (°W)	Distância à costa (km)	Altitude (km)	Período utilizado	Nº. Anos	Instituição	Dados disponíveis
<b>Azenhas do Mar</b>	38.8321	6.4514	1.49	0.088	1947-1967	21	INAG	RR
<b>Barragem Rio da Mula</b>	38.7627	9.4224	5.90	0.155	1990-2002	13	INAG	RR
<b>Cabo da Roca</b>	38.7833	9.5000	0.00	0.142	1961-1990	30	IM	AT, T, RR
<b>Cheleiros</b>	38.8905	9.3341	9.10	0.120	1980-2007	28	INAG	RR
<b>Colares</b>	38.8000	9.4500	2.48	0.055	1970-1996	27	IM	AT, T, RR
<b>Linhó</b>	38.7678	9.3810	9.68	0.199	1990-2002	13	INAG	RR
<b>Quinta do Pisão</b>	38.7337	9.4236	4.37	0.089	1980-2001	22	INAG	RR
<b>Sintra Granja</b>	38.8333	9.3333	11.97	0.134	1961-1990	30	IM	AT, T, RR
<b>Sintra Pena<sup>1</sup></b>	38.7833	9.3833	9.05	0.471	1951-1973	23	IM	AT, T, RR
<b>Sintra Vila</b>	38.8000	9.3833	9.02	0.200	1951-1980	30	IM	AT, T, RR

<sup>1</sup> Para Sintra Pena e Sintra Vila, os dados meteorológicos foram obtidos através das médias climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste” correspondentes a 1951-1980.



A Tabela 3 apresenta com maior detalhe os períodos disponíveis para cada estação. É possível verificar, que um dos principais problemas encontrados neste estudo é que os períodos de registos para cada estação não são consistentes.

## 2.2 *Análise exploratória dos dados*

### 2.2.1 Climatologia específica de cada estação meteorológica

É importante conhecer a caracterização climática de cada estação meteorológica, antes de avançar para a fase de construção de modelos. Assim, apresenta-se de seguida, a climatologia específica de cada estação.

- **Azenhas do Mar**

A estação meteorológica das Azenhas do Mar pertence à base de dados do INAG. Deste modo o parâmetro meteorológico disponível para esta estação é a precipitação.

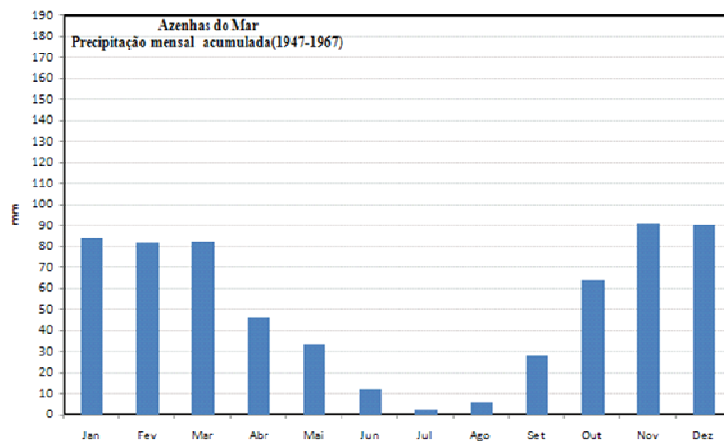


Figura 4 – Precipitação acumulada mensal acumulada (mm) relativa ao período 1947-1967, para Azenhas do Mar.

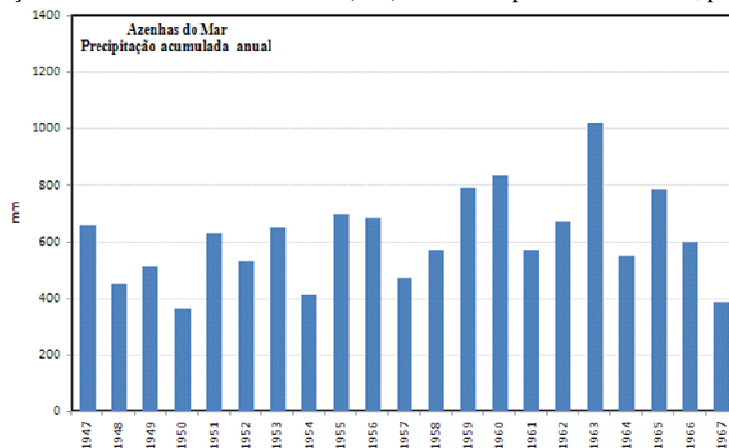


Figura 5 – Precipitação acumulada anual (mm) de 1947 a 1967, para Azenhas do Mar.

Da análise da Figura 4, é possível verificar que os meses de maior precipitação para o período de 1947 a 1967 foram os meses de Novembro e Dezembro com valores de precipitação de 91 mm e 90 mm respectivamente. Os meses de Verão, são como esperado, os meses com menor precipitação.

Analisando a variabilidade interanual da precipitação anual (Figura 5) para a estação de Azenhas do Mar, verificou-se que o coeficiente de variação (relação entre o desvio padrão da série de dados e a média da série) foi de 26, o que é um valor bastante elevado, embora típico num clima Mediterrâneo. Azenhas do Mar é, juntamente com Cabo da Roca e Cheleiros, uma das estações meteorológicas com valores de precipitação acumulada mensal e anual mais baixo.

- **Barragem Rio da Mula**

A estação meteorológica da Barragem Rio da Mula também pertence à base de dados do INAG. O parâmetro meteorológico disponível para esta estação é a precipitação.

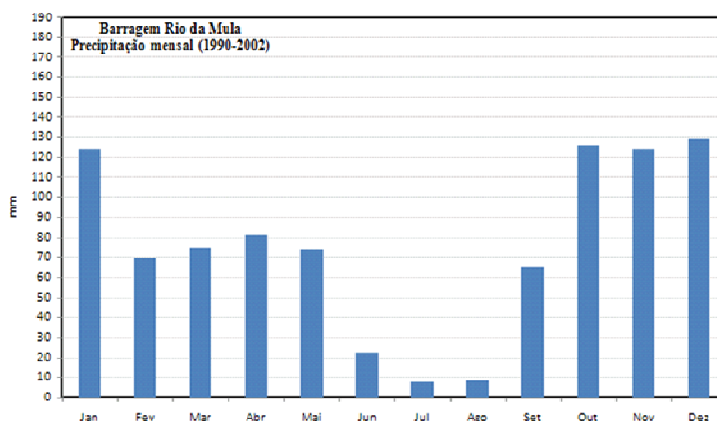


Figura 6 – Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1990-2002, para Barragem Rio da Mula.

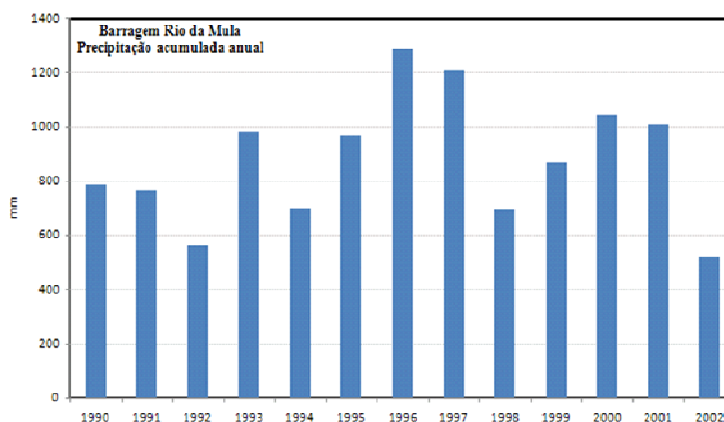


Figura 7 – Precipitação acumulada anual (mm) de 1990 a 2002, para Barragem rio da Mula.

Da análise da Figura 6, é possível verificar que os meses de maior precipitação para o período de 1990 a 2002 foram os meses de Outubro a Janeiro. A estação Barragem Rio da Mula é uma

das estações que apresenta valores mais elevados de precipitação acumulada mensal e anual. Para a precipitação acumulada anual (Figura 7), os anos com maior valor de precipitação foram o ano de 1966, com 1288 mm, seguindo-se 1967, com 1211 mm. O coeficiente de variação para esta estação é de 27.

- **Cabo da Roca**

A estação meteorológica do Cabo da Roca também pertence à base de dados do IM. Os parâmetros meteorológicos disponíveis para esta estação são a precipitação, a temperatura média, amplitude térmica, vento m/s, humidade relativa e insolação.

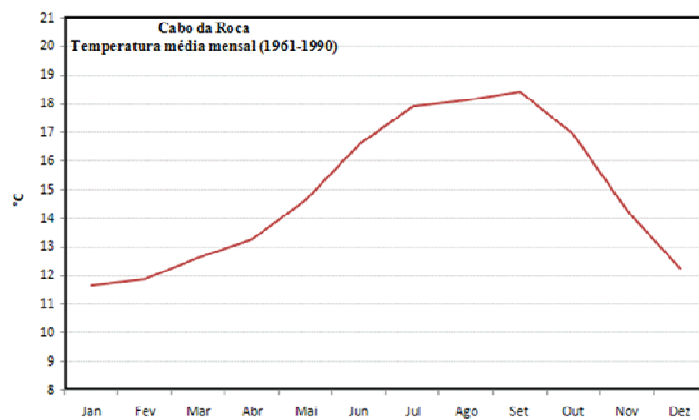


Figura 8 – Temperatura média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Cabo da Roca.

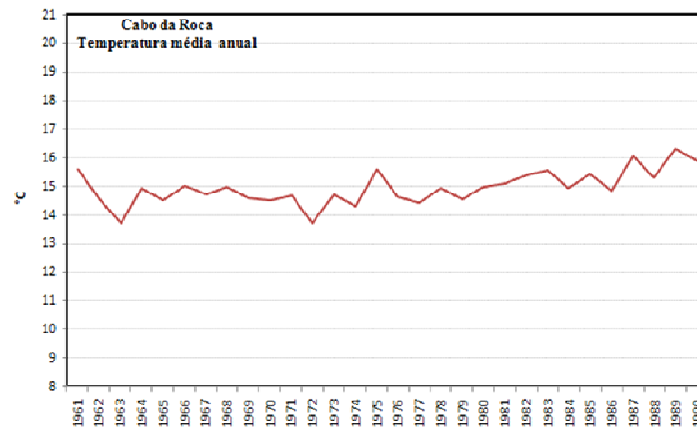


Figura 9 – Temperatura média anual de 1961 a 1990, para Cabo da Roca.

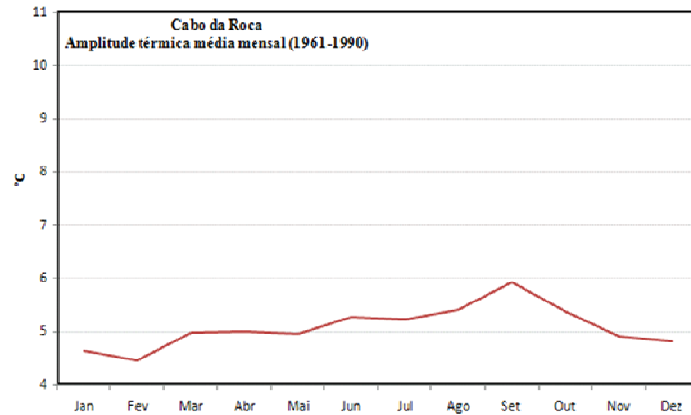


Figura 10 – Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1961-1990, para Cabo da Roca.

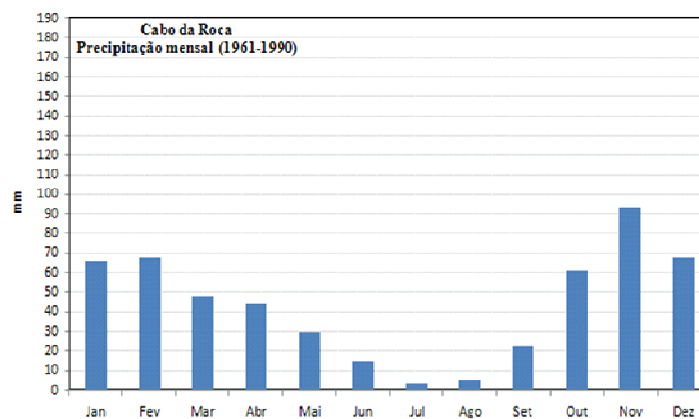


Figura 11 – Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1961-1990, para Cabo da Roca.

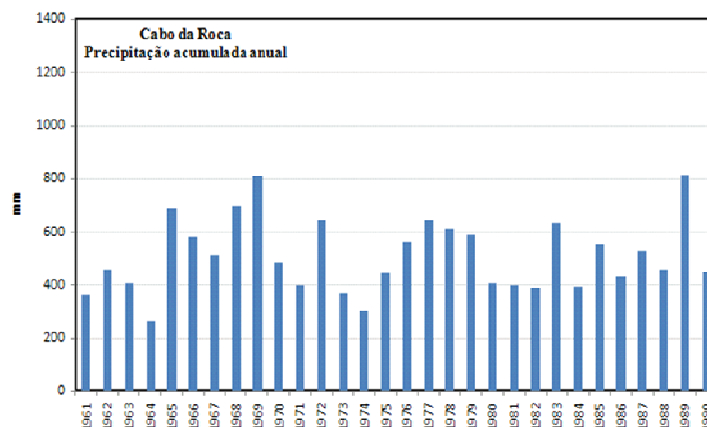


Figura 12 – Precipitação acumulada anual de 1961 a 1990, para Cabo da Roca.

Da análise das Figuras 8 a 12, verificou-se que para a estação de Cabo da Roca, a temperatura média mensal mais elevada para o período de 1961 a 1990 registou-se nos meses de Agosto (18.2°C) e Setembro (18.4 °C). Analisando a variabilidade anual da temperatura média anual (Figura 12), apresenta um coeficiente de variação de 7%. Para a amplitude térmica média

mensal, o valor mais elevado ocorreu em Setembro e o valor mais baixo ocorreu em Janeiro e Fevereiro. Para a precipitação acumulada anual (Figura 12), o ano com maior valor de precipitação foram os anos de 1969 e 1989, sendo o ano de 1964 o que apresenta o menor valor. O coeficiente de variação para a precipitação acumulada anual é de 27%.

- **Cheleiros**

A estação meteorológica de Cheleiros pertence à base de dados do INAG. A precipitação é o parâmetro disponível para esta estação.

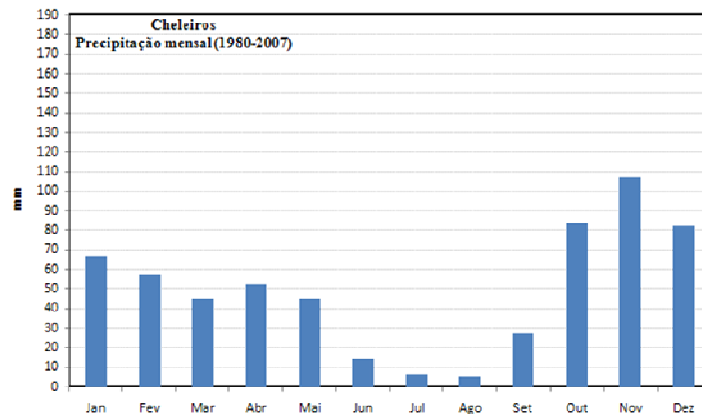


Figura 13 – Precipitação acumulada mensal (mm) relativa ao período 1980-2007, para Cheleiros.

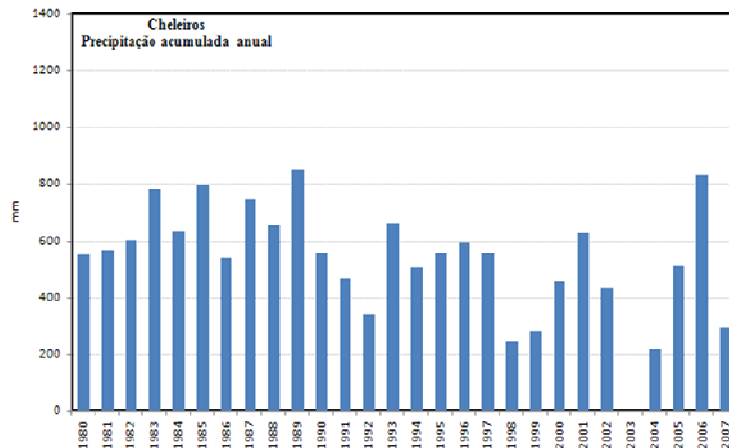


Figura 14 – Precipitação acumulada anual de 1980 a 2007, para Cheleiros.

Pela análise da Figura 13, observou-se que o mês de Novembro apresentou o valor mais elevado de precipitação acumulada para o período de 1980 a 2007, sendo os meses de Julho e Agosto os que registaram os valores mais baixos de precipitação acumulada. O coeficiente de variação para a precipitação acumulada anual é de 32%. Na Figura 14, é possível verificar que os anos com o valor de precipitação mais elevado foram 1989 e 2006. Relativamente ao valor mais baixo de precipitação, coube ao ano de 2004, com apenas 216 mm.

- **Colares**

A estação meteorológica de Colares pertence à base de dados do IM. A temperatura média em, a amplitude térmica e a precipitação, são os parâmetros disponíveis para esta estação.

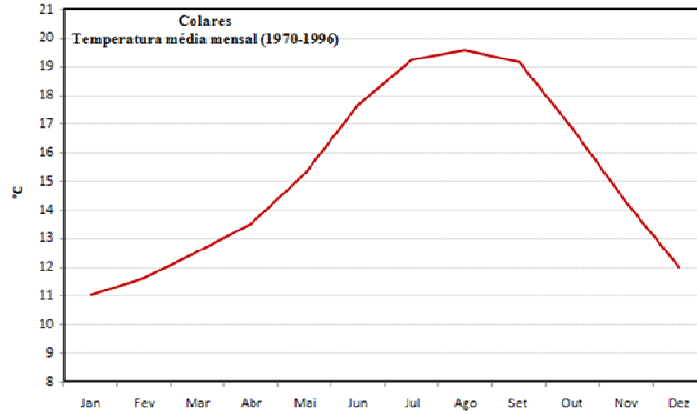


Figura 15 – Temperatura média mensal relativa ao período de 1970 – 1996, para Colares.

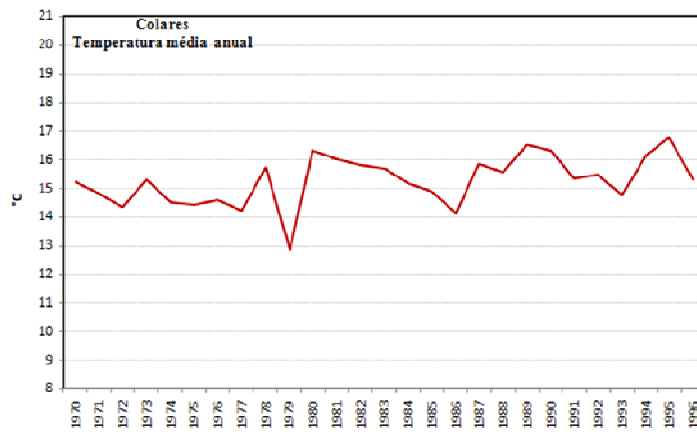


Figura 16 – Temperatura média anual de 1970 a 1996, para Colares.

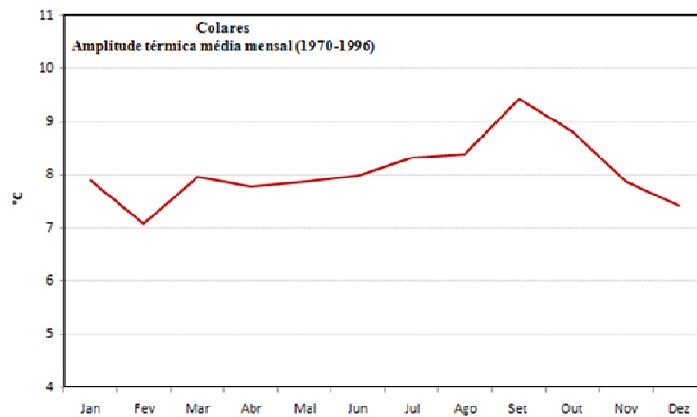


Figura 17 – Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1970 a 1996, para Colares.

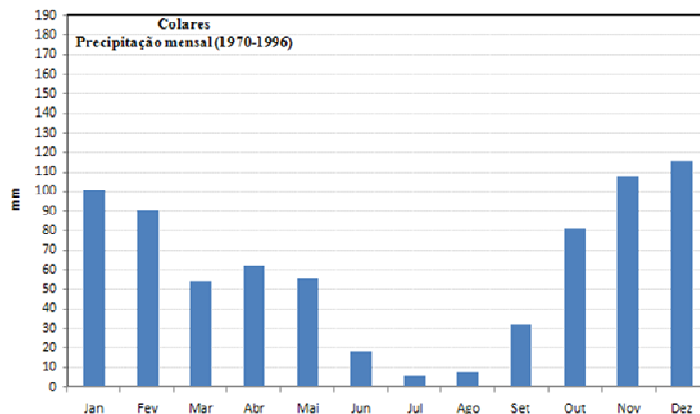


Figura 18 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1970 – 1996, para Colares.

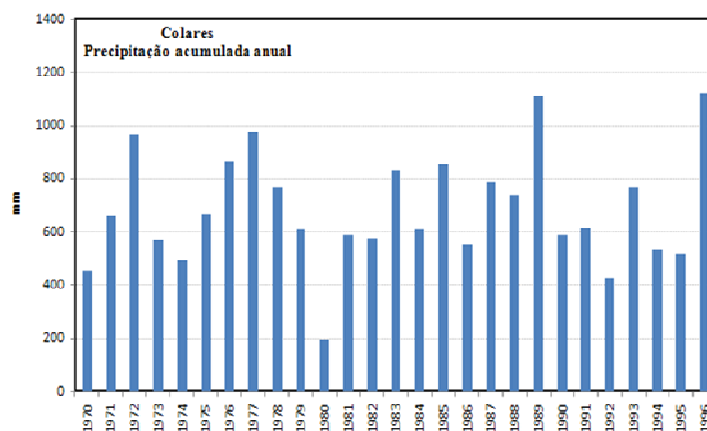


Figura 19 – Precipitação acumulada anual de 1970 a 1996, para Colares.

Da análise da Figura 15, observou-se que o mês com valor de temperatura média mais elevada para o período de 1970 a 1996 foi o mês de Agosto, sendo o mês de Janeiro o que registou a temperatura média mais baixa. Através da análise da Figura 16, é possível verificar que os anos com valores mais elevados de temperatura média anual foram 1980, 1989 e 1995, o ano com valor mais baixo de temperatura média anual foi o ano 1979. Para a temperatura média anual, os desvios em relação à média atingem em média 6% do valor desta. Pela análise da Figura 17, verificou-se que o mês com um valor de amplitude térmica média mensal mais elevado para o período 1970 – 1996, é o mês de Setembro com 9.4°C, sendo os meses de Fevereiro e Dezembro os meses de menor valor, 7.1°C e 7.4°C respectivamente. Para a precipitação mensal relativa ao período de 1970 a 1996 (Figura 18), verificou-se que os meses com valores de precipitação mais elevados foram, Novembro e Dezembro, sendo os meses de Julho e Agosto os que registaram os valores mais baixos. Da análise da Figura 19, observou-se que os anos de 1989 e 1996 foram os anos com valores mais elevados de precipitação, sendo o ano de 1980 o ano com o valor mais baixo. O valor do coeficiente de variação para a precipitação acumulada anual é de 31%.

- **Linhó**

A estação meteorológica de Linhó pertence à base de dados do INAG. O parâmetro disponível para esta estação é a precipitação.

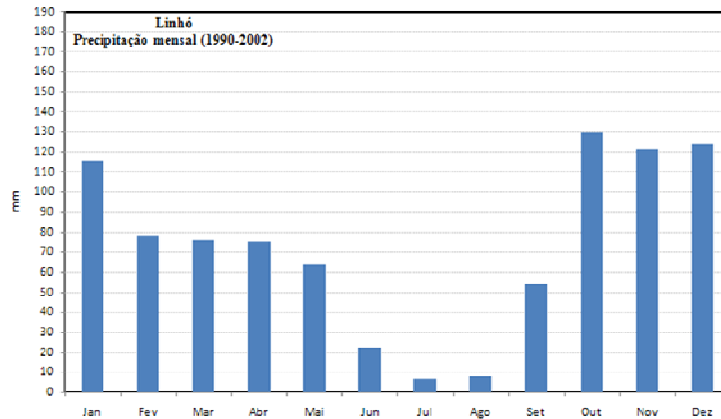


Figura 20 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1990 – 2002, para Linhó.

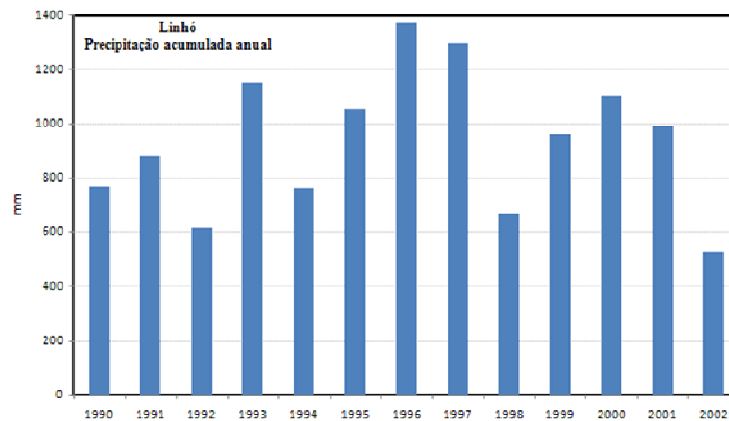


Figura 21 – Precipitação acumulada anual de 1990 a 2002, para Linhó.

Pela análise da Figura 20 observou-se que os meses de Outubro (130mm), Novembro (121mm), Dezembro (124mm) e Janeiro (115mm) foram os meses que apresentaram os valores mais elevados para o período de 1990 a 2002, sendo os meses de Julho (7 mm) e Agosto (8 mm) os que registaram os valores mais baixos de precipitação. Na Figura 21, é possível verificar que os anos com o valor de precipitação mais elevado foram 1996 (1373mm) e 1997 (1300mm), relativamente ao valor mais baixo de precipitação coube aos anos de 1992 com 616 mm e 2002 com 526 mm. O valor do coeficiente de variação para a precipitação acumulada anual foi de 28%.

- **Quinta do Pisão**

A estação meteorológica de Quinta do Pisão pertence à base de dados do INAG. O parâmetro disponível para esta estação é a precipitação.

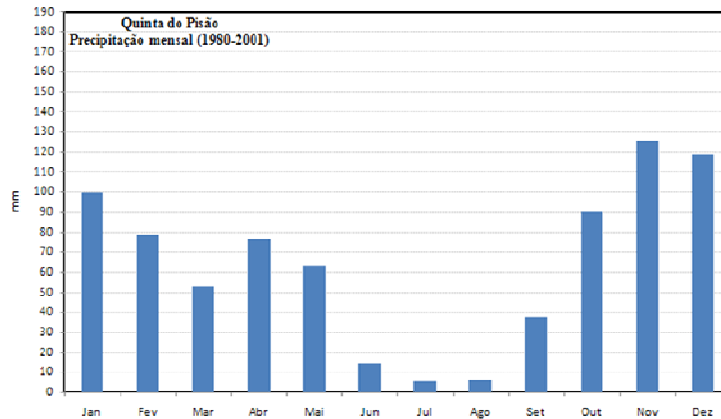


Figura 22 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1980 – 2001, para Quinta do Pisão.

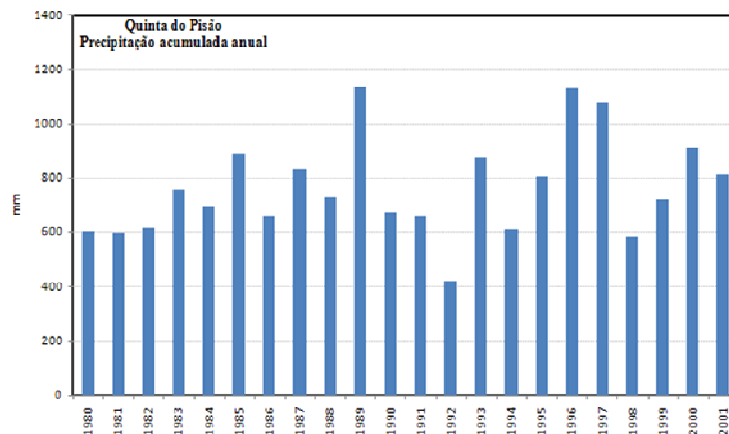


Figura 23 – Precipitação acumulada anual de 1980 a 2001, para Quinta do Pisão

Pela análise da Figura 22, observou-se que os meses de Novembro e Dezembro foram os meses que apresentaram os valores mais elevados para o período de 1980 a 2001 e os meses com os valores mais baixos foram Julho e Agosto. Na Figura 23, é possível verificar que os anos com o valor de precipitação mais elevado foram 1989, 1996 e 1997, relativamente ao valor mais baixo de precipitação coube ao ano de 1992 com 419. O coeficiente de variação para a precipitação acumulada anual é de 24%.

- **Sintra / Granja**

A estação meteorológica de Sintra / Granja pertence à base de dados do IM. Os parâmetros meteorológicos disponíveis para esta estação são a precipitação, a temperatura média e amplitude térmica.

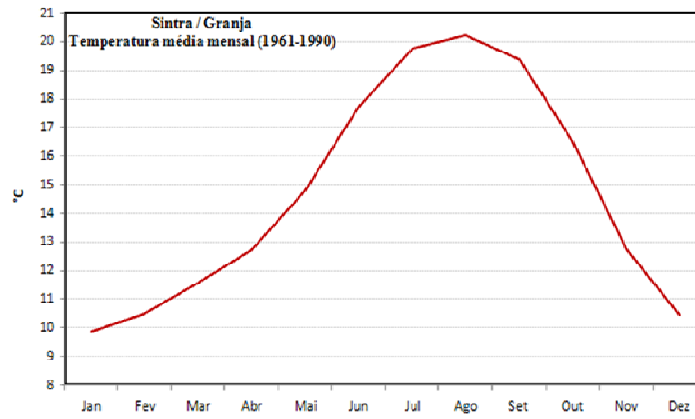


Figura 24 – Temperatura média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.

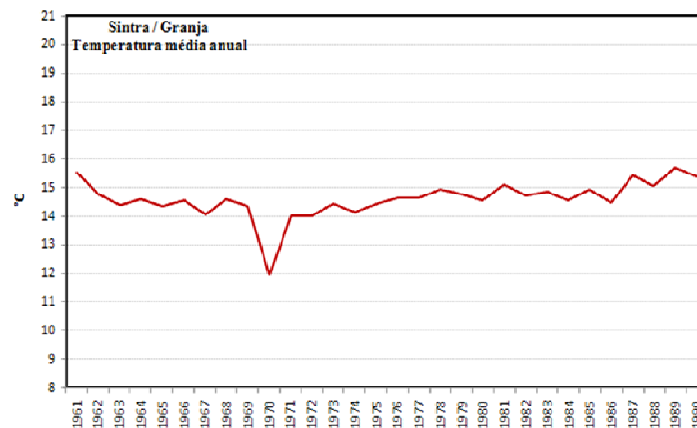


Figura 25 – Temperatura média anual de 1961 a 1990, para Sintra Granja.

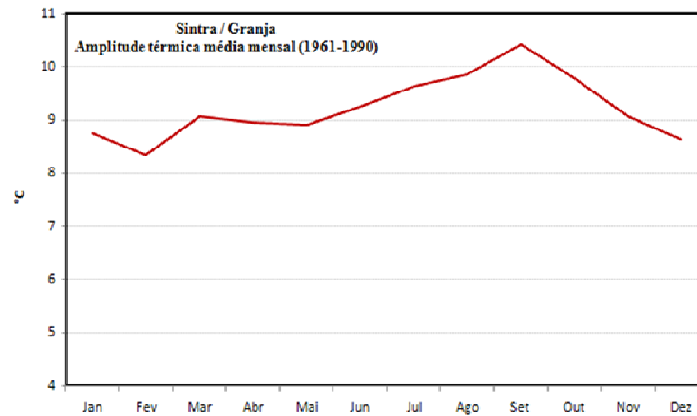


Figura 26 – Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.

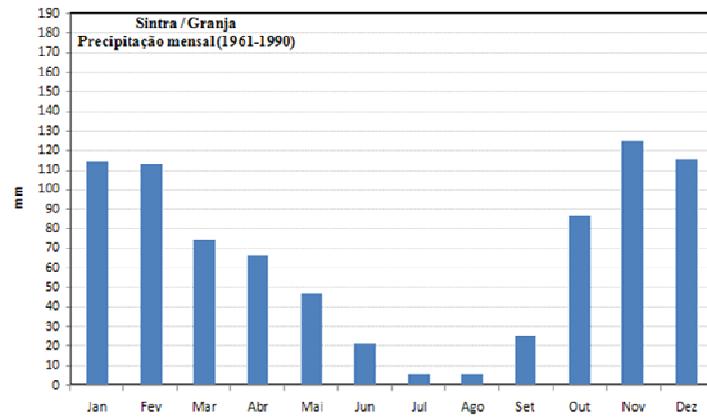


Figura 27 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1961 – 1990, para Sintra Granja.

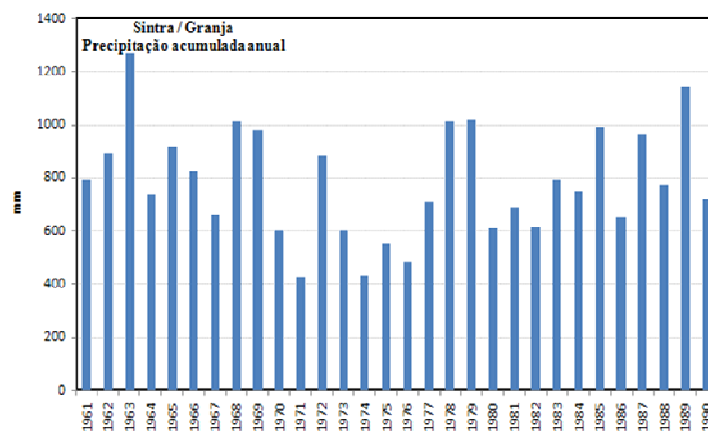


Figura 28 – Precipitação acumulada anual de 1961 a 1990, para Sintra Granja.

Da análise das Figuras 24 a 28, verificou-se que para a estação de Sintra / Granja, a temperatura média mensal mais elevada para o período de 1961 a 1990, registou-se no mês de Agosto. A temperatura média mensal mais baixa ocorreu no mês de Janeiro. Para a temperatura média anual, os anos com valores mais elevados foram 1961, 1987 e 1989, sendo que o valor mais baixo, aconteceu no ano de 1970. O valor do coeficiente de variação para a temperatura média anual é de 5%. Para a amplitude térmica média mensal o valor mais elevado ocorreu em Setembro e o valor mais baixo ocorreu no mês de Fevereiro. É possível verificar que os meses de maior precipitação para o período 1961 – 1990 foram os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Para a precipitação acumulada anual (Figura 28), os anos com valor de precipitação mais elevado foram os anos de 1963 com 1269 mm e 1989 com 1142mm, sendo os anos de 1971 (424mm), 1974 (427mm) e 1976 (485) os anos com valores mais baixos de precipitação acumulada anual. Para a precipitação acumulada anual, o coeficiente de variação é de 27%.

- **Sintra / Pena**

A estação meteorológica Sintra / Pena pertence à rede do IM. Os parâmetros meteorológicos disponíveis para esta estação são a precipitação, a temperatura média e amplitude térmica.

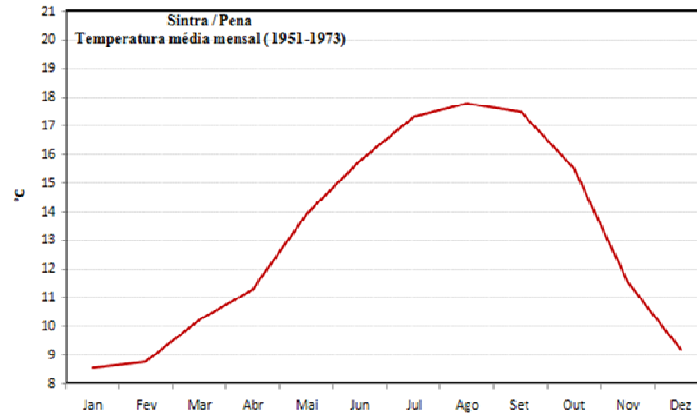


Figura 29 – Temperatura média mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.

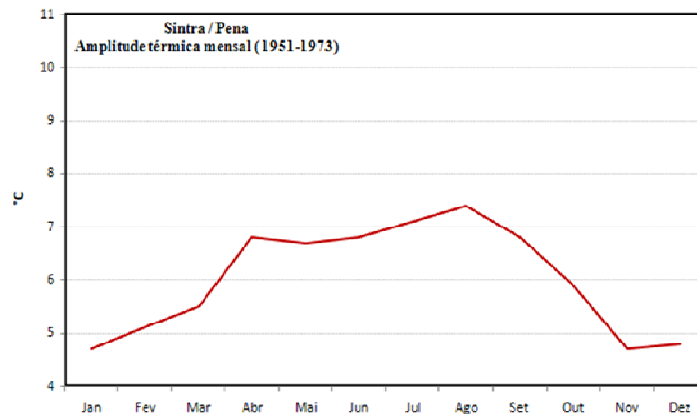


Figura 30 – Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.

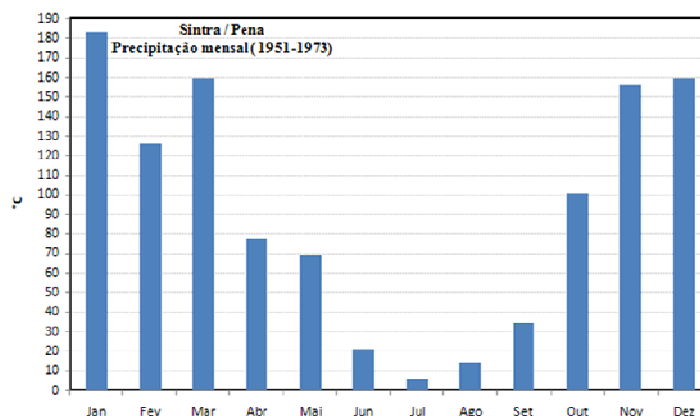


Figura 31 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1951 – 1973, para Sintra Pena.

Da análise da Figura 29, verificou-se que a temperatura média mensal mais elevada para o período 1951 a 1973 se registou no mês de Agosto (17.8°C). A temperatura média mensal mais baixa ocorreu no mês de Janeiro com 8.5°C. Para a amplitude térmica média mensal o valor

mais elevado ocorreu em Agosto (7.4°C) e os valores mais baixos ocorreram em Janeiro (4.7°C), Novembro (4.7°C) e Dezembro (4.8°C). É possível verificar que o mês de maior precipitação para o período 1951 – 1973 foi o mês de Janeiro com 183 mm, sendo o mês de Julho o mês com o valor mais baixo (5mm).

- **Sintra / Vila**

A estação meteorológica de Sintra / Vila pertence à rede do IM.

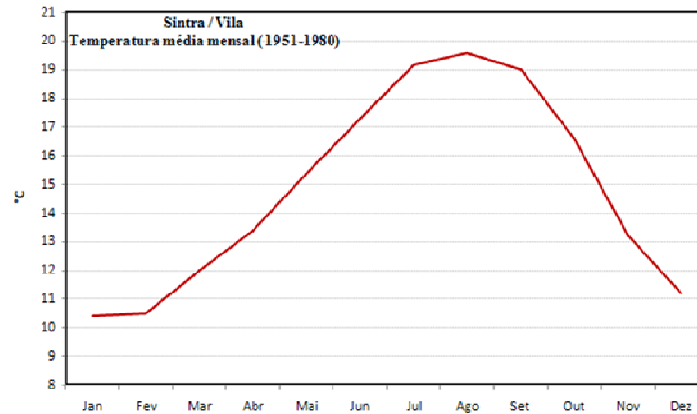


Figura 32 – Temperatura média mensal relativa ao período 1951 – 1980, para Sintra Vila.

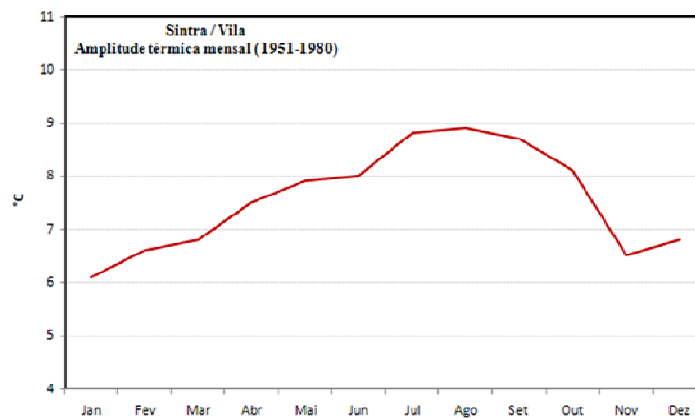


Figura 33 – Amplitude térmica média mensal relativa ao período 1951 - 1980, para Sintra Vila.

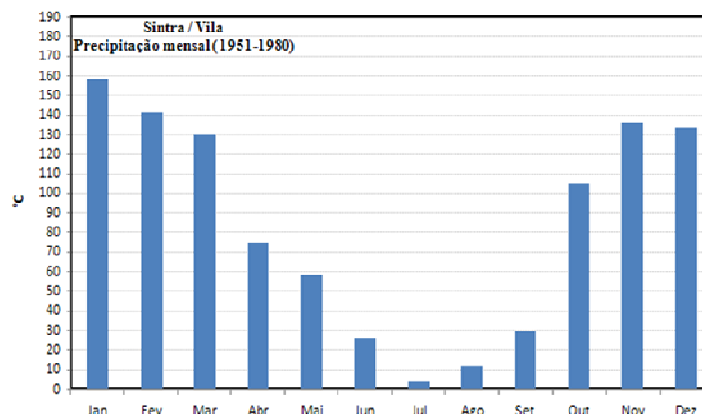


Figura 34 – Precipitação acumulada mensal relativa ao período 1951 - 1980, para Sintra Vila.

Da análise da Figura 32, observou-se que o mês com valor de Temperatura média mais elevada para o período de 1951 a 1980 foi o mês de Agosto com  $19.6^{\circ}\text{C}$ , sendo o mês de Janeiro o que registou a Temperatura média mais baixa ( $10.4^{\circ}\text{C}$ ). Pela análise da Figura 33, verificou-se que os meses com um valor de Amplitude térmica média mensal mais elevado para o período de 1951 a 1980, foram o mês de Julho com  $8.8^{\circ}\text{C}$ , Agosto com  $8.9^{\circ}\text{C}$  e Setembro com  $8.7^{\circ}\text{C}$ , sendo o mês de Janeiro o mês com valor mais baixo,  $6.1^{\circ}\text{C}$ . Para a Precipitação acumulada mensal (Figura 34), o mês com valor mais elevado foi Janeiro (158mm) sendo o mês de Julho (4mm) o que registou o valor mais baixo.

De um modo geral, Sintra / Granja e Colares são as estações meteorológicas com valores mais elevados de temperatura média e amplitude térmica, sendo Cabo da Roca a estação que apresenta os valores mais baixos. Para a precipitação, as estações que apresentam valores mais elevados são Sintra / Pena, Sintra / Granja, Quinta do Pisão e Barragem Rio da Mula, sendo as estações de Cabo da roca, Azenhas do Mar e Cheleiros, as estações que apresentam valores mais baixos de precipitação.

### 2.2.2 Comparação dos dados meteorológicos entre estações

De modo a verificar a existência de correlação espacial entre os parâmetros meteorológicos, são apresentados de seguida gráficos conjuntos de precipitação acumulada anual, precipitação acumulada mensal, temperatura média anual com as temperaturas mínimas e máximas anuais e a temperatura média mensal para as estações de Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990) onde existe sobreposição de anos (1970 - 1990), relativamente aos períodos de cada estação (Figuras 35 e 38).

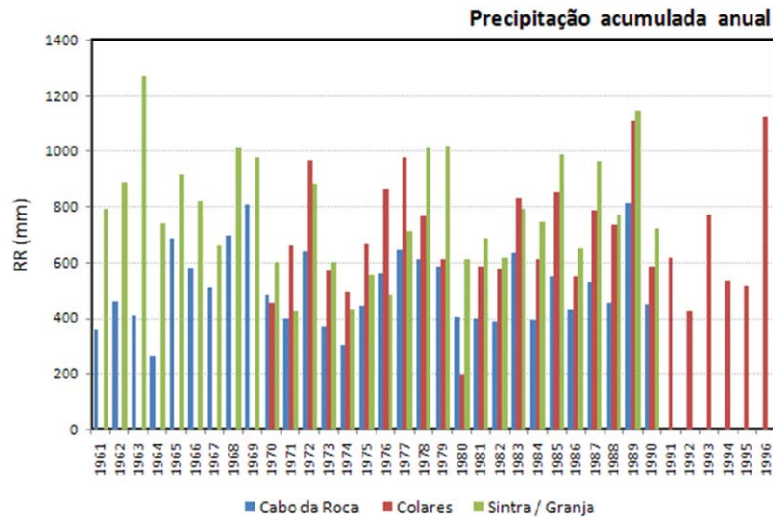


Figura 35 – Precipitação acumulada anual para Cabo Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).

Da análise da Figura 35 e apesar de Colares não ter o mesmo período de dados que Cabo da Roca e Sintra / Granja, é possível verificar que existem valores mais elevados de precipitação acumulada para Sintra / Granja, sendo Cabo da Roca a estação com valores menores.

A Tabela 4 apresenta um estudo estatístico feito para a precipitação acumulada anual, relativamente às três estações meteorológicas. Foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos:

A média é definida por (2.1) onde  $x_i$  são os valores da série de dados e N é o número total dos dados.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.1)$$

O desvio médio é definido por (2.2) e retorna a média dos desvios absolutos da série em relação à média. É uma das medidas de variabilidade da série.

$$\frac{1}{N} \sum |x - \bar{x}| \quad (2.2)$$

O desvio padrão é dado por (2.3), e representa outra medida que quantifica a dispersão dos dados em relação à média.

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(N - 1)}} \quad (2.3)$$

A correlação cruzada é dada por (2.4) e determina a relação média entre as flutuações de séries em torno da respectiva média. O coeficiente de variação é definido por  $\frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}}$ . Note-se que estas medidas de variabilidade requerem que as séries examinadas sejam estacionárias.

$$Corr (X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (2.4)$$

Tabela 4 – Estudo estatístico exploratório da precipitação, para as estações meteorológicas Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).

	Cabo da Roca	Colares	Sintra / Granja
Média	508 mm	682 mm	782 mm
Média no período de sobreposição 1971-1990	499 mm	687 mm	733 mm
Desvio médio	115 mm	169 mm	168 mm
Desvio padrão	139 mm	212 mm	208 mm
Coefficiente de variação	0.27	0.31	0.27
Mínimo da série	263 mm	195 mm	424 mm
Máximo da série	812 mm	1122 mm	1269 mm
Correlação com Cabo da Roca no período de sobreposição	1	0.8	0.7

Os valores da correlação entre as estações mostram que existe correlação espacial no caso da precipitação.

É apresentada na Figura 36 a Precipitação mensal para Cabo Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990). A Figura 37 apresenta a Temperatura média, máxima e mínima anual para os períodos das três estações utilizadas.

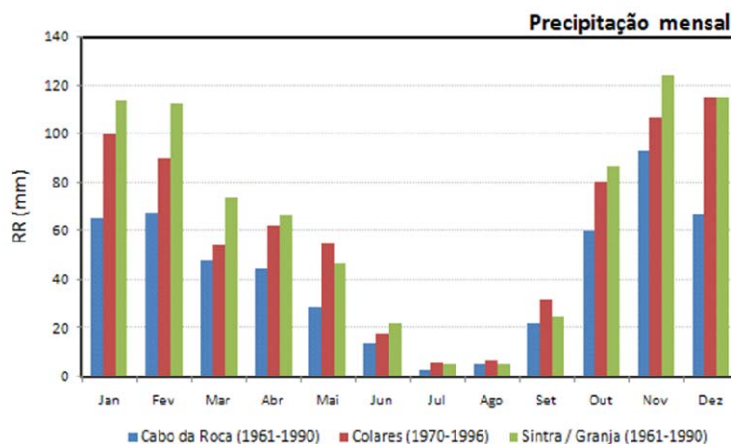


Figura 36 – Precipitação acumulada mensal para Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).

Pela Figura 36 é possível verificar que é a estação de Sintra / Granja, que apresenta meses com maior precipitação relativamente às outras estações meteorológicas, apenas nos meses de Maio, Julho, Agosto e Setembro a estação de Colares foi superior a Sintra / Granja. No entanto pela análise da Figura 36, é possível verificar que existe correlação sazonal entre as estações.

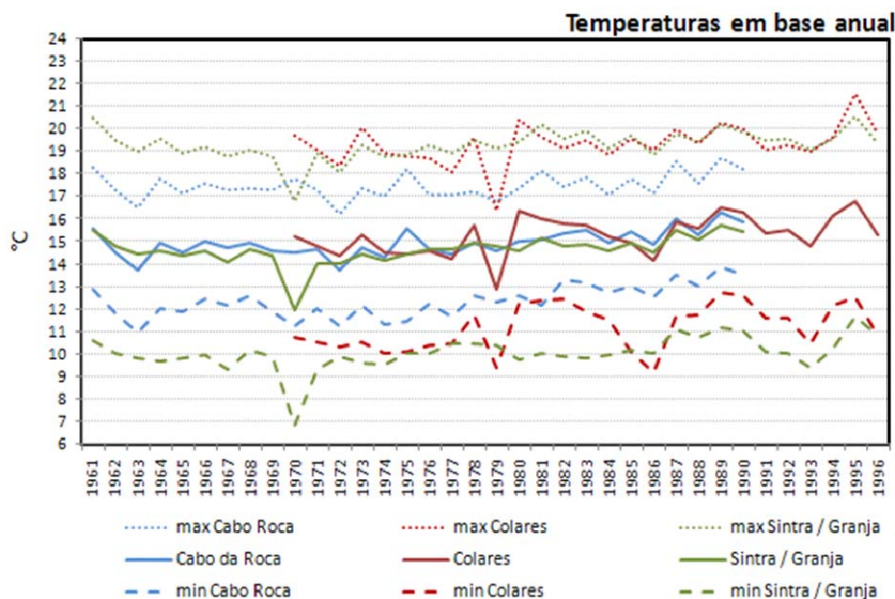


Figura 37 – Temperaturas média, máxima e mínima anual para as estações de Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).

Da análise da Figura 37 é possível verificar a estação de Cabo da Roca apresenta valores menos elevados de Temperatura mínima e máxima relativamente às outras duas estações, sendo a estação de Sintra / Granja a que apresenta uma maior amplitude térmica.

A Tabela 5 apresenta um estudo estatístico feito para a temperatura média anual, relativamente às três estações meteorológicas.

Tabela 5 – Estudo estatístico da temperatura média, para as estações meteorológicas Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990), onde o período de sobreposição das três estações corresponde a 1970 – 1990.

	Cabo da Roca	Colares	Sintra / Granja
Média	14.95 °C	15.26 °C	14.61 °C
Média no período de sobreposição 1971-1990	15.05 °C	15.15 °C	14.62 °C
Desvio médio	0.46 °C	0.68 °C	0.41 °C
Desvio padrão	0.60 °C	0.87 °C	0.66 °C
Coefficiente de variação	0.04	0.06	0.05
Mínimo da série	13.7 °C	12.9 °C	12.0 °C
Máximo da série	16.3 °C	16.8 °C	15.7 °C
Correlação (*) com Cabo da Roca no período de sobreposição	1	0.63	0.62

A temperatura média mensal para as estações de Cabo da Roca, Colares e Sintra / Granja, encontra-se representada pela Figura 38.

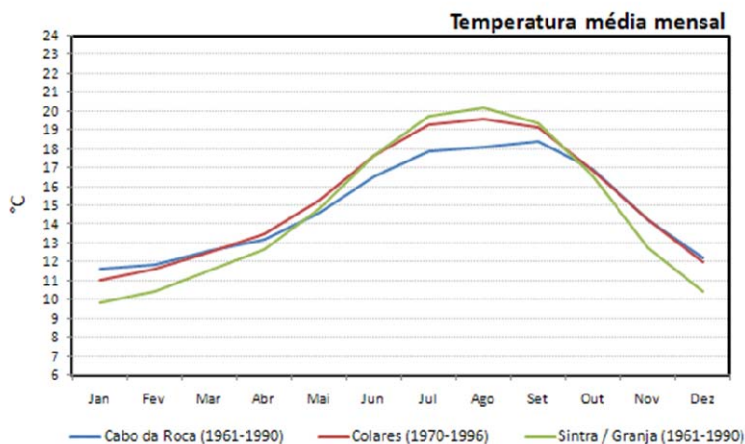


Figura 38 – Temperatura média mensal para as estações de Cabo da Roca (1961 – 1990), Colares (1970 – 1996) e Sintra / Granja (1961 – 1990).

É possível verificar pela análise da Figura 38, que Sintra / Granja é a estação que apresenta o valor de Temperatura média mais elevado em Agosto e mais baixo nos meses de Janeiro e Dezembro.

O estudo da climatologia de cada estação e esta última comparação entre estações, teve como objectivo a verificação de uma estação representativa para todo o município. A estação meteorológica escolhida foi Sintra / Granja, por ser uma estação que embora tenha valores característicos da sua localização, não se afasta em demasiado das outras estações, daí ter sido escolhida para representar a região.

### 2.2.3 Regiões: Zona Costeira, Zona Central e Zona Norte

Como já foi referido anteriormente existem poucas estações meteorológicas no município de Sintra (Figura 3). Numa primeira fase deste trabalho, a abordagem prevista incluía a separação do Município por regiões: a Zona Costeira ficaria representada apenas por duas estações, Cabo da Roca e Azenhas do Mar. A Zona mais a Centro ficaria representada por seis estações, Colares, Sintra Vila, Sintra Pena, Barragem Rio da Mula, Linhó e Quinta do Pisão; e a Zona Norte teria como estações representativas, Cheleiros e Sintra Granja.

Este método de análise foi abandonado devido à existência de poucas estações para definir a Zona Norte e Zona Costeira. Foram pois utilizadas as 10 estações existentes para o Município para desenvolver os modelos no Capítulo 3.

## 3 Aplicação da metodologia

### 3.1 *Abordagem geral*

Para caracterizar e modelar o clima da região de Sintra os parâmetros básicos estudados foram a temperatura e precipitação. Estes são os parâmetros acerca dos quais se dispunha de mais dados, tanto em número de estações como em duração dos registos. Existem basicamente três processos de obter uma descrição microclimática: modelos físicos numéricos, dados de detecção remota (satélite) e modelação de registos de estações meteorológicas. A calendarização do Projecto, com prazo de execução de um ano apenas, excluía na prática os dois primeiros processos.

Ainda assim a modelação microclimática com base em dados de estações terrestres pode ser feita com várias abordagens. Por exemplo, pode usar-se a interpolação espacial directa de dados. No entanto, no caso de Sintra os métodos mais simples – como a interpolação com pesos proporcionais ao inverso de um potência da distância – corriam o risco de criar descrições irrealistas, dada a presença das Serras de Sintra e da Carregueira e do oceano, além de que a inexistência de estações do lado do oceano criava um problema na descrição do clima na costa. Outros métodos de estimação espacial mais sofisticados que poderiam contornar este problemas, como a krigagem anisotrópica, necessitam de criar um modelo de variação espacial que necessitam de usar muito mais estações do que as efectivamente disponíveis no caso presente.

Assim, considerando todos os constrangimentos disponíveis, o caminho escolhido foi o de desenvolver modelos regressivos em função de parâmetros orográficos. Foi inicialmente considerado o trio clássico latitude, longitude e altitude, mas finalmente foi seleccionada a distância à costa e a altitude. Uma vez obtidos estes modelos regressivos, um modelo digital do terreno (ou DTM, sigla da expressão inglesa correspondente Digital Terrain Model) pode ser usado para obter uma cartografia detalhada para toda a região, com a resolução do DTM subjacente. Foram examinados desta forma os valores climáticos mensais de temperatura média e amplitude térmica. Embora os registos consistam em temperatura mínima e máxima, considerou-se preferível trabalhar com a média e amplitude uma vez que as suas variações no espaço de Sintra prestavam-se mais à modelação e eram mais compreensíveis do ponto de vista físico. Por outro lado, as incertezas na modelação em separado da temperatura mínima e máxima podiam eventualmente resultar em viés significativo ao reconstituir a temperatura média, o que era inconveniente pois este parâmetro é o mais crucial no contexto do Projecto. Foi também examinada a precipitação acumulada mensal.

Um problema prático adicional na modelação diz respeito à existência de falhas nos registos de observações em cada estação e de diferentes períodos de registo em cada estação – cf. Tabela 2. A existência de variabilidade interanual e de tendências relativas ao Aquecimento Global vem ainda complicar a situação. O facto é que no caso presente não seria possível escolher apenas o

período em que existem simultaneamente registos em todas as estações, com o risco de se ficar apenas com registos de um período tão curto que não seria representativo do Clima. Assim, houve que considerar todos os registos existentes com ao menos 5 anos de dados e assumindo que as tendências são pequenas.

Mesmo com esta abordagem simplificada o número de estações continua a ser bastante reduzido e em particular cria problemas na validação dos modelos obtidos. De facto não é possível usar a estratégia clássica de seleccionar um conjunto de estações para a construção e calibração dos modelos, e reservar outras para a sua validação. Em alternativa foram usados os primeiros 80% do período de dados disponível para cada estação para a criação e calibração dos modelos, sendo os restantes 20 % utilizados para validar o modelo. Esta divisão encontra-se detalhada na Tabela 6.

Tabela 6 – Divisão dos períodos de dados disponíveis para cada estação meteorológica.

<b>Estação</b>	<b>Período disponível</b>	<b>Período de calibração</b>	<b>Período de validação</b>
<b>Azenhas do Mar</b>	1947-1967 (21 anos)	1947 – 1963 (17 anos)	1964 – 1967 (4 anos)
<b>Barragem Rio da Mula</b>	1990-2002 (13 anos)	1990 - 1990 (10 anos)	2000 – 2002 (3 anos)
<b>Cabo da Roca</b>	1961-1990 (30 anos)	1961 – 1984 (24 anos)	1985 – 1990 (6 anos)
<b>Cheleiros</b>	1980-2007 (28 anos)	1980 – 2001 (22 anos)	2002 – 2007 (6 anos)
<b>Colares</b>	1970-1996 (27 anos)	1970 -1991 (22 anos)	1992 -1996 (5 anos)
<b>Linhó</b>	1990-2002 (13 anos)	1990 – 1999 (10 anos)	2000 – 2002 (30 anos)
<b>Quinta do Pisão</b>	1980-2001 (22 anos)	1980 – 1997 (18 anos)	1998 – 2001 (4 anos)
<b>Sintra Granja</b>	1961-1990 (30 anos)	1961 – 1984 (24 anos)	1985 – 1990 (6 anos)

(N.B. Os dados de Sintra Pena e Sintra Vila são retirados do catálogo de normais climatológicas do IM, o que impossibilita a divisão do período existente de dados).

Em primeiro lugar, foram feitas as médias mensais relativas ao período de calibração, mencionado na Tabela 6 para cada estação, ou seja foram criados ficheiros mensais para cada parâmetro meteorológico, contendo os valores de distância à costa (km), altitude (km), número de anos referente ao período de calibração e o valor médio mensal do parâmetro meteorológico. Por exemplo para o mês de Agosto e para a temperatura média considerou-se o seguinte exposto na Tabela 7:

Tabela 7 – Exemplo do ficheiro com dados de temperatura média de Agosto.

<b>Nome</b>	<b>Distância à costa (km)</b>	<b>Altitude (km)</b>	<b>Nº de anos</b>	<b>T (°C)</b>
Cabo Roca	0.00	0.14	24	17.9
Colares	2.48	0.06	22	19.5
Sintra Granja	11.97	0.13	24	20.0
Sintra Pena	9.05	0.47	23	17.8
Sintra Vila	9.02	0.20	30	19.7

Utilizando o Software TableCurve 3D – versão 2, foi possível encontrar regressões que se ajustassem aos dados. Este software teve como ficheiros de entrada os dados de precipitação mensal, temperatura média mensal e amplitude térmica média mensal utilizados separadamente, como mostra o exemplo da Tabela 6. Com os valores mensais para cada parâmetro meteorológico e para cada mês do ano, foram encontradas regressões que se ajustaram muito bem aos dados, tendo em conta o número de anos de cada estação utilizada. Foram feitas explorações preliminares, com o objectivo de encontrar expressões simples pois tendo poucos dados, não é razoável usar expressões não-lineares muito elaboradas.

Como foi dito no capítulo 2.2.3, devido à pequena dimensão da região e às poucas estações utilizadas neste estudo, foi deixada de parte a divisão da região por zonas. Embora no início se tenha pensado que pudesse facilitar o ajuste das regressões aos dados, tal não se verificou pois o quadrado do coeficiente de correlação ( $r^2$ ) das expressões era muito pequeno, em certos parâmetros. Inicialmente neste estudo, teve-se em conta a estação do Cacém que seria a estação mais oriental do Município e como tal passaria a caracterizar essa secção. Contudo, acabou por ser retirada, pois tinha um período de 6 anos, e além disso as regressões resultantes exibiam um  $r^2$  muito baixo. De seguida são apresentadas as regressões encontradas para cada parâmetro meteorológico.

## 3.2 Regressões

### 3.2.1 Amplitude Térmica (AT)

Para a amplitude térmica foram consideradas as seguintes estações (Tabela 8):

Tabela 8 – Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à amplitude térmica mensal.

<b>Estação</b>	<b>Lat. (°N)</b>	<b>Long. (°W)</b>	<b>Distância à costa (km)</b>	<b>Altitude (km)</b>	<b>Período utilizado</b>	<b>Instituição</b>
<b>Cabo da Roca</b>	38.7833	9.5000	0.00	0.14	1947 – 1963 (17 anos)	IM
<b>Colares</b>	38.8000	9.4500	2.48	0.06	1990 - 1990 (10 anos)	IM
<b>Sintra Granja</b>	38.8333	9.3333	11.97	0.13	1961 – 1984 (24 anos)	IM
<b>Sintra Pena</b>	38.7833	9.3833	9.05	0.47	1951 – 1973 (23 anos)	IM
<b>Sintra Vila</b>	38.8000	9.3833	9.02	0.20	1951 - 1980 (30 anos)	IM

Foram realizados vários testes, tendo em conta a utilização de variáveis como a latitude e longitude de cada estação, mas com pouco sucesso, como já foi mencionado. O próximo passo foi utilizar apenas as variáveis distância à costa e altitude de cada estação, o que resultou em expressões como:  $AT = a + b \ln(1.5 + D) + ce^{(-H)}$ ,  $AT = a + bD \ln(D) + c \ln(H)$ . No entanto os resultados não foram satisfatórios; por exemplo na primeira expressão, a existência de um terceiro coeficiente resultava em valores estranhos para a amplitude térmica. Finalmente foi

encontrada uma regressão, que apresenta alguma semelhança com a primeira expressão estudada, sendo no entanto mais simples:

$$AT = a \ln(1.5 + D) + be^{(-H)} \quad (3.1)$$

onde D = Distância à costa e H = altitude. Os coeficientes  $a$ ,  $b$  e o respectivo  $r^2$  para cada mês do ano, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Apresentação dos valores de  $r^2$ , coeficientes  $a$  e  $b$  referentes à regressão (3.1) para a amplitude térmica mensal.

<b>Mês</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>Janeiro</b>	0.62	0.81	6.02
<b>Fevereiro</b>	0.73	1.06	5.33
<b>Março</b>	0.77	1.07	5.96
<b>Abril</b>	0.89	1.47	5.53
<b>Mai</b>	0.93	1.48	5.54
<b>Junho</b>	0.95	1.49	5.78
<b>Julho</b>	0.93	1.69	5.79
<b>Agosto</b>	0.93	1.72	6.08
<b>Setembro</b>	0.82	1.36	7.06
<b>Outubro</b>	0.71	1.15	6.70
<b>Novembro</b>	0.63	0.88	6.21
<b>Dezembro</b>	0.64	0.84	6.00

Seguidamente, é mostrado o resultado do software utilizado para a equação (3.1) no mês de Março (Figura 39). Neste resultado, encontram-se os valores do  $r^2$  e dos coeficientes  $a$  e  $b$  para o mês de Março.

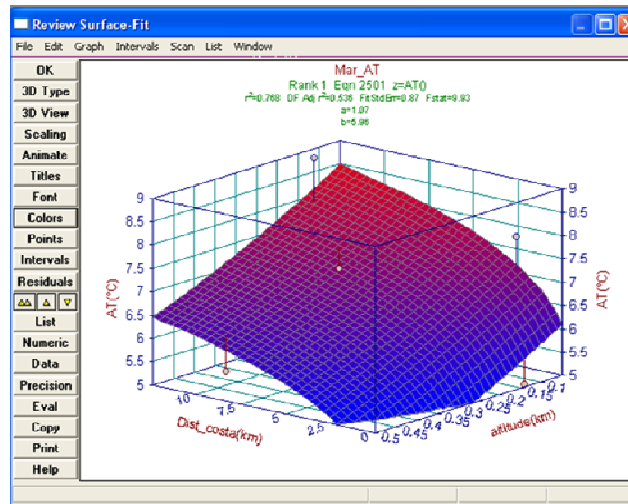


Figura 39 – Resultado do software utilizado, referente ao mês de Março para a regressão da amplitude térmica.

Da variação mensal dos coeficientes  $a$  e  $b$  (Tabela 8), transparece a evolução mensal da amplitude térmica. O valor de  $r^2$ , encontra-se entre 0.62 e 0.95, o que indica que a expressão (3.1) representa um bom ajuste aos dados.

### 3.2.2 Temperatura média (T)

Para a temperatura média, foram utilizadas as seguintes estações (Tabela 10):

Tabela 10 – Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à temperatura média mensal.

Estação	Lat. (°N)	Long. (°W)	Distância à costa (km)	Altitude (km)	Período utilizado	Instituição
<b>Cabo da Roca</b>	38.7833	9.5000	0.00	0.14	1947 – 1963 (17 anos)	IM
<b>Colares</b>	38.8000	9.4500	2.48	0.06	1990 - 1990 (10 anos)	IM
<b>Sintra Granja</b>	38.8333	9.3333	11.97	0.13	1961 – 1984 (24 anos)	IM
<b>Sintra Pena</b>	38.7833	9.3833	9.05	0.47	1951 – 1973 (23 anos)	IM
<b>Sintra Vila</b>	38.8000	9.3833	9.02	0.20	1951 - 1980 (30 anos)	IM

Para a temperatura média mensal, foi possível obter uma regressão tendo em conta a distância à costa e a altitude, considerando o número de anos como peso na obtenção da regressão.

A regressão obtida para a temperatura média foi:

$$T = a + bD + cH \tag{3.2}$$

onde os coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e o respectivo valor de  $r^2$  para cada mês do ano e para a média anual, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Apresentação dos valores de  $r^2$ , coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  referentes à regressão (3.2) para a temperatura média mensal

Mês	$r^2$	$a$	$b$	$c$
<b>Janeiro</b>	0.92	11.9	-0.09	-4.88
<b>Fevereiro</b>	0.95	12.2	-0.07	-5.69
<b>Março</b>	0.87	12.9	-0.04	-4.53
<b>Abril</b>	0.82	13.8	0.00	-4.99
<b>Mai</b>	0.49	15.1	0.04	-2.91
<b>Junho</b>	0.95	17.4	0.09	-5.07
<b>Julho</b>	0.91	18.8	0.15	-6.05
<b>Agosto</b>	0.92	19.1	0.17	-6.11
<b>Setembro</b>	0.83	19.2	0.08	-4.99
<b>Outubro</b>	0.74	17.1	0.00	-3.11
<b>Novembro</b>	0.95	14.6	-0.08	-4.81
<b>Dezembro</b>	0.92	12.5	-0.11	-4.66
<b>Anual</b>	0.64	25.2	0.09	-30.60

A Figura 40 apresenta o resultado do software utilizado, relativo à equação (3.2) para o mês de Março.

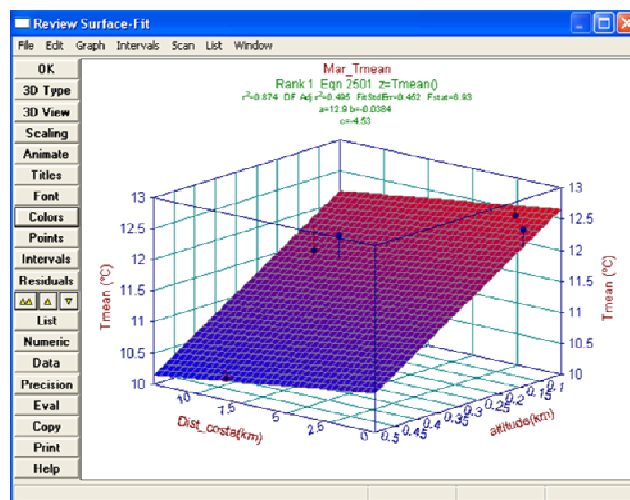


Figura 40 – Output gráfico referente ao mês de Março para a regressão da temperatura média.

O valor de  $r^2$ , apresentado pela Tabela 11 é bastante elevado ao longo dos meses, o que mostra que a regressão (3.2) se ajusta bem aos dados.

### 3.2.3 Precipitação

Para a precipitação, pretendeu-se inicialmente dividir a região de Sintra em duas zonas distintas, de modo a distinguir a região da Serra de Sintra que se supunha ter características específicas.. Deste modo, considerou-se uma região que descrevesse a zona costeira e Serra de Sintra e outra que englobasse a zona mais a interior e a norte da região. O que se verificou, foi que os coeficientes das regressões encontradas para estas duas zonas, apresentavam grande irregularidade sazonal, e portanto este esquema foi abandonado.

Foram feitos vários testes com várias variáveis, como no estudo da amplitude térmica e temperatura média, mas não se conseguiu obter uma regressão que descrevesse convenientemente os dados. Considerou-se pois apenas a dependência da precipitação com a altitude de cada estação. Neste caso a regressão encontrada foi uma regressão linear simples.

Aliás para a precipitação observada, existe um trabalho desenvolvido por Nicolau, R. (2000), onde foi concluído que a precipitação e a elevação apresentam uma boa correlação, para explicar a variabilidade espacial da precipitação observada, embora a uma escala espacial nacional..

Para a precipitação foram consideradas as seguintes estações (Tabela 12):

Tabela 12 – Estações utilizadas para a encontrar a regressão referente à precipitação acumulada mensal

<b>Estação</b>	<b>Lat. (°N)</b>	<b>Long. (°W)</b>	<b>Distância à costa (km)</b>	<b>Altitude (km)</b>	<b>Período utilizado</b>	<b>Instituição</b>
<b>Azenhas do Mar</b>	38.8321	6.4514	1.49	0.088	1947-1963 (17)	INAG
<b>Barragem Rio da Mula</b>	38.7627	9.4224	5.90	0.155	1990 - 1999 (10)	INAG
<b>Cabo da Roca</b>	38.7833	9.5000	0.00	0.142	1961-1984 (24)	IM
<b>Cheleiros</b>	38.8905	9.3341	9.10	0.120	1980 - 2001 (22)	INAG
<b>Colares</b>	38.8000	9.4500	2.48	0.055	1970-1991 (22)	IM
<b>Linhó</b>	38.7678	9.3810	9.68	0.199	1990-1999 (10)	INAG
<b>Quinta do Pisão</b>	38.7337	9.4236	4.37	0.089	1980-1997 (18)	INAG
<b>Sintra Granja</b>	38.8333	9.3333	11.97	0.134	1961-1984 (24)	IM
<b>Sintra Pena</b>	38.7833	9.3833	9.05	0.471	1951-1973 (23)	IM
<b>Sintra Vila</b>	38.8000	9.3833	9.02	0.200	1951-1980 (30)	IM

Deste modo, a regressão encontrada para a precipitação (RR) foi a dada pela expressão (3.3):

$$RR = a + bH \quad (3.3)$$

Onde H é a altitude, sendo os coeficientes  $a$ ,  $b$  e o  $r^2$  para cada mês e para a média anual apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Apresentação dos valores de  $r^2$ , coeficientes  $a$  e  $b$  referentes à regressão (3.3) para a precipitação média mensal e anual.

<b>Mês</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>b</math></b>
<b>Janeiro</b>	0.64	67.99	261.90
<b>Fevereiro</b>	0.30	71.93	123.12
<b>Março</b>	0.66	36.20	262.15
<b>Abril</b>	0.22	53.84	54.34
<b>Mai</b>	0.18	46.14	60.53
<b>Junho</b>	0.13	16.42	15.02
<b>Julho</b>	0.01	4.66	1.32
<b>Agosto</b>	0.61	4.39	20.75
<b>Setembro</b>	0.05	30.15	24.68
<b>Outubro</b>	0.16	73.58	91.17
<b>Novembro</b>	0.44	102.14	120.49
<b>Dezembro</b>	0.38	90.02	149.07
<b>Anual</b>	0.52	597.46	1184.50

### 3.3 Calibração e validação dos dados

Como foi referido no capítulo 3.1, foi necessária a utilização de um período da série de dados para calibrar o modelo (primeiros 80% dos dados - período de calibração) e a utilização de um período menor da série para validar o modelo (restantes 20% dos dados - período de validação). De modo a poder validar o modelo criado para cada parâmetro meteorológico, foi feita para cada estação a comparação entre o valor estimado pelo modelo regressivo, o valor registado no período de calibração e o valor registado no período de validação.

De seguida são apresentados os estudos estatísticos para cada estação meteorológica (Tabelas 14 a 26), sendo consideradas os seguintes indicadores estatísticos:

$$\text{Viés acumulado: } \sum_{i=1}^N x_{ip} - x_{iobs} \quad (3.4)$$

$$\text{Viés médio: } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ip} - x_{iobs} \quad (3.5)$$

$$\text{Viés médio absoluto: } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_{ip} - x_{iobs}| \quad (3.6)$$

$$\text{Máximo desvio absoluto: } \text{MAX} \left( \sum_{i=1}^N x_{ip} - x_{iobs} \right) \quad (3.7)$$

- **Azenhas do Mar**

Tabela 14 – Estudo estatístico para a estação de Azenhas do Mar, valores de precipitação.

	<b>1964 - 1967</b>	<b>1947 - 1963</b>	<b>Modelo</b>
	<b>Período de validação</b>	<b>Período de calibração</b>	
<b>Jan</b>	79	85	89
<b>Fev</b>	119	73	82
<b>Mar</b>	58	88	57
<b>Abr</b>	69	41	58
<b>Mai</b>	22	36	51
<b>Jun</b>	8	13	18
<b>Jul</b>	1	2	5
<b>Ago</b>	3	6	6
<b>Set</b>	21	30	32
<b>Out</b>	117	52	81
<b>Nov</b>	68	95	112
<b>Dez</b>	44	98	102
<b>Anual</b>	608	620	692
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>
<b>Viés acumulado</b>		12	85 mm
<b>Viés médio</b>		1	7 mm
<b>Viés absoluto médio</b>		24	21 mm
<b>Erro médio quadrático</b>		32	28 mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		54	58 mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0,41	0,56

- **Barragem Rio da Mula**

Tabela 15 - Estudo estatístico para a estação de Barragem Rio da Mula, valores de precipitação.

	<b>2000 - 2002</b>	<b>1990 - 1999</b>	<b>Modelo</b>	
	<b>Período de validação</b>	<b>Período de calibração</b>		
<b>Jan</b>	132	122	109	
<b>Fev</b>	49	76	91	
<b>Mar</b>	104	66	77	
<b>Abr</b>	117	70	62	
<b>Mai</b>	57	79	56	
<b>Jun</b>	20	23	19	
<b>Jul</b>	10	7	5	
<b>Ago</b>	6	9	8	
<b>Set</b>	87	58	34	
<b>Out</b>	145	123	88	
<b>Nov</b>	98	130	121	
<b>Dez</b>	169	121	113	
<b>Anual</b>	995	884	781	
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>	
<b>Viés acumulado</b>		-112	-214	mm
<b>Viés médio</b>		-9	-18	mm
<b>Viés absoluto médio</b>		24	29	mm
<b>Erro médio quadrático</b>		28	36	mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		32	42	mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0.74	0.63	

• **Cabo da Roca**

Tabela 16 – Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de precipitação.

	<b>1985-1990</b>	<b>1961-1984</b>	<b>Modelo</b>
	<b>Período de validação</b>	<b>Período de calibração</b>	
<b>Jan</b>	129	63	105
<b>Fev</b>	120	67	89
<b>Mar</b>	55	52	73
<b>Abr</b>	96	41	62
<b>Mai</b>	27	32	55
<b>Jun</b>	13	15	19
<b>Jul</b>	11	2	5
<b>Ago</b>	11	5	7
<b>Set</b>	31	23	34
<b>Out</b>	98	61	87
<b>Nov</b>	169	92	119
<b>Dez</b>	161	60	111
<b>Anual</b>	921	515	766
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>
<b>Viés acumulado</b>		-406	-155 mm
<b>Viés médio</b>		-34	-13 mm
<b>Viés absoluto médio</b>		35	22 mm
<b>Erro médio quadrático</b>		48	27 mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		5	27 mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0.84	0.89

Tabela 17 – Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de temperatura média.

	<b>1985 - 1990</b> <b>Período de</b> <b>validação</b>	<b>1961 - 1984</b> <b>Período de</b> <b>calibração</b>	<b>Modelo</b>
<b>Jan</b>	11.9	11.6	11.2
<b>Fev</b>	12.7	11.6	11.4
<b>Mar</b>	13.2	12.5	12.3
<b>Abr</b>	13.4	13.3	13.1
<b>Mai</b>	15.7	14.5	14.7
<b>Jun</b>	17.0	16.5	16.7
<b>Jul</b>	19.0	17.6	17.9
<b>Ago</b>	19.1	17.9	18.2
<b>Set</b>	19.7	18.1	18.5
<b>Out</b>	17.9	16.7	16.7
<b>Nov</b>	14.9	14.1	13.9
<b>Dez</b>	13.1	12.1	11.8
<b>Anual</b>	15.6	14.7	14.7
		<b>Calibração vs</b> <b>validação</b>	<b>Modelo vs</b> <b>validação</b>
<b>Viés absoluto médio</b>		0.91	0.93 (°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		1.00	0.98 (°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		-0.13	-0.31 (°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0.98	0.99

Tabela 18 – Estudo estatístico para a estação de Cabo da Roca, valores de amplitude térmica média.

	<b>1985 - 1990</b> <b>Período de</b> <b>validação</b>	<b>1961 - 1984</b> <b>Período de</b> <b>calibração</b>	<b>Modelo</b>
<b>Jan</b>	4,3	4,7	5,6
<b>Fev</b>	4,2	4,5	5,1
<b>Mar</b>	4,7	5,1	5,6
<b>Abr</b>	4,6	5,1	5,4
<b>Mai</b>	4,7	5,0	5,4
<b>Jun</b>	4,8	5,4	5,6
<b>Jul</b>	5,2	5,3	5,7
<b>Ago</b>	5,1	5,5	6,0
<b>Set</b>	5,8	6,0	6,7
<b>Out</b>	5,1	5,5	6,3
<b>Nov</b>	4,5	5,0	5,7
<b>Dez</b>	4,2	5,0	5,5
<b>Anual</b>	4,7	5,2	5,7
		<b>Calibração vs</b> <b>validação</b>	<b>Modelo vs</b> <b>validação</b>
<b>Viés absoluto médio</b>		0,43	0,97 (°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		0,47	1,00 (°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		0,79	1,35 (°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0,84	0,72

• **Cheleiros**

Tabela 19 – Estudo estatístico para a estação de Cheleiros, valores de precipitação.

	<b>2002 - 2007</b>	<b>1980 - 2001</b>	<b>Modelo</b>
	<b>Período de validação</b>	<b>Período de calibração</b>	
<b>Jan</b>	51	69	99
<b>Fev</b>	41	60	87
<b>Mar</b>	62	42	68
<b>Abr</b>	37	54	60
<b>Mai</b>	24	49	53
<b>Jun</b>	22	13	18
<b>Jul</b>	8	6	5
<b>Ago</b>	10	4	7
<b>Set</b>	59	21	33
<b>Out</b>	192	69	85
<b>Nov</b>	131	103	117
<b>Dez</b>	52	86	108
<b>Anual</b>	689	576	740
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>
<b>Viés acumulado</b>		-113	50 mm
<b>Viés médio</b>		-9	4 mm
<b>Viés absoluto médio</b>		28	31 mm
<b>Erro médio quadrático</b>		42	42 mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		34	56 mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0,37	0,34

- Colares

Tabela 20 – Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de precipitação.

	<b>1992 – 1996</b>	<b>1970 – 1991</b>	<b>Modelo</b>
	<b>Período de</b>	<b>Período de</b>	
	<b>validação</b>	<b>calibração</b>	
<b>Jan</b>	132	94	82
<b>Fev</b>	72	94	79
<b>Mar</b>	40	57	51
<b>Abr</b>	44	66	57
<b>Mai</b>	86	47	49
<b>Jun</b>	9	20	17
<b>Jul</b>	4	6	5
<b>Ago</b>	4	8	6
<b>Set</b>	47	28	32
<b>Out</b>	94	77	79
<b>Nov</b>	99	109	109
<b>Dez</b>	97	118	98
<b>Anual</b>	728	726	663
		<b>Calibração vs</b>	<b>Modelo vs</b>
<b>viés acumulado</b>		<b>validação</b>	<b>validação</b>
		-2	-65
<b>Viés médio</b>		0	-5
<b>Viés absoluto médio</b>		18	14
<b>Erro médio quadrático</b>		21	20
<b>Máximo desvio absoluto</b>		23	12
<b>r<sup>2</sup></b>		0.73	0.78

Tabela 21 – Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de temperatura média.

	1992 - 1996 Período de validação	1970 - 1991 Período de calibração	Modelo	
<b>Jan</b>	10,8	11,1	11,4	
<b>Fev</b>	11,7	11,6	11,7	
<b>Mar</b>	13,1	12,4	12,6	
<b>Abr</b>	13,7	13,4	13,5	
<b>Mai</b>	15,8	15,2	15,0	
<b>Jun</b>	18,5	17,5	17,4	
<b>Jul</b>	19,8	19,1	18,8	
<b>Ago</b>	19,8	19,5	19,2	
<b>Set</b>	18,3	19,4	19,1	
<b>Out</b>	16,6	16,9	16,9	
<b>Nov</b>	14,3	14,2	14,1	
<b>Dez</b>	12,4	11,9	12,0	
<b>Anual</b>	15,4	15,2	15,1	
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>	
<b>Viés absoluto médio</b>		0,49	0,54	(°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		0,58	0,62	(°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		1,08	0,78	(°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0,97	0,97	

Tabela 22– Estudo estatístico para a estação de Colares, valores de amplitude térmica.

	1992 - 1996 Período de validação	1970 - 1991 Período de calibração	Modelo	
<b>Jan</b>	8.1	7.9	6.8	
<b>Fev</b>	6.8	7.1	6.5	
<b>Mar</b>	8.8	7.8	7.1	
<b>Abr</b>	8.4	7.7	7.3	
<b>Mai</b>	7.9	7.9	7.3	
<b>Jun</b>	8.8	7.8	7.5	
<b>Jul</b>	8.1	8.4	7.8	
<b>Ago</b>	6.8	8.8	8.1	
<b>Set</b>	9.3	9.5	8.6	
<b>Out</b>	8.3	9.0	7.9	
<b>Nov</b>	7.8	7.9	7.1	
<b>Dez</b>	7.0	7.5	6.8	
<b>Anual</b>	8.0	8.1	7.4	
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>	
<b>Viés absoluto médio</b>		0.57	0.82	(°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		0.77	0.95	(°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		1.92	1.28	(°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0.17	0.19	

• **Linhó**

Tabela 23 – Estudo estatístico para a estação de Linhó, valores de precipitação.

	<b>2000 - 2002</b>	<b>1990 - 1999</b>	<b>Modelo</b>
	<b>Período de validação</b>	<b>Período de calibração</b>	
<b>Jan</b>	136	134	120
<b>Fev</b>	51	89	96
<b>Mar</b>	109	69	88
<b>Abr</b>	121	74	65
<b>Mai</b>	50	80	58
<b>Jun</b>	22	22	19
<b>Jul</b>	10	7	5
<b>Ago</b>	4	9	9
<b>Set</b>	80	58	35
<b>Out</b>	135	137	92
<b>Nov</b>	107	138	126
<b>Dez</b>	387	136	120
<b>Anual</b>	1212	953	833
		<b>Calibração vs validação</b>	<b>Modelo vs validação</b>
<b>Viés acumulado</b>		-260	-379 mm
<b>Viés médio</b>		-22	-32 mm
<b>Viés absoluto médio</b>		39	44 mm
<b>Erro médio quadrático</b>		77	82 mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		38	45 mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0.47	0.44

• **Quinta do Pisão**

Tabela 24 – Estudo estatístico para a estação de Linhó, valores de precipitação.

	<b>1998 – 2001</b>	<b>1980 – 1997</b>	<b>Modelo</b>	
	<b>Período de</b>	<b>Período de</b>		
	<b>validação</b>	<b>calibração</b>		
<b>Jan</b>	116	96	91	
<b>Fev</b>	49	85	83	
<b>Mar</b>	77	48	60	
<b>Abr</b>	93	72	59	
<b>Mai</b>	58	64	52	
<b>Jun</b>	18	13	18	
<b>Jul</b>	3	6	5	
<b>Ago</b>	6	6	6	
<b>Set</b>	65	31	32	
<b>Out</b>	95	89	82	
<b>Nov</b>	60	140	113	
<b>Dez</b>	119	119	103	
<b>Anual</b>	759	770	703	
		<b>Calibração vs</b>	<b>Modelo vs</b>	
		<b>validação</b>	<b>validação</b>	
<b>Viés acumulado</b>		11	-56	mm
<b>Viés médio</b>		1	-5	mm
<b>Viés absoluto médio</b>		20	20	mm
<b>Erro médio quadrático</b>		30	25	mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		80	53	mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0.54	0.60	

- **Sintra / Granja**

Tabela 25 – Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de precipitação.

	<b>1985 – 1990</b> <b>Período de</b> <b>validação</b>	<b>1961 – 1984</b> <b>Período de</b> <b>calibração</b>	<b>Modelo</b>	
<b>Jan</b>	129	110	103	
<b>Fev</b>	114	113	88	
<b>Mar</b>	38	83	71	
<b>Abr</b>	94	59	61	
<b>Mai</b>	47	46	54	
<b>Jun</b>	17	23	18	
<b>Jul</b>	10	4	5	
<b>Ago</b>	6	5	7	
<b>Set</b>	24	25	33	
<b>Out</b>	119	78	86	
<b>Nov</b>	137	121	118	
<b>Dez</b>	139	109	110	
<b>Anual</b>	873	777	756	
		<b>Calibração vs</b> <b>validação</b>	<b>Modelo vs</b> <b>validação</b>	
<b>Viés acumulado</b>		-95	-116	mm
<b>Viés médio</b>		-8	-10	mm
<b>Viés absoluto médio</b>		17	18	mm
<b>Erro médio quadrático</b>		23	22	mm
<b>Máximo desvio absoluto</b>		45	34	mm
<b>r<sup>2</sup></b>		0.83	0.89	

Tabela 26 – Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de temperatura média.

	<b>1985 – 1990</b> <b>Período de</b> <b>validação</b>	<b>1961 – 1984</b> <b>Período de</b> <b>calibração</b>	<b>Modelo</b>
<b>Jan</b>	9.52	9.8	10.1
<b>Fev</b>	11.19	10.2	10.6
<b>Mar</b>	12.09	11.4	11.8
<b>Abr</b>	12.65	12.7	13.1
<b>Mai</b>	15.41	14.7	15.2
<b>Jun</b>	17.95	17.6	17.8
<b>Jul</b>	20.72	19.5	19.8
<b>Ago</b>	20.70	20.0	20.4
<b>Set</b>	20.52	19.1	19.4
<b>Out</b>	17.15	16.4	16.7
<b>Nov</b>	13.01	12.7	13.0
<b>Dez</b>	11.06	10.2	10.6
<b>Anual</b>	15.16	14.5	14.9
		<b>Calibração vs</b> <b>validação</b>	<b>Modelo vs</b> <b>validação</b>
<b>Viés absoluto médio</b>		0.70	0.46 (°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		0.80	0.55 (°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		0.30	0.61 (°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0.99	0.99

Tabela 27 – Estudo estatístico para a estação de Sintra / Granja, valores de amplitude térmica.

	<b>1985 – 1990</b> <b>Período de</b> <b>validação</b>	<b>1961 – 1984</b> <b>Período de</b> <b>calibração</b>	<b>Modelo</b>
<b>Jan</b>	9.2	8.6	7.4
<b>Fev</b>	7.8	8.5	7.4
<b>Mar</b>	9.6	8.9	8.0
<b>Abr</b>	7.8	9.2	8.7
<b>Mai</b>	8.9	8.9	8.7
<b>Jun</b>	8.7	9.4	8.9
<b>Jul</b>	9.6	9.7	9.5
<b>Ago</b>	9.3	10.0	9.8
<b>Set</b>	10.4	10.4	9.7
<b>Out</b>	9.2	10.0	8.9
<b>Nov</b>	8.3	9.3	7.7
<b>Dez</b>	7.7	8.8	7.4
<b>Anual</b>	8.9	9.3	8.5
		<b>Calibração vs</b> <b>validação</b>	<b>Modelo vs</b> <b>validação</b>
<b>Viés absoluto médio</b>		0.64	0.63 (°C)
<b>Erro médio quadrático</b>		0.76	0.82 (°C)
<b>Máximo desvio absoluto</b>		1.40	0.83 (°C)
<b>r<sup>2</sup></b>		0.40	0.37

Os modelos desenvolvidos representam as estatísticas no período de validação pelo menos tão bem como as estatísticas da própria estação (no período de calibração

## 4 Resultados

Usando os modelos desenvolvidos no capítulo precedente, foram criados mapas mensais para cada parâmetro meteorológico, a partir de do DTM do Plano Verde de Sintra, que tem resolução de 10 m. Para fins de comunicação e apresentação de resultados –brochuras, apresentações públicas, etc. – foram elaborados mapas nesta resolução de 10 m (vd. Figuras 41 a 45), contudo para os estudos científicos no Projecto SIAM Sintra foram usados mapas baseados numa degradação do DTM para resolução 1 km x 1 km, (vd. Tabelas 28 a 40) uma vez que se considera que o número de estações disponíveis para criar os modelos é demasiado pequeno para suportar uma resolução espacial superior.

São apresentados de seguida os mapas para o concelho de Sintra, para os dados de precipitação acumulada, temperatura média e amplitude térmica, para alguns meses representativos das estações do ano – Janeiro para o Inverno, Abril para a Primavera, Julho para o Verão e Outubro para o Outono (Figura 41 a 45) – e ainda para valores anuais, para o período de referência, nominalmente 1961 – 1990.

### 4.1 Temperatura média

As Figuras 41 e 42 mostram a distribuição espacial da temperatura média mensal e anual para o município de Sintra, com uma resolução de 10 m e nas tabelas 28 a 32 apresentam-se os valores correspondentes na resolução 1 km.

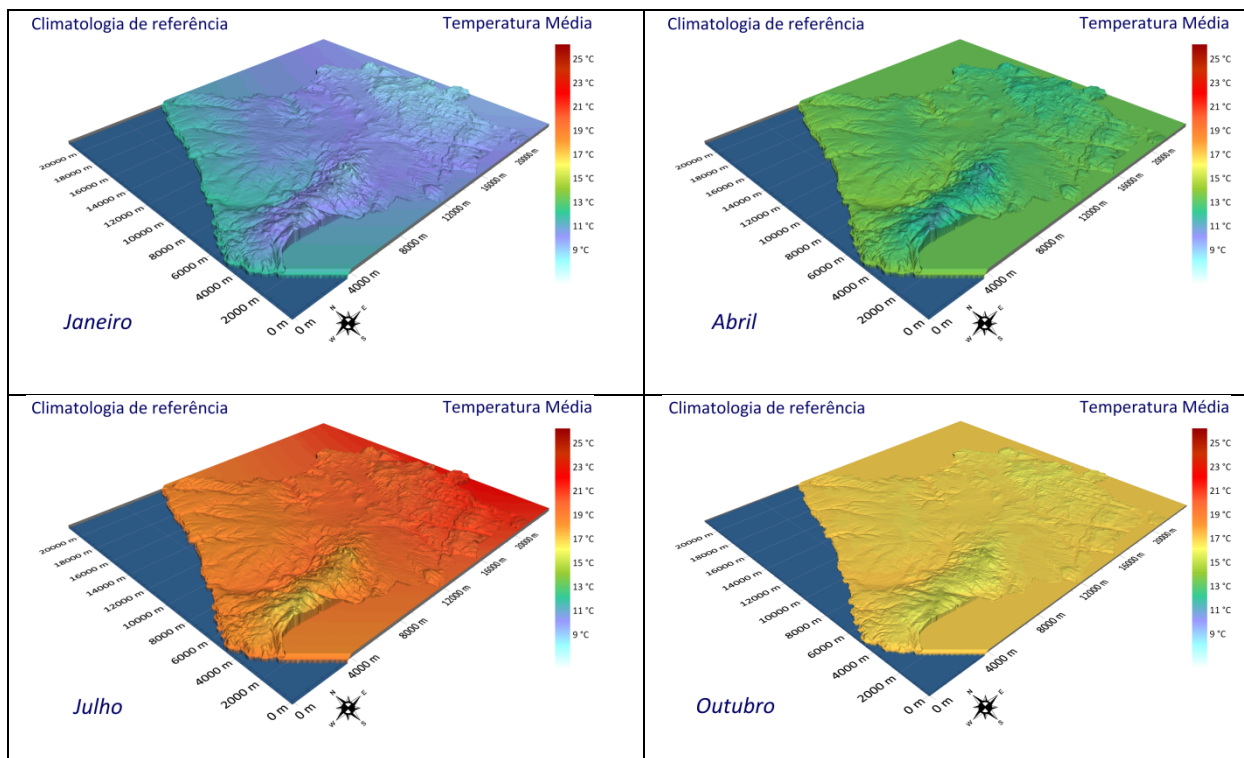


Figura 41 – Cartografia de temperatura média com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.

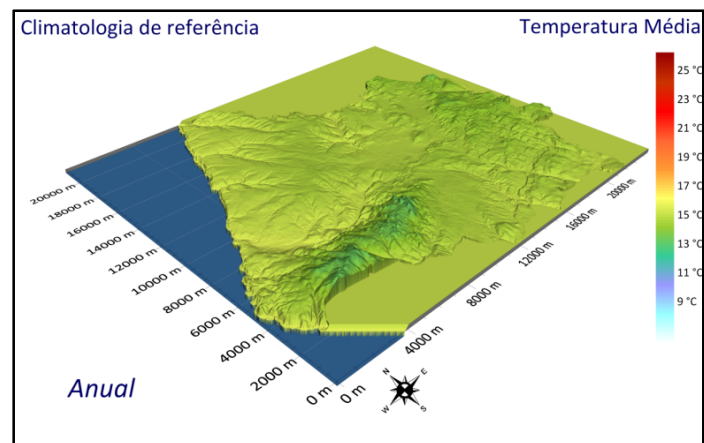


Figura 42 – Cartografia de temperatura média anual com resolução espacial de 10 m, para o município de Sintra.

Pela análise da Figura 41, como seria de esperar o mês de Julho é o mês mais quente com temperaturas que acima de 25°C na região a Este do concelho, sendo a zona da serra de Sintra a que apresenta valores mais baixos em todos os meses do ano. deverá tb mencionar a serra da Carregueira e os valores elevados nas várzeas Na Figura 42, a evolução espacial da temperatura média anual apresenta valores bastante homogéneos do município, sendo mais uma vez a região da serra de Sintra a que apresenta valores mais baixos de temperatura média.

É visível a existência de diferentes valores de temperatura média em todo o município. Estas diferenças são importantes para se caracterizarem os microclimas da região.

Tabela 28 – Distribuição espacial da temperatura média Janeiro com resolução 1km, para o município de Sintra.

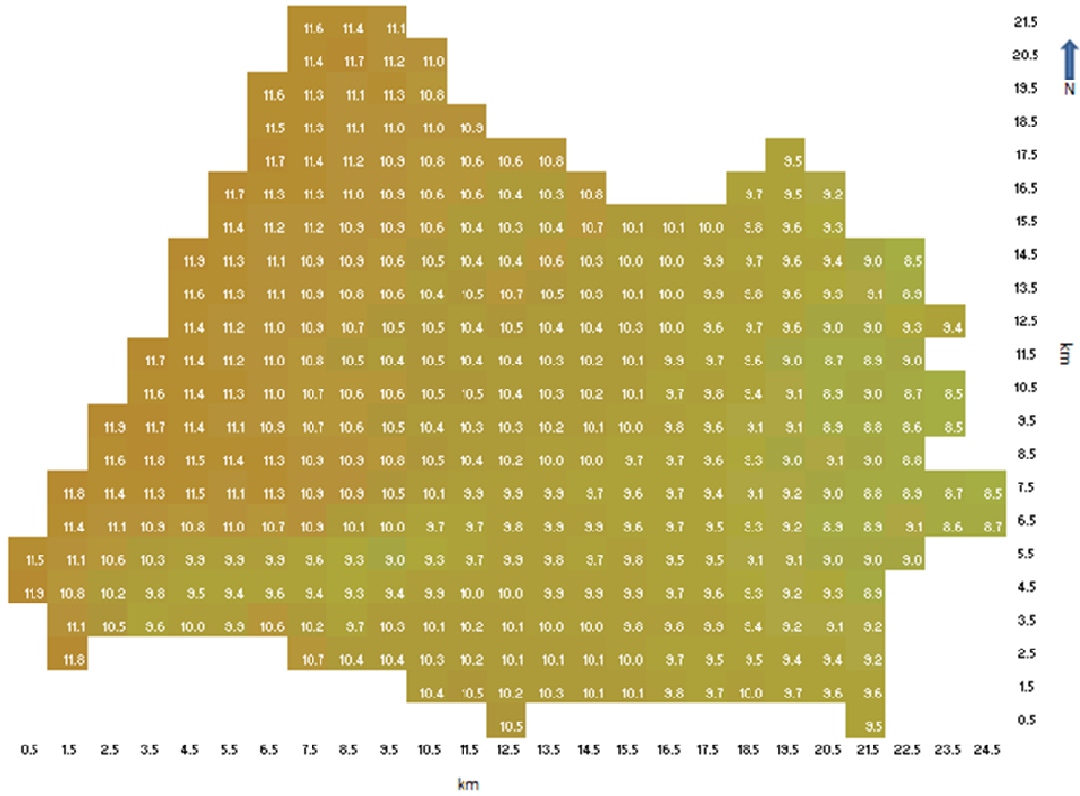


Tabela 29 – Evolução espacial da temperatura média Abril com resolução 1km, para o município de Sintra.

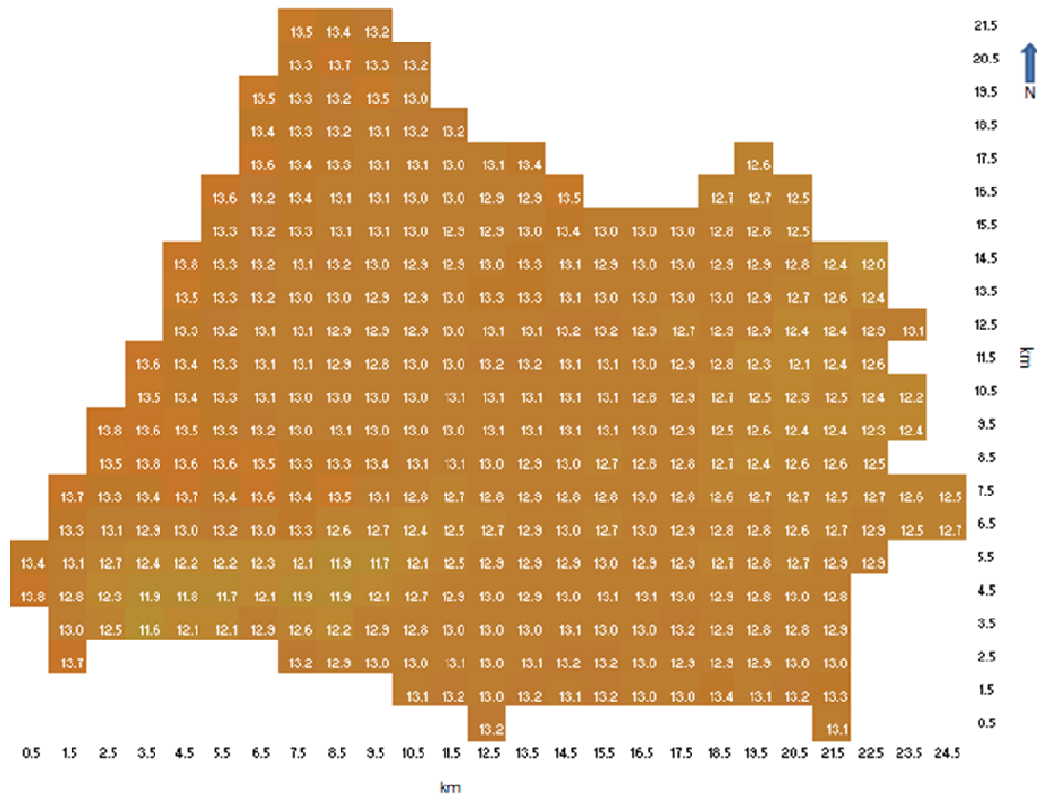
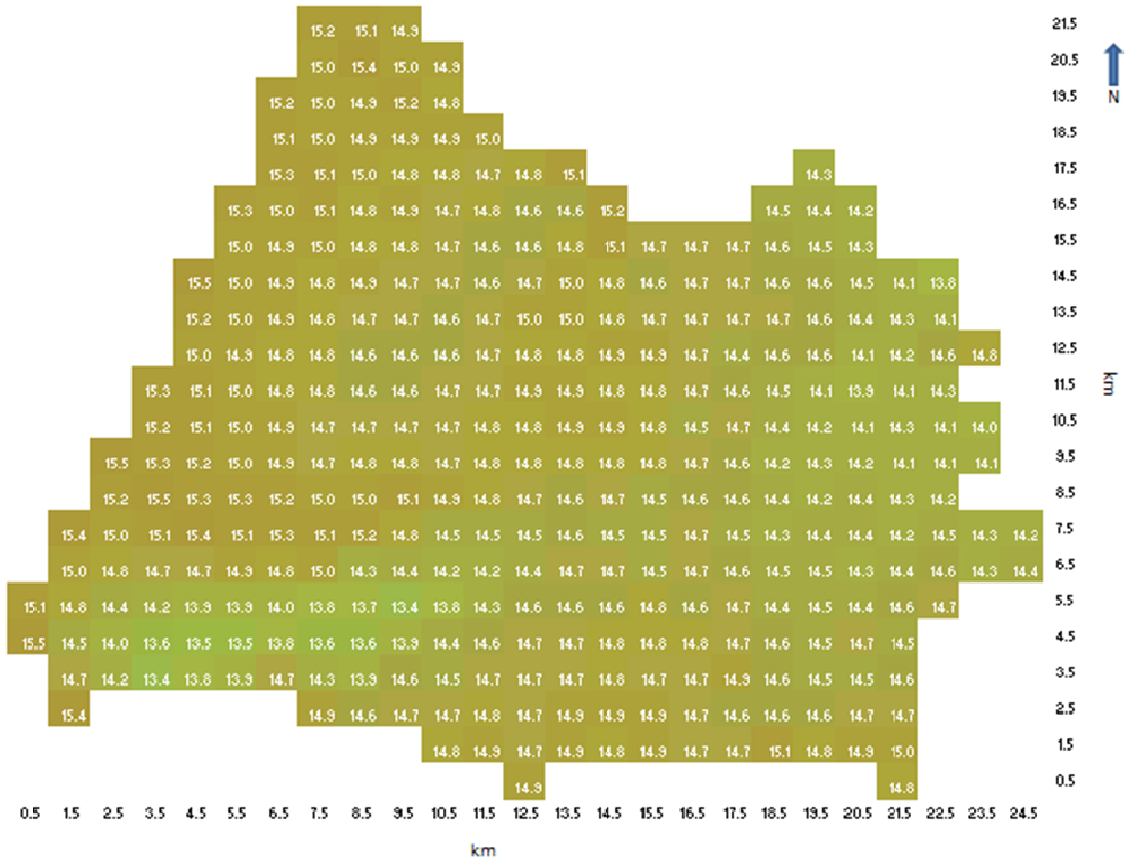




Tabela 32 – Distribuição espacial da temperatura média anual, com resolução 1km, para o município de Sintra.



## 4.2 Amplitude térmica

A distribuição espacial da Amplitude térmica média mensal para o município de Sintra, com uma resolução de 10 m, é apresentada na Figura 43 e nas tabelas 33 a 36 apresentam-se os valores correspondentes na resolução 1 km.

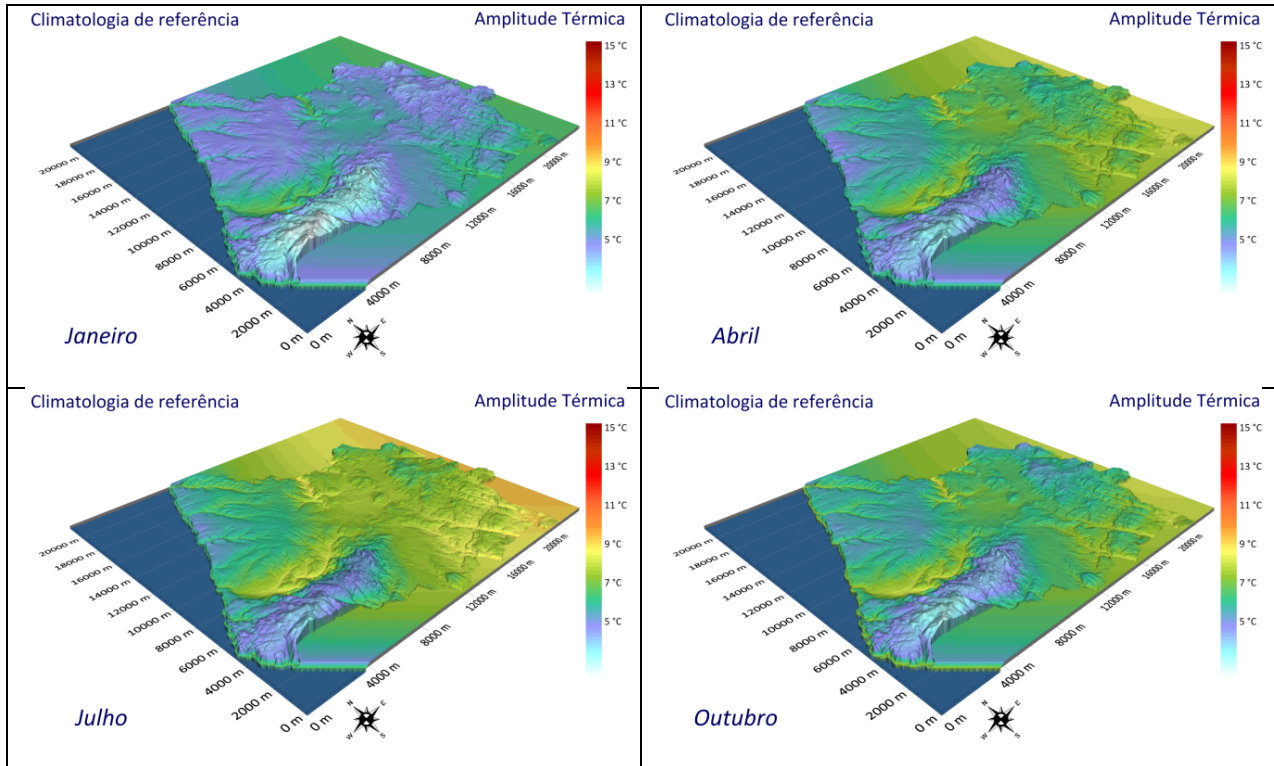


Figura 43 – Cartografia de amplitude térmica média com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.

A distribuição da amplitude térmica média mensal no do município, mostrada pela figura 43, apresenta valores mais baixos durante o mês de Janeiro, sendo a zona costeira que registar valores mais baixos relativamente ao resto da região. Estes valores mais baixos de amplitude térmica são devido ao efeito atenuador do oceano em relação à temperatura máxima e mínima nesta zona. No entanto é necessário ter em atenção, que isto é verdade em todos os meses, apenas não é tão evidente no caso de Janeiro. O mês de Julho apresenta valores mais elevados de amplitude térmica a Este do município.

Tabela 33 – Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Janeiro, com resolução 1km, para o município de Sintra.

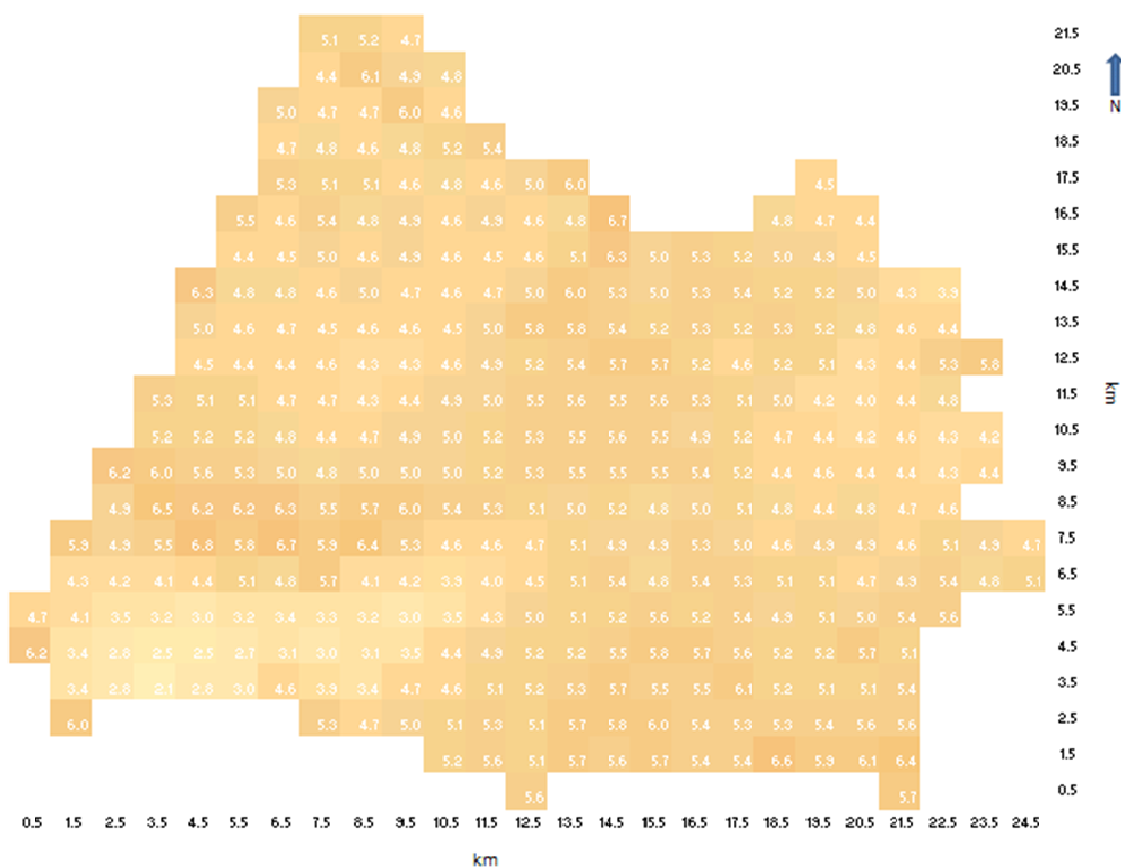


Tabela 34 – Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Abril, com resolução 1km, para o município de Sintra.

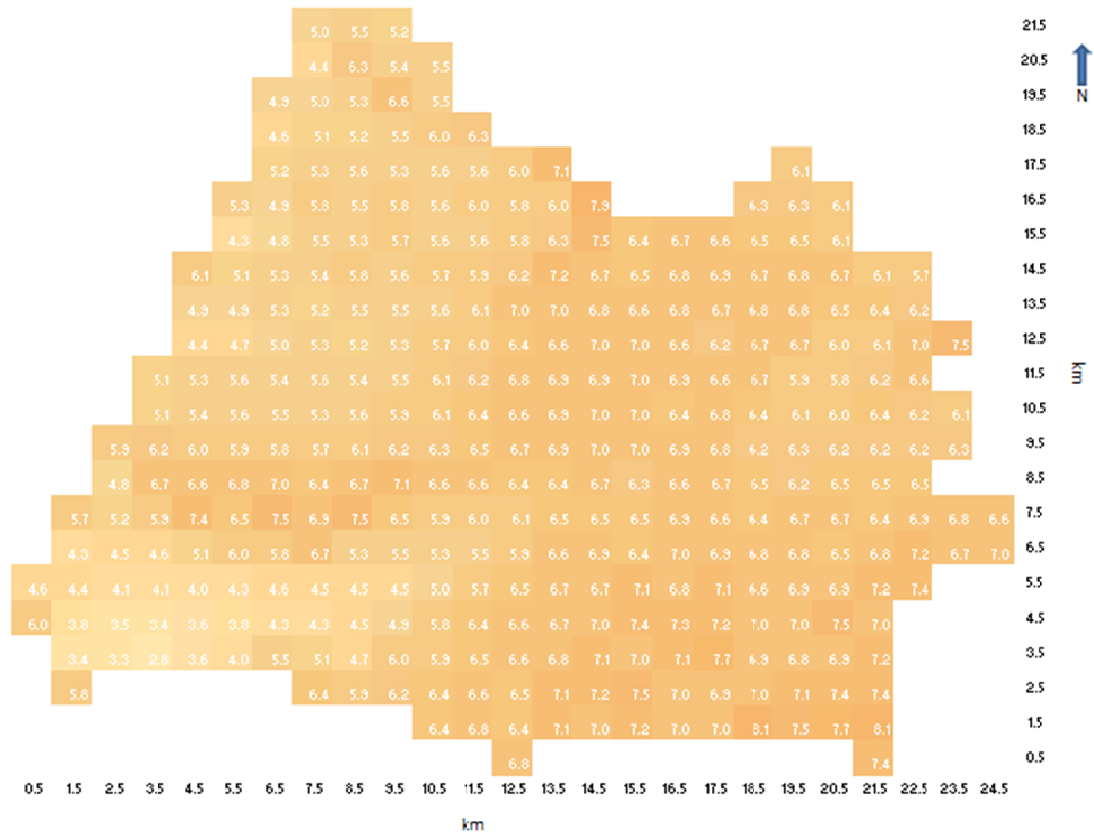


Tabela 35 – Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Julho, com resolução 1km, para o município de Sintra.

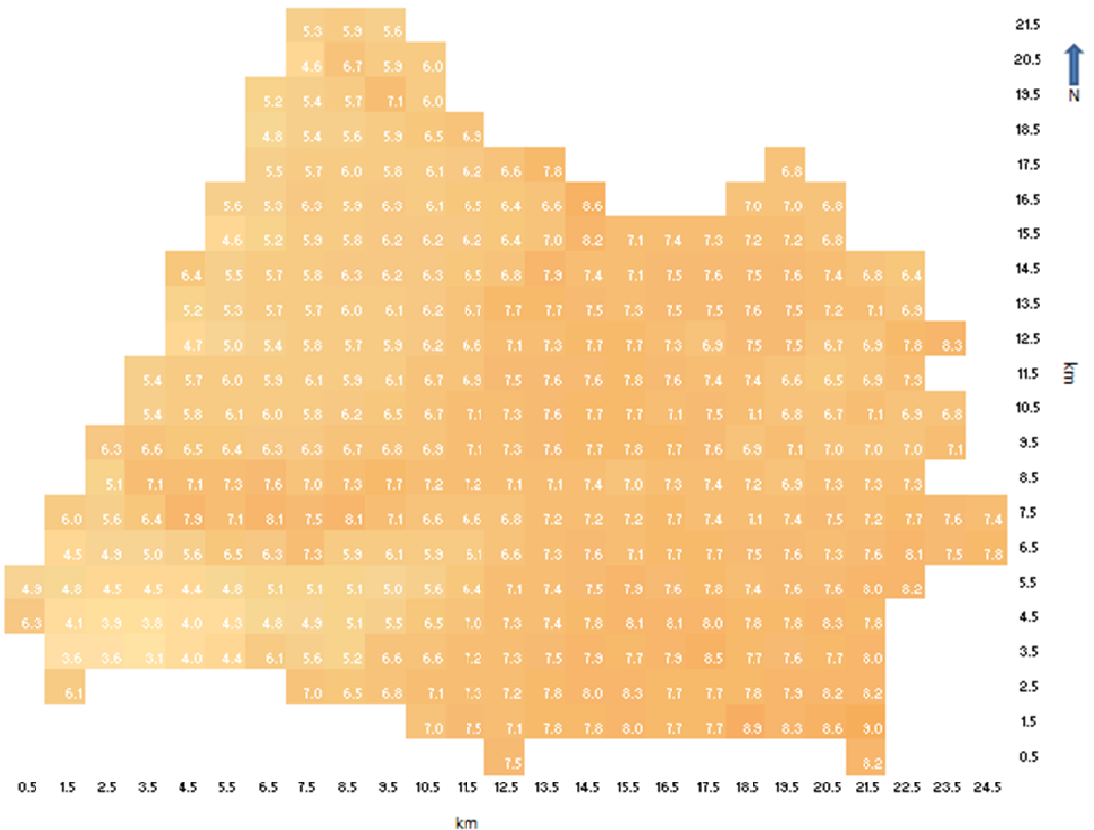
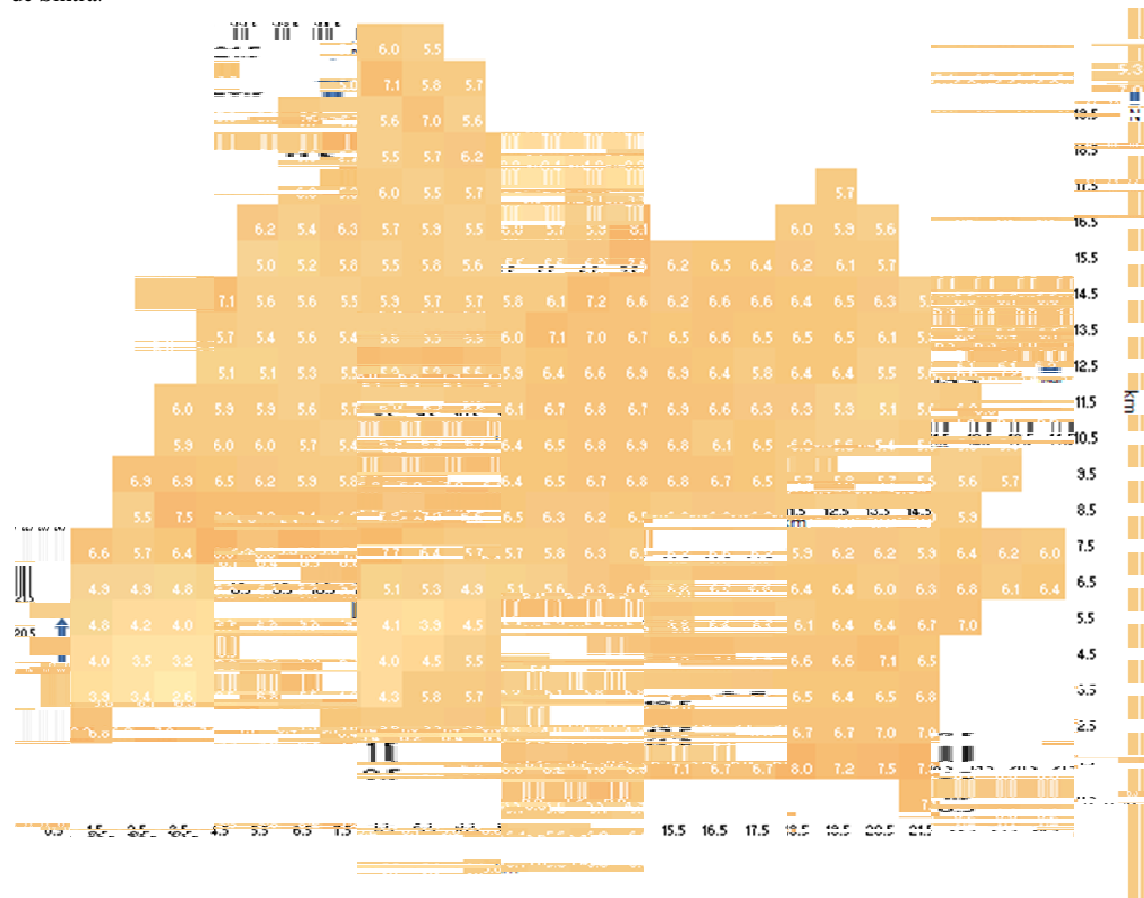


Tabela 36 – Distribuição espacial da amplitude térmica para o mês de Outubro, com resolução 1km, para o município de Sintra.



### 4.3 Precipitação

São apresentados de seguida os mapas para o concelho de Sintra com resolução de 10 m, para os dados de Precipitação acumulada mensal e anual (Figuras 44 a 45) e nas tabelas 37 a apresentam-se os valores correspondentes na resolução 1 km.

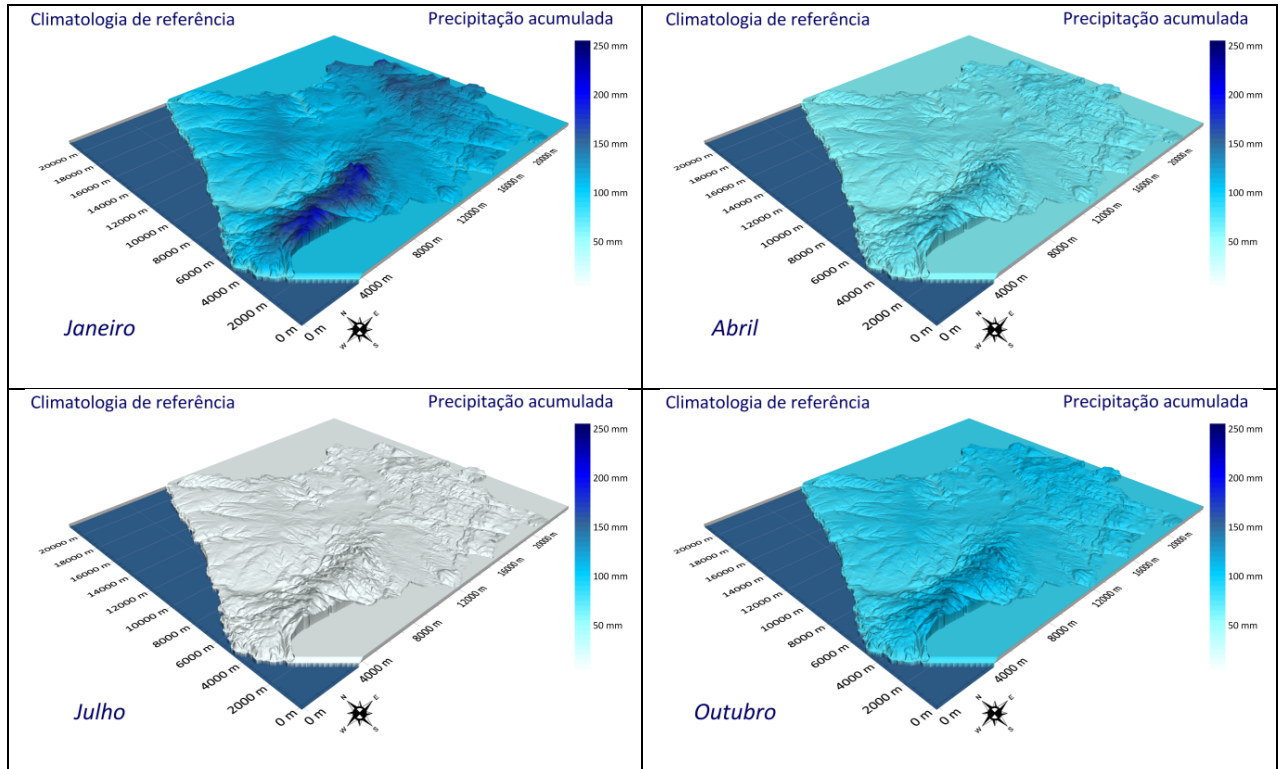


Figura 44 – Cartografia de precipitação acumulada com resolução espacial de 10 m, no período nominal 1961-1990, para o município de Sintra.

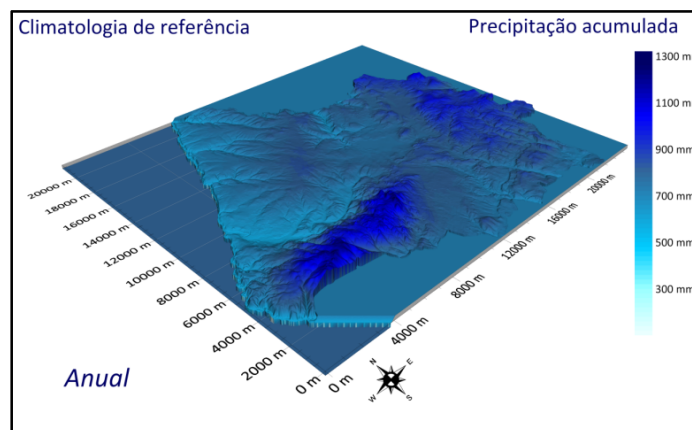


Figura 45 – Cartografia de precipitação acumulada anual com resolução espacial de 10 m, para o município de Sintra.

Pela análise da Figura 44, o mês de Janeiro é o mês que apresenta maior precipitação, atingindo valores na serra de 250 mm de precipitação acumulada mensal, sendo o mês de Julho um mês com valor praticamente nulo de precipitação. Na Figura 45, a evolução espacial da precipitação

acumulada anual apresenta valores bastante elevados na zona da serra de Sintra e da serra da Carregueira.

Tabela 37 – Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Janeiro, com resolução 1km, para o município de Sintra.

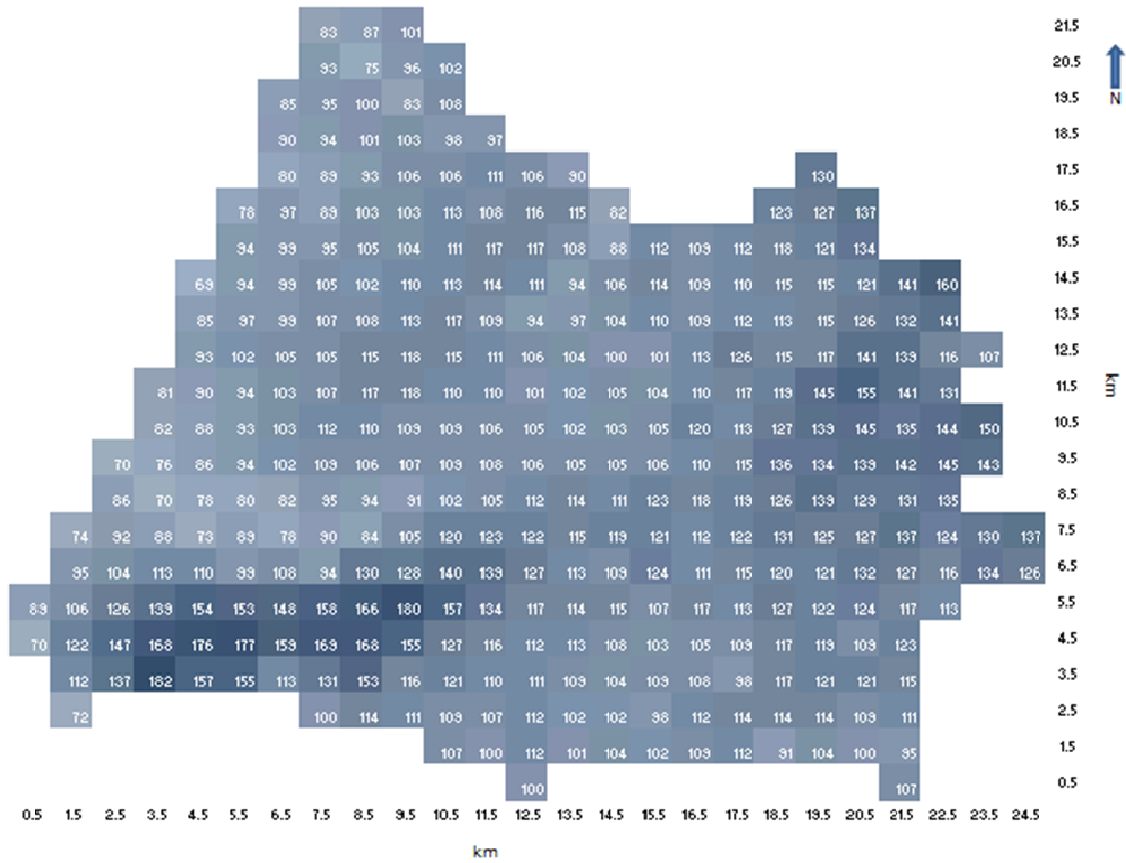


Tabela 38 – Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Abril, com resolução 1km, para o município de Sintra.

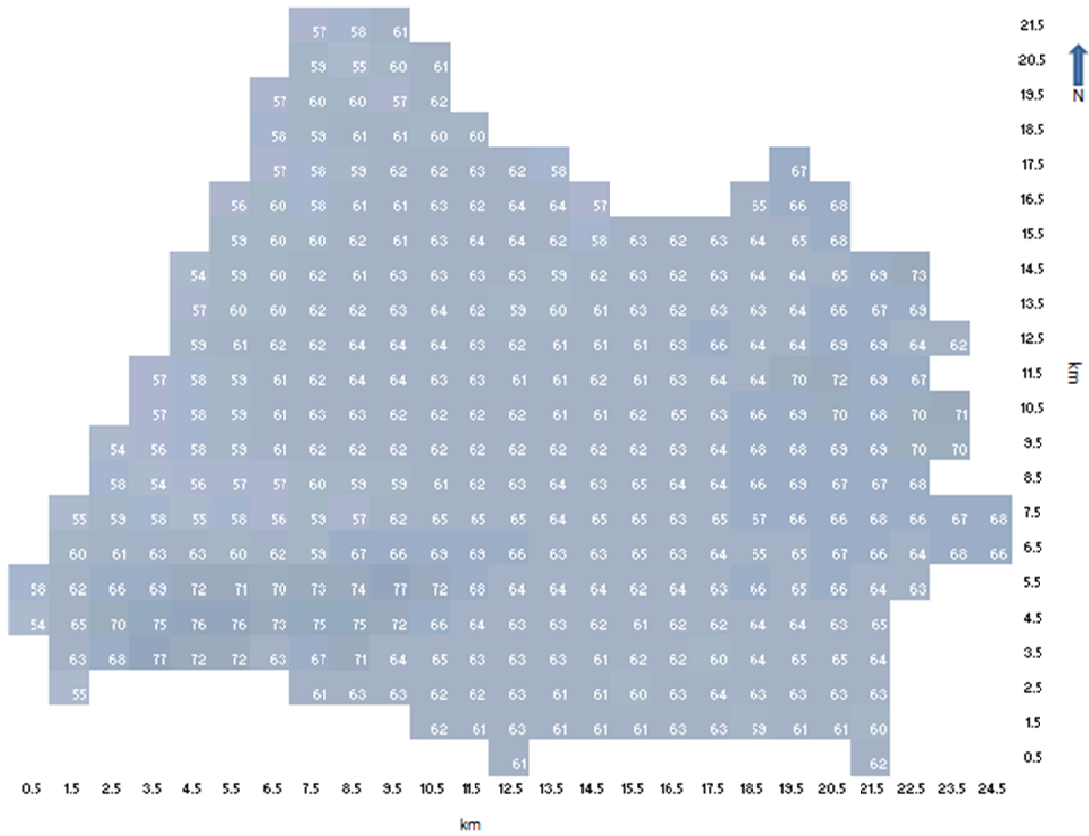
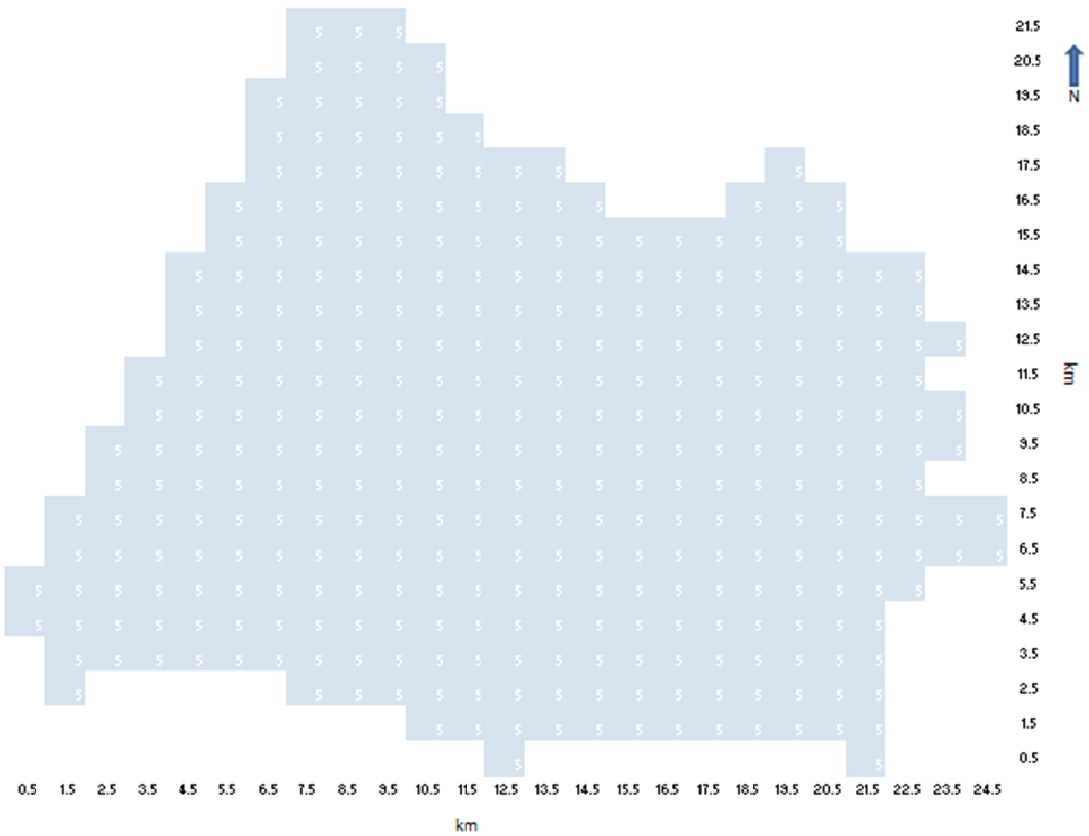


Tabela 39 – Distribuição espacial da precipitação acumulada, para o mês de Julho, com resolução 1km, para o município de Sintra.





#### **4.4 Outros parâmetros meteorológicos: Humidade Relativa, intensidade do vento média, Índice de claridade, Radiação solar e Pressão atmosférica**

Dada a existência de poucas estações meteorológicas com dados diários destes novos parâmetros, apenas são apresentados os dados existentes.

Complementarmente, foram também analisados outros parâmetros meteorológicos além da temperatura média, da amplitude térmica e da precipitação, nomeadamente a humidade relativa (%), intensidade do vento média (m/s) e Radiação global e pressão atmosférica. De seguida faz-se uma breve análise exploratória dos poucos dados diários existentes.

##### **4.4.1 Humidade Relativa**

Os dados observados de humidade relativa apenas existem para duas estações meteorológicas do município: Cabo da Roca, para o período 1978 – 1986 (9 anos); e Sintra / Granja, para o período de 1961 a 1990 (30 anos). De seguida são apresentados os valores e os gráficos com a evolução mensal da humidade relativa para cada estação meteorológica no seu respectivo período (Tabela 42 e Figuras 46 e 47).

Tabela 42 – Humidade relativa média mensal (%) relativa a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos

Mês	HR (%)	HR (%)
	Cabo da Roca (1978 - 1986)	Sintra / Granja (1961 - 1990)
Janeiro	78	87
Fevereiro	81	85
Março	80	80
Abril	79	77
Maio	82	75
Junho	85	75
Julho	86	74
Agosto	86	74
Setembro	85	77
Outubro	80	82
Novembro	78	84
Dezembro	80	86

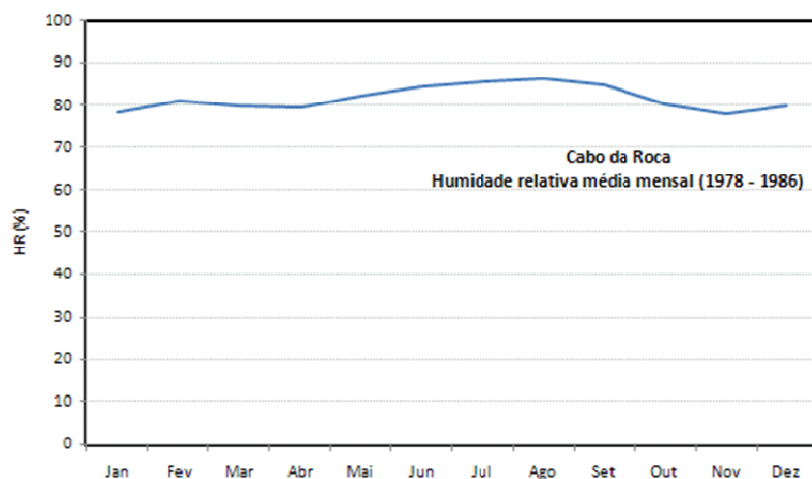


Figura 46 – Humidade relativa média mensal, para Cabo da Roca no período de 1978 – 1996.

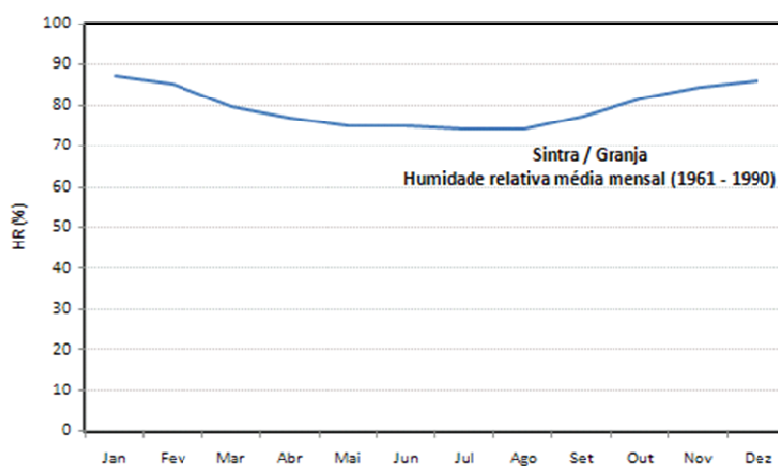
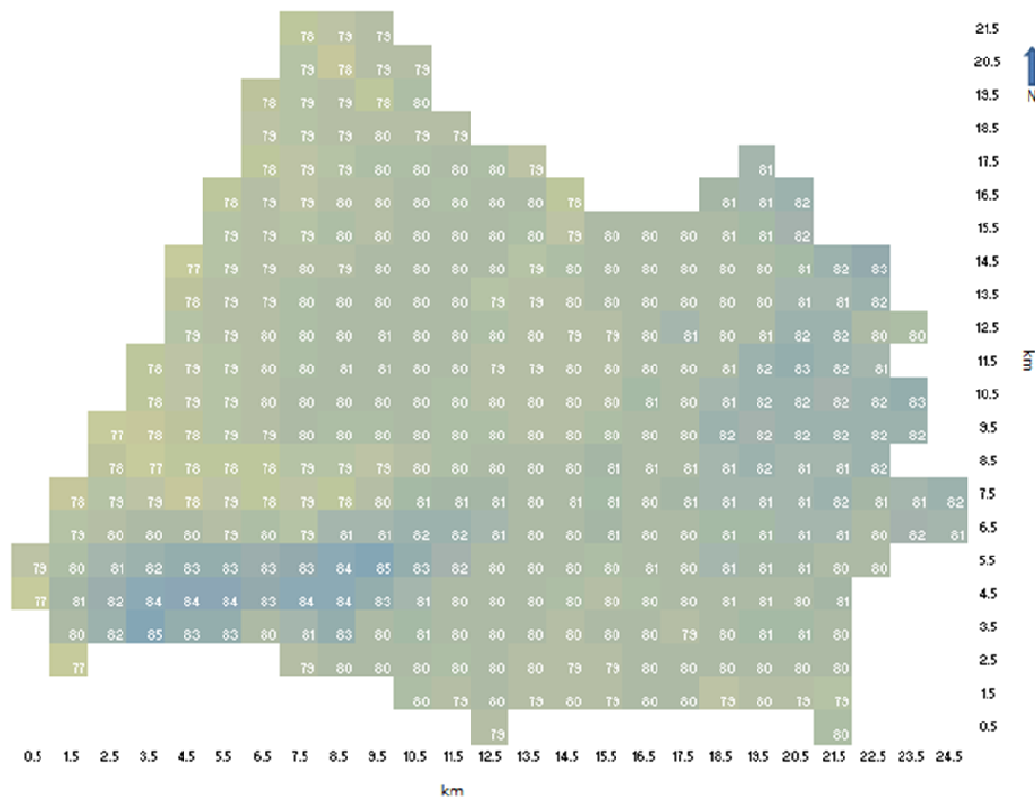


Figura 47 – Humidade relativa média mensal, para Sintra / Granja no período de 1961 – 1990.

Pela análise das Figuras 46 e 47 e Tabela 42, é possível verificar que a sazonalidade é baixa e em geral os valores são elevados, mesmo no Verão.

A Tabela 43 mostra a evolução espacial da humidade relativa numa base anual, para o período de referência 1961 – 1990.

Tabela 43 – Distribuição espacial da humidade relativa média anual (%), no período de referência 1961 – 1990, para a região de Sintra



Para efeitos práticos e uma vez que se tratava apenas de um parâmetro auxiliar, usou-se como referência a climatologia de Sintra-Granja e aplicou-se simplesmente uma expressão de Labajo et al. (1989) que relaciona as variações de humidade relativa média simplesmente com as da temperatura média. Na prática considera-se que a humidade absoluta é constante no território, e que as variações de pressão, que também afectam as de humidade relativa, são indirectamente traduzidas pelas variações de temperatura.

#### 4.4.2 Intensidade do vento média

Para a intensidade do vento média apenas existem dados observados em três estações meteorológicas, Cabo da Roca, Colares e Sintra / Granja. São apresentados na Tabela 44, os valores da intensidade do vento média mensal para cada estação no seu respectivo período e nas Figuras 48 a 49, os gráficos referentes à intensidade do vento média mensal para cada estação.

Tabela 44 – Intensidade do vento média mensal (m/s), relativa a Cabo da Roca, Colares e Sintra / Granja

Mês	V (m/s)	V (m/s)	V (m/s)
	Cabo da Roca (1961 - 1990)	Colares (1970 - 1996)	Sintra / Granja (1971 - 2000)
Janeiro	3.76	2.36	2.94
Fevereiro	3.91	2.68	3.17
Março	3.79	2.45	3.13
Abril	3.62	2.48	3.54
Mai	3.63	2.26	3.51
Junho	3.82	1.91	3.61
Julho	4.18	1.76	4.08
Agosto	4.21	1.73	3.64
Setembro	3.78	1.69	3.06
Outubro	3.79	1.87	2.96
Novembro	3.81	2.07	3.01
Dezembro	3.84	2.40	3.29

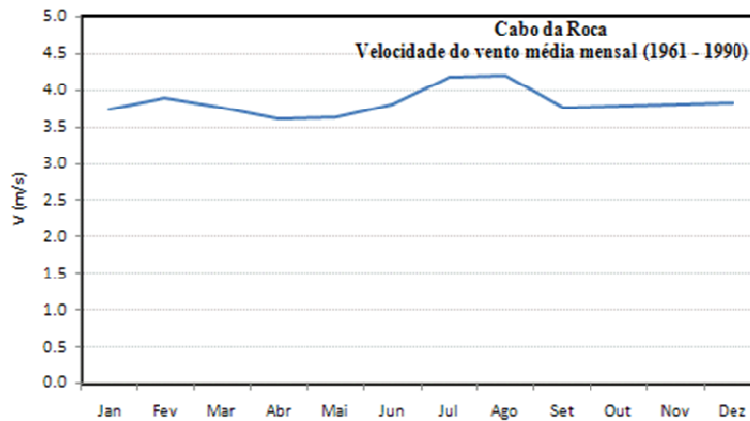


Figura 48 – Intensidade do vento média mensal, para Cabo da Roca no período de 1961 – 1990.

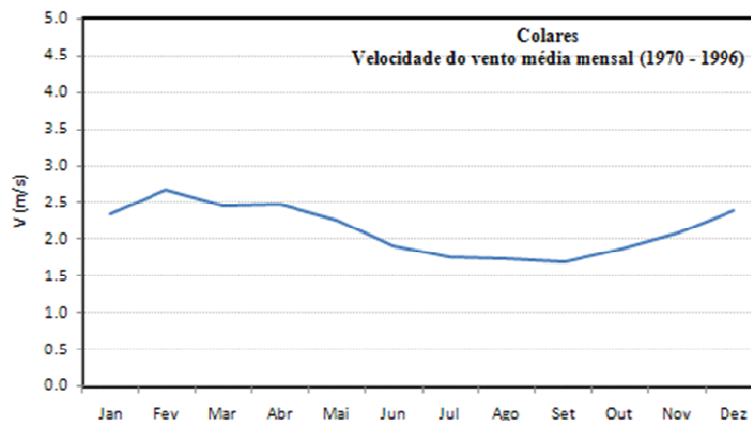


Figura 49 – Intensidade do vento média mensal, para Colares no período de 1970 – 1996.

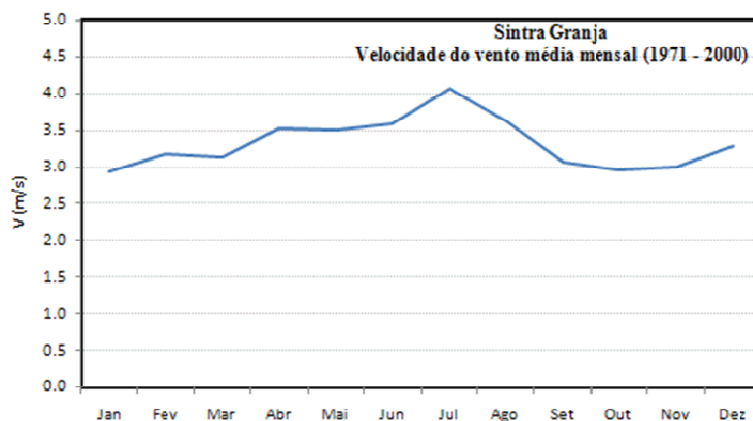
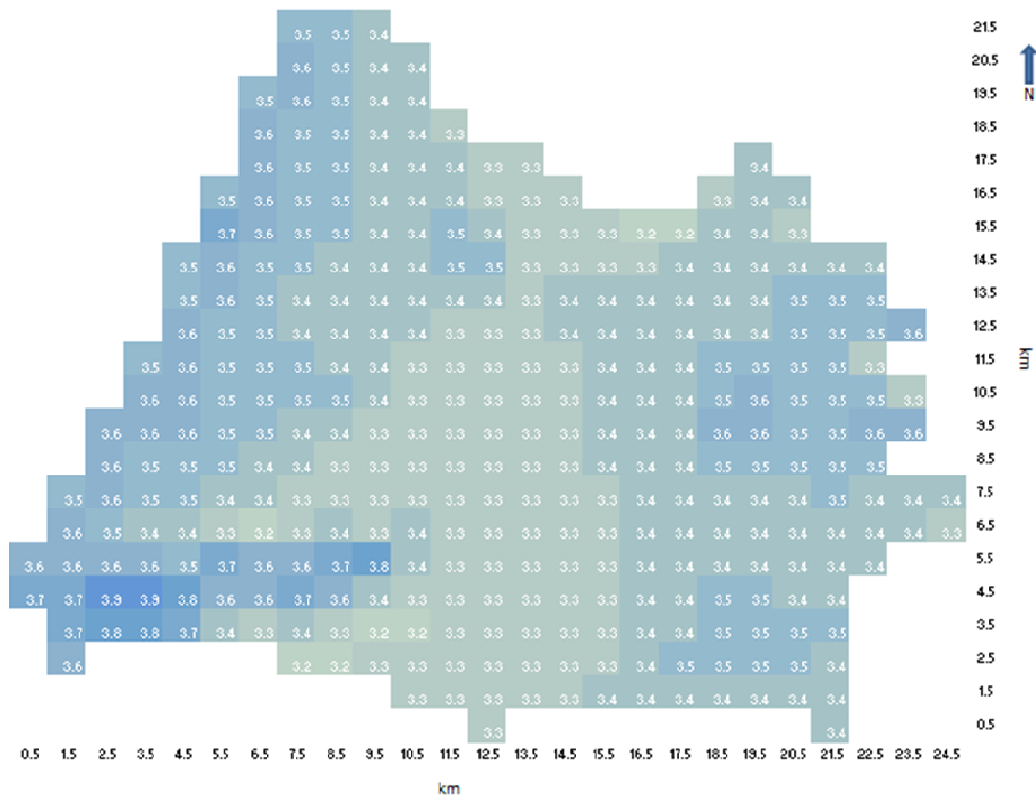


Figura 50 – Intensidade do vento média mensal, para Sintra / Granja no período de 1971 – 2000.

As intensidades do vento verificadas são mais elevadas na estação junto ao oceano (Cabo da Roca) do que na mais interior (Colares). O rumo do vento é predominantemente de norte e noroeste.

A distribuição espacial numa base anual, no período de referência 1961 – 1990, é mostrada pela Tabela 45.

Tabela 45 – Evolução espacial da velocidade média anual (m/s), no período de referência 1961 – 1990, para a região de Sintra.



Foi utilizado para este parâmetro, o padrão espacial dos valores anuais existente no Plano Energético de Sintra e desenvolvido pelo Paulo Costa, Ana Estanqueiro e Pedro Miranda. Os mapas mensais foram obtidos ajustando o padrão anual de forma proporcional à climatologia de Sintra-Granja.

### 4.4.3 Radiação solar

Não existem dados de radiação solar global na horizontal no Concelho (G), mas apenas de insolação (S, número de horas de Sol descoberto). Assim foi necessário usar um modelo simplificado para estimar a climatologia da radiação solar a partir da climatologia da insolação. Utilizou-se o modelo de Suehrcke (Tiba et al., 2002):

$$G_m / [G_{cl}]_m = (S_m / S_{0m})^{1/2} \tag{4.1}$$

onde o índice m indica valores médios mensais de longo prazo, o índice cl indica o valor máximo da radiação, i.e. a situação de céu limpo e o índice 0 indica o valor máximo da insolação, i.e. o comprimento do período diurno.

Esta fórmula também se pode escrever, com certas vantagens operacionais, utilizando o chamado índice de claridade,  $K_t = G/G_0$ , onde neste caso o índice 0 indica o valor de G no topo da atmosfera.

$$[K_t]_m = [K_{t,cl}]_m (S_m/S_{0m})^{1/2} \quad (4.2)$$

A estimativa do índice de claridade sob céu limpo,  $K_{t,cl}$ , é objecto de modelos que podem ser muito complexos, contudo o conhecimento da climatologia radiativa geral em Portugal (Aguiar, 1998) aconselhou para este caso a utilização simplesmente de um valor fixo, 0.74.

Existem duas estações meteorológicas, Cabo da Roca e Sintra / Granja com dados de insolação. São apresentados na Tabela 46 e 47, os valores de  $S_m$  e de  $[K_t]_m$  para cada estação e na Figura 51 é apresentada a evolução sazonal de  $[K_t]_m$  para cada estação.

Tabela 46 –  $S_m$ , relativo a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos

Mês	$S_m$	
	Cabo da Roca (1940 - 1966)	Sintra / Granja (1957 - 2003)
Janeiro	4.4	4.9
Fevereiro	5.2	5.4
Março	5.4	6.4
Abril	7.2	7.7
Maio	8.0	8.6
Junho	8.2	9.3
Julho	8.8	10.2
Agosto	8.9	10.0
Setembro	7.3	8.1
Outubro	6.6	6.7
Novembro	4.9	5.4
Dezembro	4.5	4.5

Tabela 47 –  $K_t$ , relativo a Cabo da Roca e Sintra / Granja nos seus respectivos períodos

Mês	$K_t$	
	Cabo da Roca (1940 - 1966)	Sintra / Granja (1957 - 2003)
Janeiro	0.50	0.53
Fevereiro	0.52	0.53
Março	0.50	0.55
Abril	0.55	0.57
Maio	0.56	0.58
Junho	0.55	0.59
Julho	0.58	0.62
Agosto	0.60	0.64
Setembro	0.57	0.60
Outubro	0.57	0.57
Novembro	0.52	0.54
Dezembro	0.51	0.51

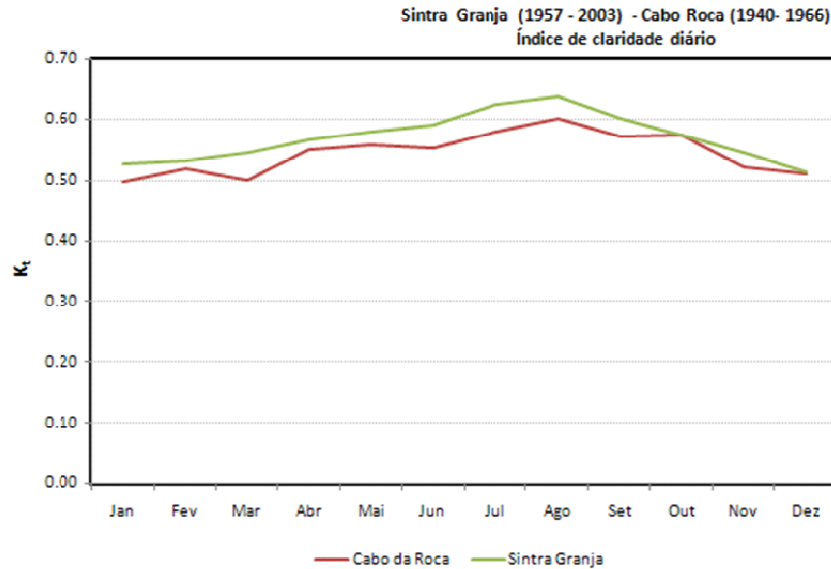


Figura 51 – Evolução sazonal do índice de claridade para as estações de Cabo da Roca e Sintra Granja, nos seus respectivos períodos.

O índice de claridade apresenta uma variação nas duas estações por acaso até é muito significativo, em especial do ponto de vista da energia.

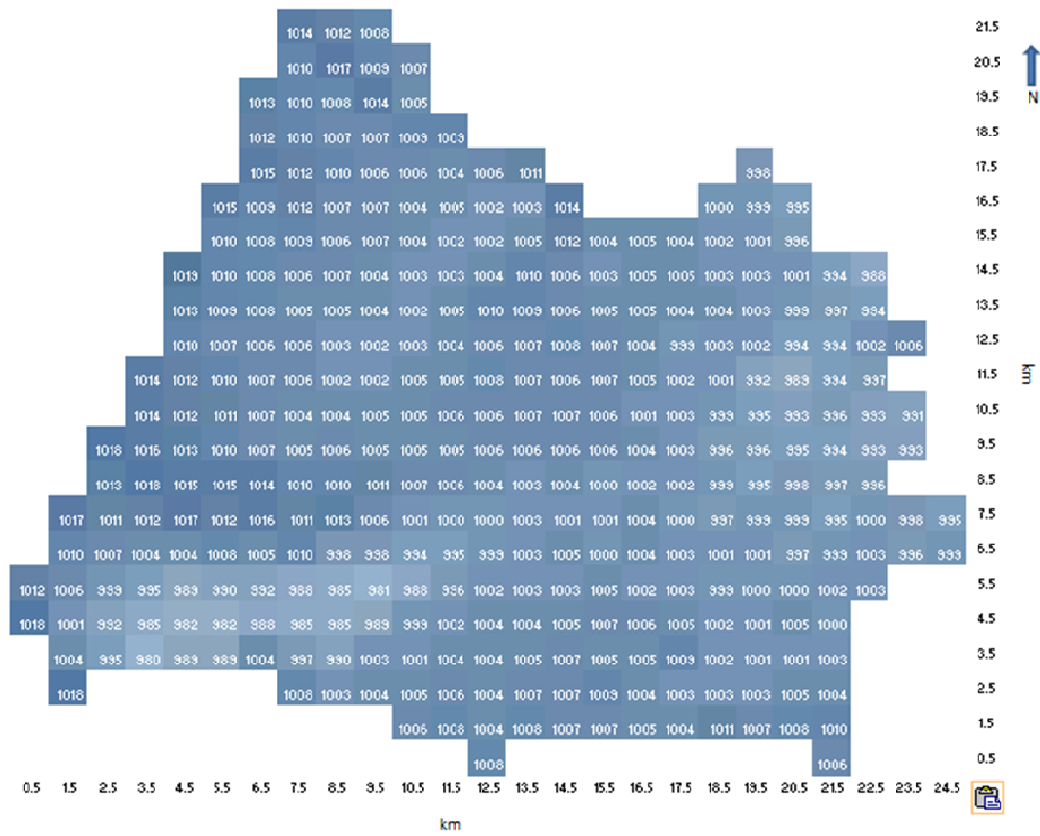
#### 4.4.4 Pressão atmosférica

Para estudos de impacto e adaptação a informação sobre pressão atmosférica não é muito solicitada. Algumas utilizações para esta informação são no cálculo da humidade absoluta a partir da humidade relativa, e na sobreelevação do nível do mar durante temporais (erosão em arribas, invasão de praias). No entanto no último caso e no presente contexto não é possível chegar ao detalhe temporal onde tais dados seriam úteis. Por outro lado, os cenários disponíveis para valores mensais de longo prazo não indicam uma variação significativa com o aquecimento global, no caso de Sintra.

Ainda assim procedeu-se à espacialização dos dados de pressão atmosférica, com um método simples. Designadamente, para valores mensais de longo prazo, e para cada célula, corrigiu-se a pressão reduzida ao nível do mar observada em Sintra-Granja, de acordo com a altitude indicada pelo modelo digital de terreno e as temperaturas fornecidas pelos modelos microclimáticos.

A evolução espacial da pressão atmosférica anual, para o período de referência 1961 – 1990, é mostrada pela Tabela (48).

Tabela 48 – Distribuição espacial da pressão atmosférica em hPa, para o período de referência 1961 – 1990, no município de Sintra.



## 5 Aplicações

Neste capítulo serão apresentadas algumas aplicações da microclimatologia desenvolvida e uma breve descrição de algumas técnicas necessárias para poder aplicar a espacialização nessas áreas de estudo.

### 5.1 Regionalização de séries diárias

Em geral, para os modelos sectoriais da Agricultura, Florestas, Energia, Recursos Hídricos, etc. não basta a informação climática mensal: é necessário trabalhar com séries de valores diários, ou mesmo horários, em alguns casos. A microclimatologia para a região de Sintra deve pois ser ligada com outros métodos de construção de séries diárias para poder revelar toda a sua utilidade.

No caso do Projecto SIAM Sintra estava ainda em causa a regionalização de informação de Modelos de Circulação Global (GCMs na sigla inglesa) para cenários de alterações climáticas, em particular do cenário base e dos quatro cenários SRES (Nakicenovic et al., 2000) do modelo HadCM3 do Hadley Centre, o que acrescentava ainda mais complexidade ao processo de utilização prática da microclimatologia desenvolvida neste trabalho.

Existem vários métodos de regionalização de GCMs, desde modelos físicos numéricos a modelos estocásticos (Lopes, P., 2008) e a simples factores de escala, que resultam directamente em séries diárias numa estação de referência, nesta caso Sintra-Granja. A abordagem seguida depende muito dos objectivos de cada estudo, bem como dos dados preditores efectivamente existentes para cada cenário e de dados para calibração e validação adequados. Neste caso, vários constrangimentos deste género, a intenção de usar os quatro cenários SRES (sendo que só nos cenários A2 e B2 havia dados diários disponíveis) e o período muito curto de execução do Projecto forçaram ao uso de um método simples usando factores de escala multiplicativos obtidos da comparação entre a climatologia da célula do modelo GCM e a da estação de referência (usando graus K em vez de °C no caso das temperaturas). Estes factores foram depois aplicados à série de valores mensais da estação de referência para cada cenário futuro.

No caso da temperatura e precipitação foi usado um método de análogos ou fragmentos para reconstituição das séries (Bernardino, M., 1997); nos casos da radiação solar e humidade foram usados métodos estocásticos usando os valores mensais como entrada (Aguiar *et al.*, 1988; Aguiar, 1996, 1998); e nos casos do vento e pressão atmosférica usou-se simplesmente uma interpolação cúbica apoiada nos valores mensais, atribuídos ao dia central de cada mês.

Mas a abordagem concreta seguida é em princípio irrelevante para a ligação aos modelos microclimáticos, apenas bastando existir a série de valores diários na estação de referência, e efectivamente não constitui objecto desta Tese, podendo ser encontrados os detalhes nas publicações do Projecto SIAM Sintra.

Estando a série de valores diários na estação de referência disponível para um certo cenário, o procedimento de espacialização consistiu em, para cada mês, aplicar os factores multiplicativos que se obtêm da razão entre os valores modelados na célula-alvo e os valores modelados para a célula que inclui a estação de referência.

Este procedimento deve no entanto ter em conta o uso de graus K para a temperatura, bem como a existência de valores extremos, quer climáticos quer mesmo físicos. São exemplos a gama de valores físicos de humidade relativa, 0% a 100%, o valor da radiação solar sob céu limpo, ou a temperatura máxima que presumivelmente não poderia ter valores superiores a, digamos 50°C. Para estabelecer limites concretos foram obtidas gamas de valores extremos observadas no território em análise, e aplicada uma majoração *ad hoc*. No caso da temperatura média temperatura máxima e amplitude térmica a majoração foi de 2°C acima do valor máximo, resultando respectivamente em 34.1°C, 43.6°C e 29.7 °C. Para a temperatura mínima foi de -1°C, o que aplicado à mínima das mínimas resultou em -6.5°C. Finalmente para a precipitação diária foi de 10% em relação ao máximo valor observado, resultando no limite 157 mm. Sempre que o processo de aplicação de factores multiplicativos causava a ultrapassagem destes limites num ou mais dias de uma série, estes valores eram fixados como iguais aos valores limite, e toda a série reajustada de forma a preservar o valor médio mensal pretendido. Note-se que na prática isto sucedeu muito raramente (entre ca. 0. 1% dos casos no cenário SRES B1 e ca. 0. 5% no cenário SRES A1, para o horizonte 2070-99) e, quase sem excepção, por ultrapassagem do limiar de temperatura máxima.

## 5.2 Valores horários

Em certos casos é necessária informação horária além da informação diária. No Projecto SIAM Sintra foram nomeadamente os casos dos índices de risco de incêndio e de conforto térmico. Para o primeiro são necessários valores ao meio-dia de temperatura, humidade relativa, e intensidade do vento; para o segundo são necessários valores para a hora que se está a examinar, de temperatura, humidade relativa, intensidade do vento e ainda, de radiação solar global.

Estes valores horários foram estimados à custa de modelos de perfis médios diários definidos pelos valores médios diários: ver Erbs (1984) para a temperatura; Collares Pereira and Rabl (1979) para a radiação global; e Labajo *et al.* (1989) para a humidade. No caso da magnitude do vento e de acordo com uma breve análise de informação existente para algumas estações da zona de Lisboa, adoptou-se um valor ao meio-dia, 10% superior ao valor médio diário (Aguiar, 1996).

## 5.3 Desenvolvimento de cenários climáticos

Em Portugal, foram realizados alguns trabalhos no que diz respeito às Alterações Climáticas, nomeadamente: Santos. *et al.* (2001a), Santos *et al.* (2001c) e Santos e Miranda (Eds.) (2005). Estes trabalhos tiveram como objectivo o desenvolvimento de cenários, impactos e medidas de adaptação para Portugal face às alterações climáticas.

Como acima mencionado, no âmbito do projecto SIAM Sintra foram obtidos cenários climáticos para cada variável meteorológica, (utilizando o método introduzido pelo capítulo 5.1), utilizando os dados do modelo HadCM3 –um modelo acoplado de atmosfera – oceano à escala global, com resolução  $2.5^\circ \times 3.75^\circ$  (220 por 420 km). . Foi o modelo utilizado pelo Hadley Centre para o 3º relatório do Intergovernmental Panel of Climate Change.

De seguida serão apresentados cenários climáticos para alguns parâmetros e índices meteorológicos.

- **Temperatura média**

São apresentados de seguida, mapas com resolução de 10m para o cenário A2 para 2070 – 2099 (Figura 52 e 53), sendo apresentada na Figura 41 e 42, a climatologia de referência.

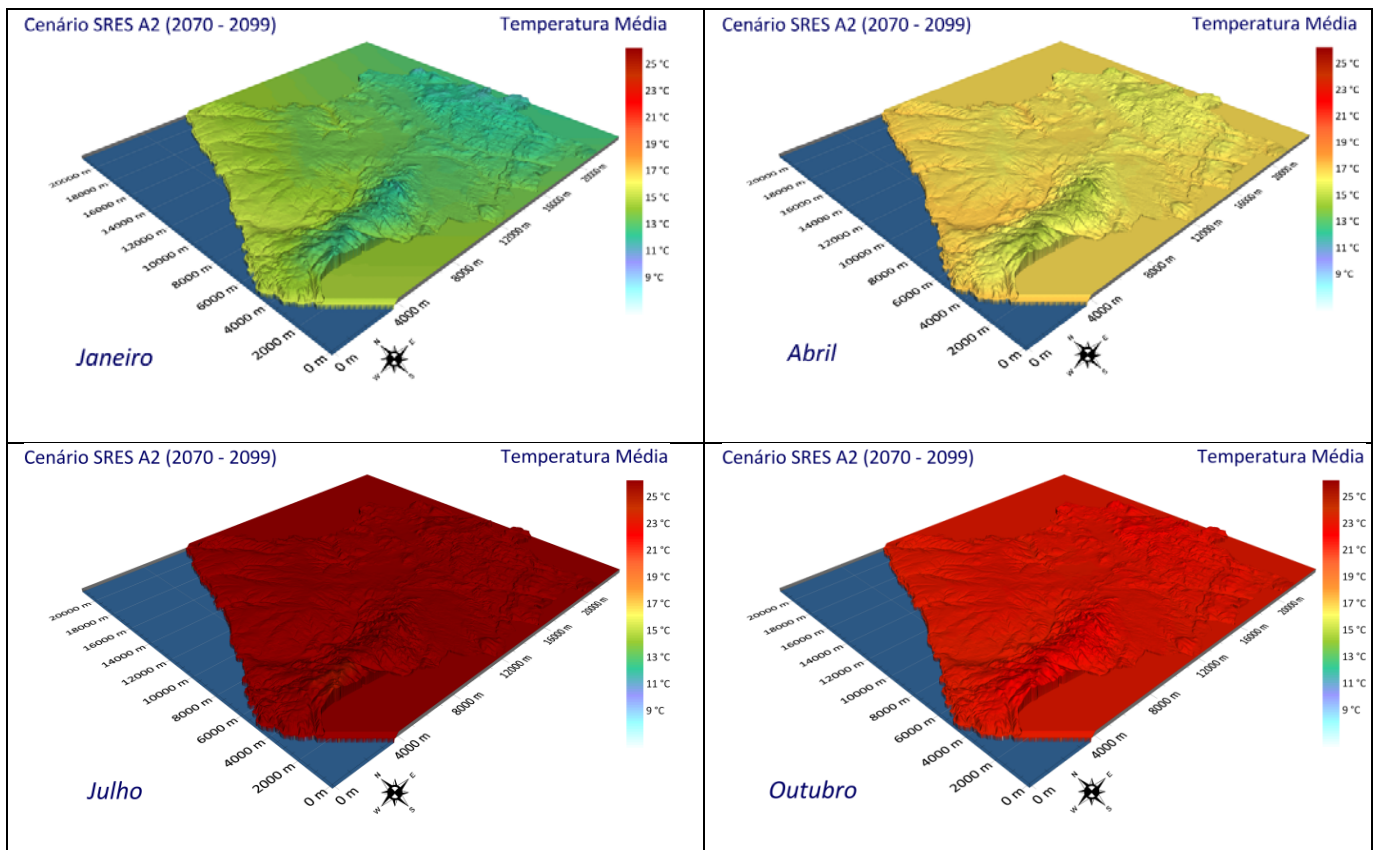


Figura 52 – Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a temperatura média nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.

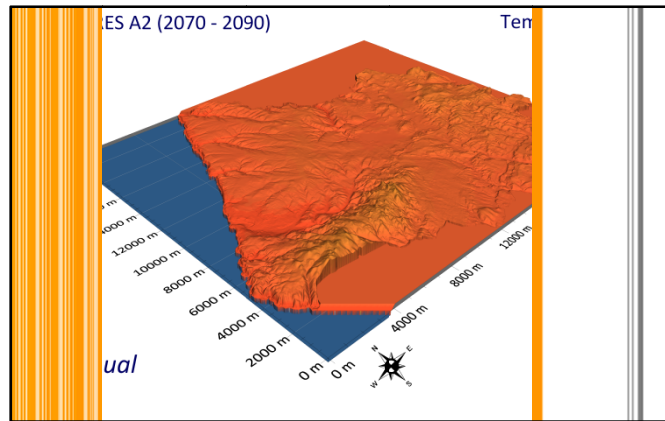
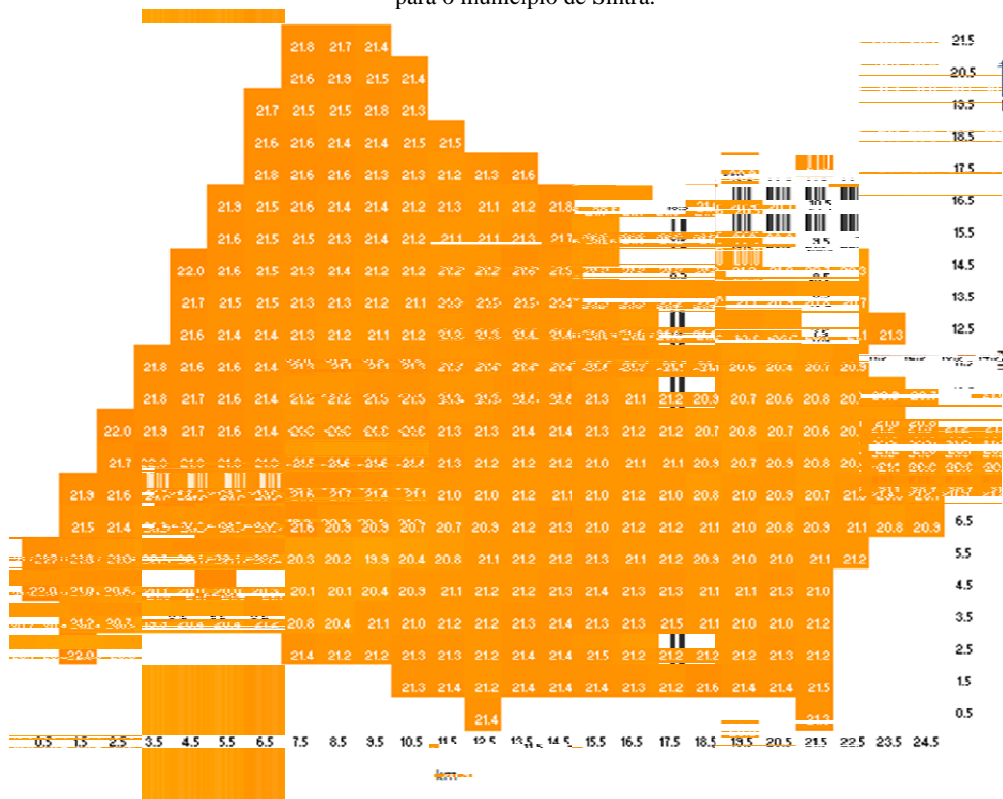


Figura 53 – Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a temperatura média anual.

Comparando o cenário A2 com a climatologia de referência, é possível verificar que neste cenário, para 2070 – 2099 a temperatura média sobe cerca de 3°C em Janeiro e Abril, 8°C em Julho, 6°C em Outubro e a nível anual sofre um aumento de cerca de 4°C.

Segue-se a Tabela 49, com o mapa de resolução 1 km, para o cenário SRES A1 e para o período 2070 – 2099 na base anual; ter em atenção a climatologia de referência anual apresentada na Tabela 32, capítulo 4.1.

Tabela 49 – Cenário SRES A1 (2070 – 2099) – para a temperatura média anual com resolução 1km, para o município de Sintra.



O cenário SRES A1, é um cenário em que aumenta drasticamente o valor da temperatura média anual, para o período 2070 - 2099, chegando mesmo a aumentar cerca de 7°C em cada ponto da grelha. Os restantes cenários, também registaram um aumento da temperatura média, mas não foi tão violento como o obtido para o cenário A1.

- **Precipitação acumulada**

Para a precipitação serão apresentados mapas com resolução de 10m para o cenário A2 para 2070 – 2099 (Figura 54 e 55), tendo sido apresentado no capítulo 4.3, a climatologia de referência (1961 - 1990).

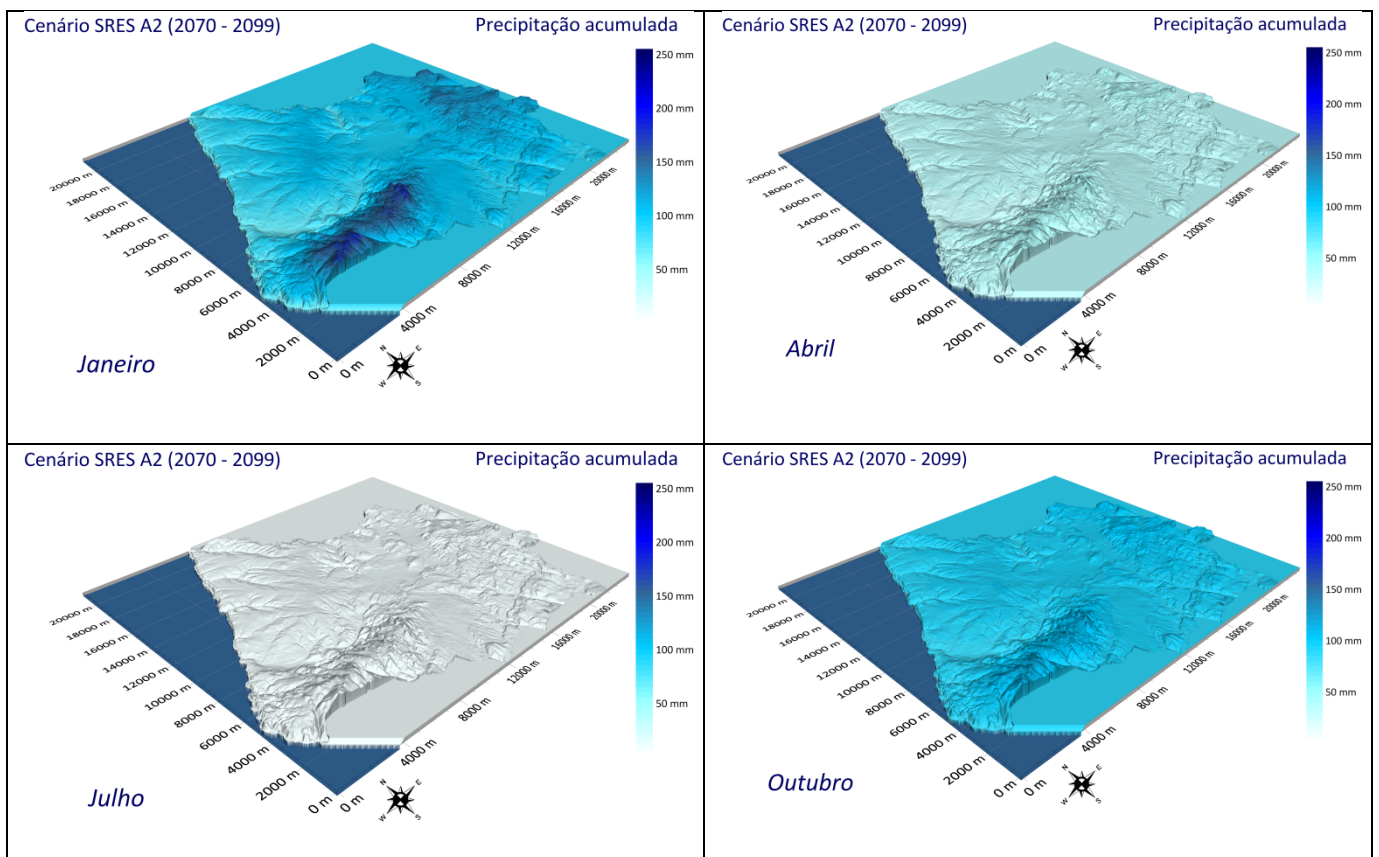


Figura 54 – Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a precipitação acumulada nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.

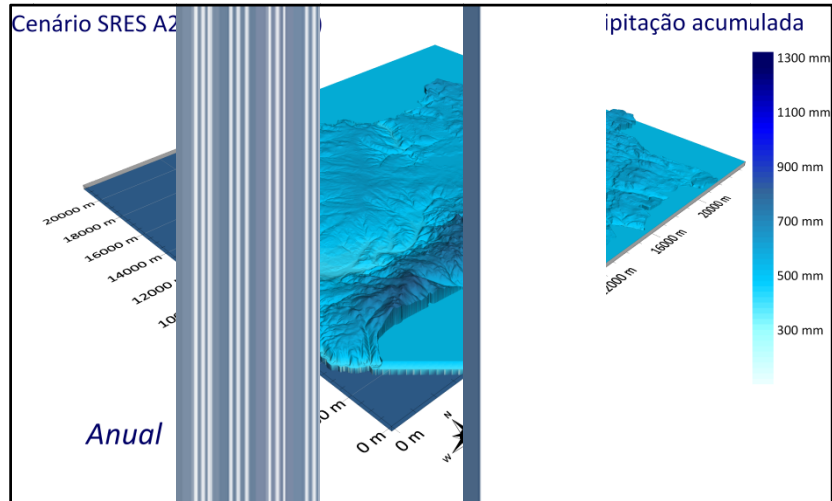
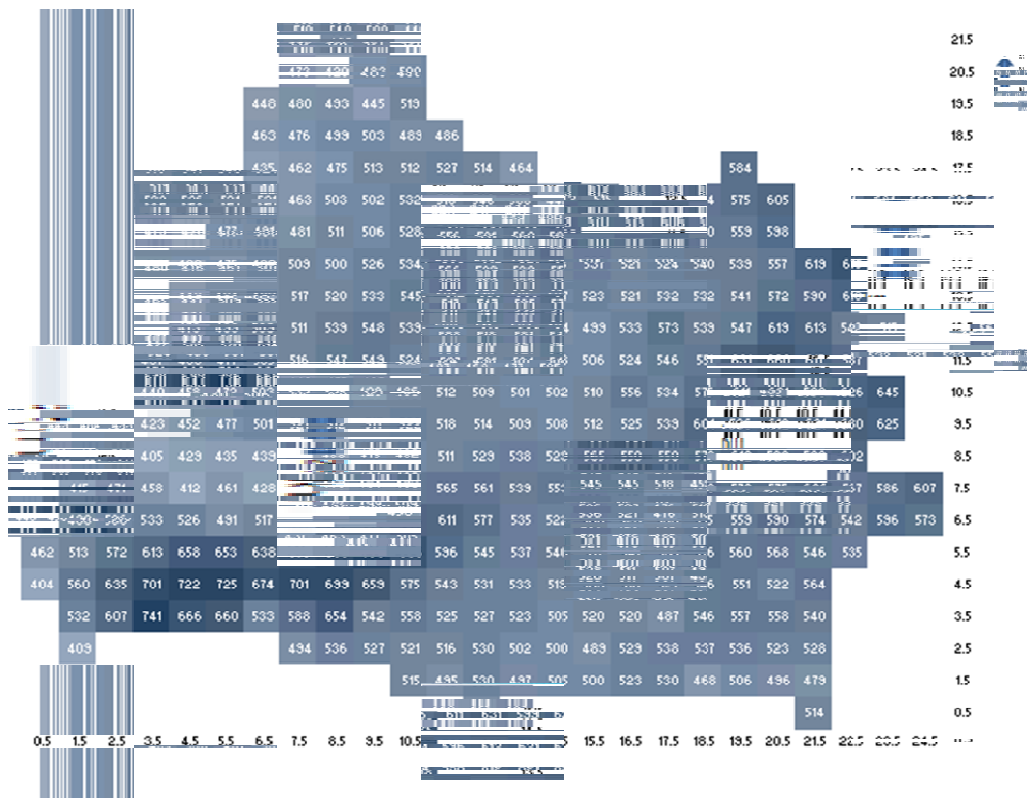


Figura 55 – Cenário SRES A2, para o período 2070 – 2099, para a precipitação acumulada anual.

A Tabela 50 mostra o mapa de resolução 1 km, para o cenário SRES A1 para o período 2070 – 2099 na base anual, ter em atenção a climatologia de referência anual apresentada na Tabela 41, capítulo 4.3.

Tabela 50 – Cenário SRES A1 (2070 – 2099) – para a precipitação acumulada anual com resolução 1km, para o município de Sintra.



## 5.4 Risco de Incêndio

O índice meteorológico de risco de incêndio FWI foi desenvolvido pelo Serviço Canadano de Florestas (Wagner C. E. *e tal.* 1985 e Wagner C.E., 1987) e é utilizado por vários países do mundo, em particular na Europa. Através da utilização deste índice é possível estimar um risco de incêndio a partir do estado dos diversos combustíveis presentes no solo florestal, estado esse determinado indirectamente através das observações de elementos meteorológicos. Para o cálculo do índice de risco de incêndio do sistema canadiano FWI, são necessários valores observados, às 12 UTC, da temperatura do ar, da humidade relativa, da velocidade do vento e da quantidade de precipitação ocorrida nas últimas 24 horas (12-12 UTC). Sendo o FWI um índice cumulativo, significa que o valor do índice no dia reflecte tanto as condições observadas nesse mesmo dia, como a sua evolução ao longo do tempo desde a data de início do cálculo do índice.

O índice FWI (Figura 56) é composto por 5 sub-índices que são calculados com base nos valores dos elementos meteorológicos que avaliam diferentes estados possíveis do solo. O índice final FWI é então distribuído segundo a escala distrital de risco de incêndio por um conjunto de seis classes de risco: Muito Baixo (0 – 1), Baixo (2 – 4), Moderado (5 – 8), Elevado (9 – 16), Muito Elevado (17 – 29) e Extremo (> 30), que correspondem à escala utilizada durante a época de Verão dos incêndios florestais, entre 15 de Maio e 14 de Outubro.

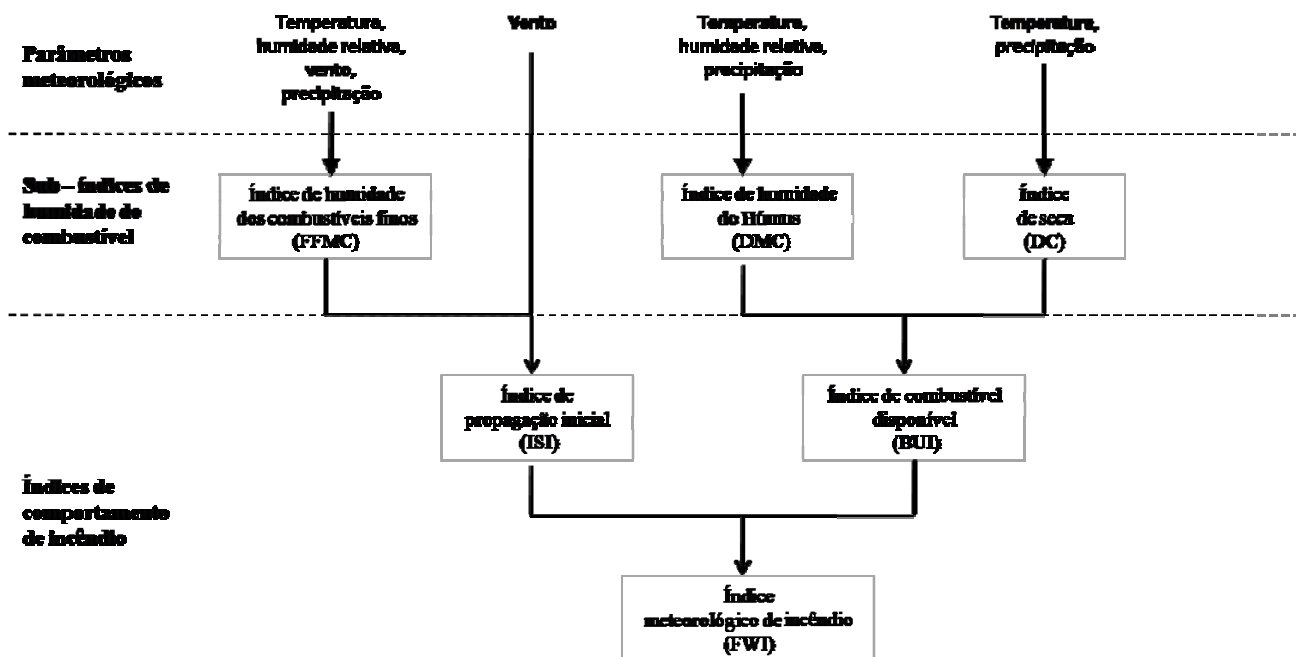


Figura 56 – O diagrama ilustra as componentes necessárias para o cálculo do FWI.

Os componentes do índice FWI são então:

- FPMC (Índice de Humidade dos Combustíveis Finos) – Este índice, classifica os combustíveis finos mortos, de secagem rápida, quanto ao seu conteúdo em humidade. Corresponde assim ao grau de inflamabilidade destes combustíveis, que se encontram à superfície do solo. O conteúdo de humidade destes combustíveis às 12 UTC de um determinado dia, depende do conteúdo de humidade à mesma hora, do dia anterior, da precipitação (mm) ocorrida em 24 horas (12-12 UTC) e da temperatura (°C) e da humidade relativa do ar (%) às 12 UTC do próprio dia. A intensidade do vento influencia apenas na velocidade de secagem destes materiais.
- ISI (Índice de Propagação Inicial) - Este índice de propagação inicial do fogo, depende do sub-índice FPMC e da intensidade do vento (km/h) às 12 UTC.
- BUI (Índice de Combustível Disponível) - O índice de combustível disponível, é um factor de avaliação dos vegetais que podem alimentar um fogo (combustíveis "pesados" que se encontram no solo) e é calculado a partir de dois dos sub-índices: DMC e DC.
- DMC (Índice de Húmus) - Este índice traduz o conteúdo de humidade do húmus e materiais lenhosos de tamanho médio que se encontram abaixo da superfície do solo até cerca de 8 cm. O índice de húmus é calculado a partir da precipitação ocorrida em 24 horas (12-12 UTC), da temperatura e humidade relativa do ar às 12 UTC e do índice de húmus da véspera.
- DC (Índice de Seca) - Este índice é um bom indicador dos efeitos da seca sazonal nos combustíveis florestais (húmus e materiais lenhosos de maiores dimensões), que se encontram abaixo da superfície do solo, entre 8 e 20 cm de profundidade. O índice de seca é obtido a partir da precipitação ocorrida em 24 horas, da temperatura às 12 UTC e do índice de seca verificado na véspera.
- FWI (Índice Meteorológico de Risco de Incêndio) – Este é o índice final do sistema Canadano, sendo calculado em função dos seus sub-índices ISI e BUI.

São apresentados de seguida (Tabelas 51 a 55), mapas com resolução de 1 km para os 4 cenários SRES no período 2070 - 2099, do número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio superior a 5 (risco moderado ou superior).

Tabela 51 – Base 1961 – 1990, com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.

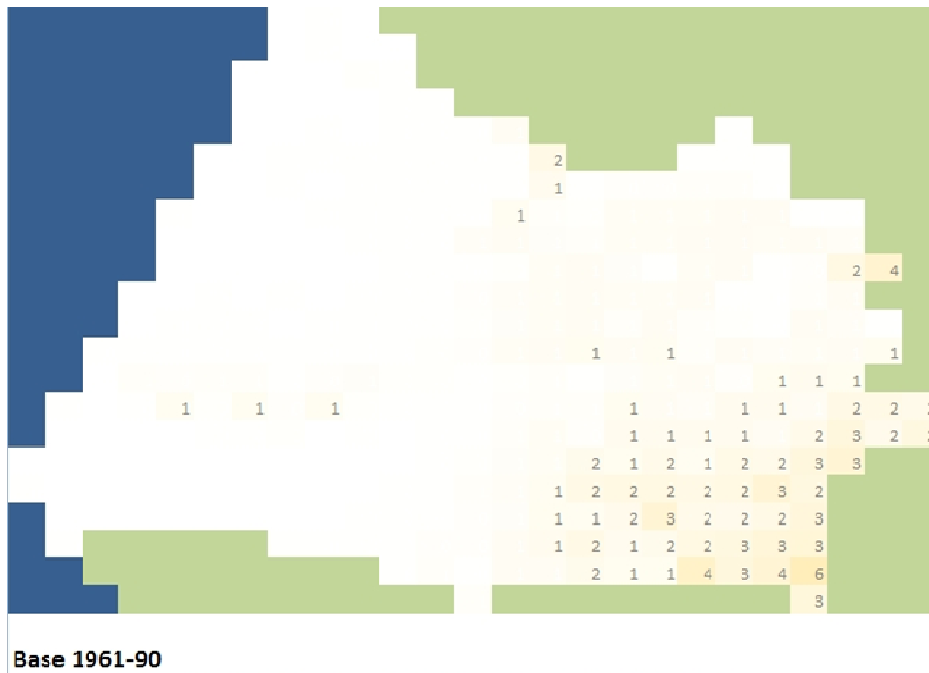


Tabela 52 – Cenário SRES A1 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.

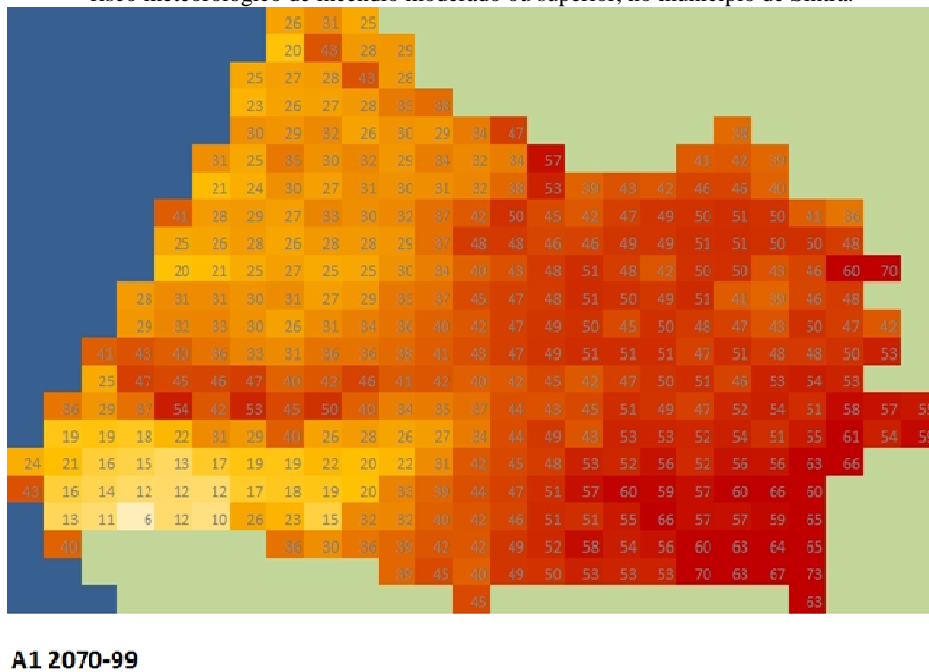


Tabela 53 – Cenário SRES A2 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.

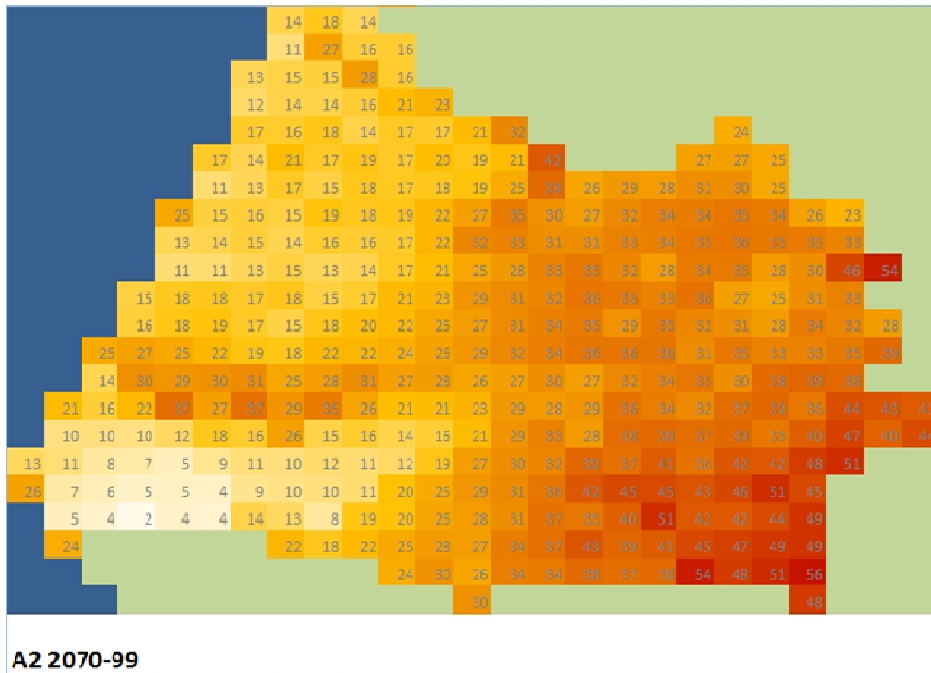
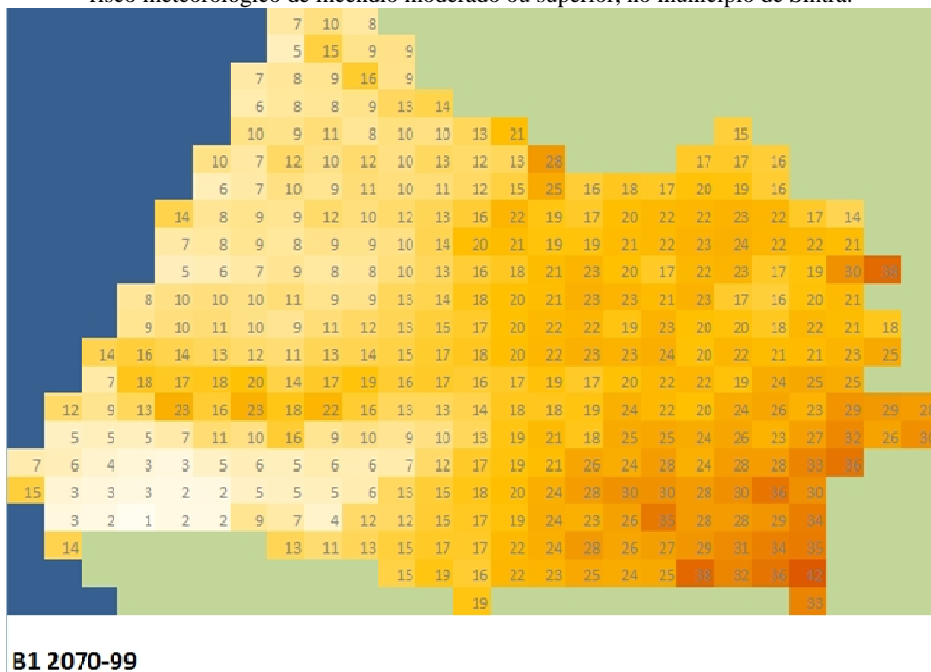


Tabela 54 – Cenário SRES B1 (2070 – 2099) com resolução 1 km, para o número médio anual de dias com índice de risco meteorológico de incêndio moderado ou superior, no município de Sintra.



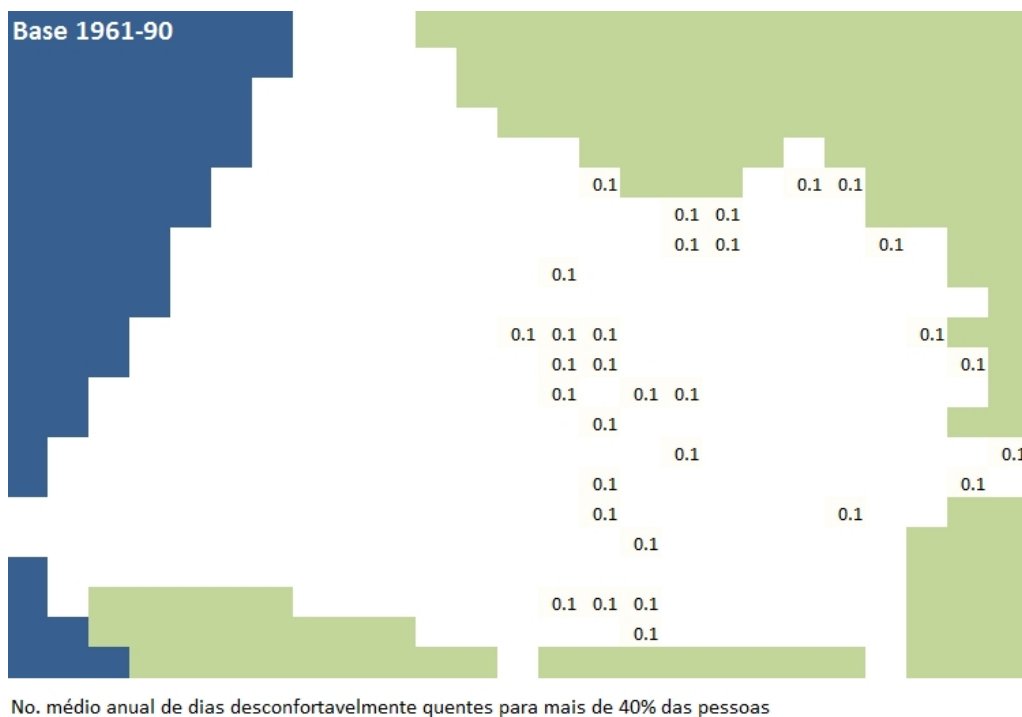


### 5.5 Sensação Térmica

O índice ASV (Actual Sensation Vote) é um índice que mostra o nível de satisfação térmica no exterior votado em inquéritos pelas pessoas. Neste caso consideraram-se os meses de verão, e escolheu-se representar um valor ASV\_JJA que é o número médio anual de dias com Sensação Térmica Votada, acima de 1.2. Este limiar corresponde a 40% das pessoas inquiridas já reportarem desconforto por sensação térmica demasiado quente (RUROS, 1998-2002).

A evolução deste índice de conforto no exterior, encontra representado pelas Tabelas 56 a 60, para o período de base e os todos os cenários SRES para o período 2070 – 2090.

Tabela 56 – Base 1961 – 1990, para o ASV\_JJA com resolução 1km, para o município de Sintra.







### 5.6 Ondas de calor

A onda de calor é definida como a situação em que dois ou mais dias seguidos registam temperatura máxima 5°C acima da média climatológica da temperatura máxima. Neste caso tomou-se como referência a climatologia de Sintra-Granja para o mês de Agosto, 25,4 °C; de forma que o limiar que define a onda de calor é 30,4°C. O limiar foi mantido idêntico para os cenários futuros, i.e. não foi considerada adaptação ao clima.

A representação que se faz a seguir dos resultados baseia-se no número médio anual de dias em situação de onda de calor. São apresentadas tabelas com resolução de 1km, para o período de referência 1961 – 1990, e os cenários SRES A1, A2, B1 e B2 para o período 2070 – 2099 (Tabelas 61 a 65).

Tabela 61 – Base 1961 - 1990, para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.

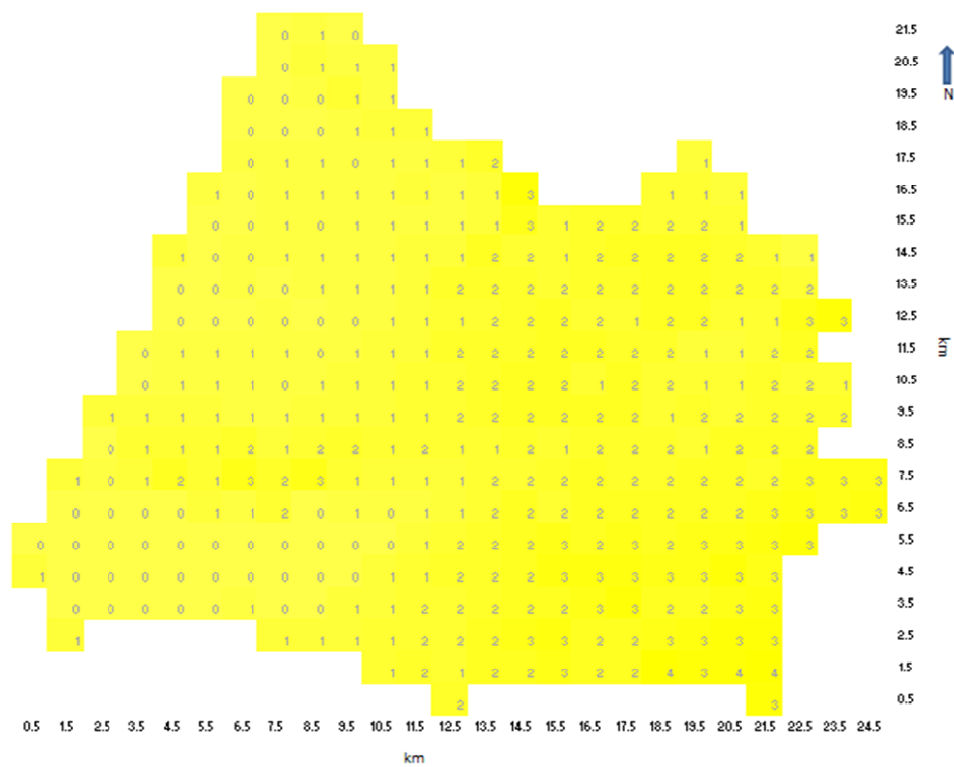


Tabela 62 – Cenário SRES A1 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.

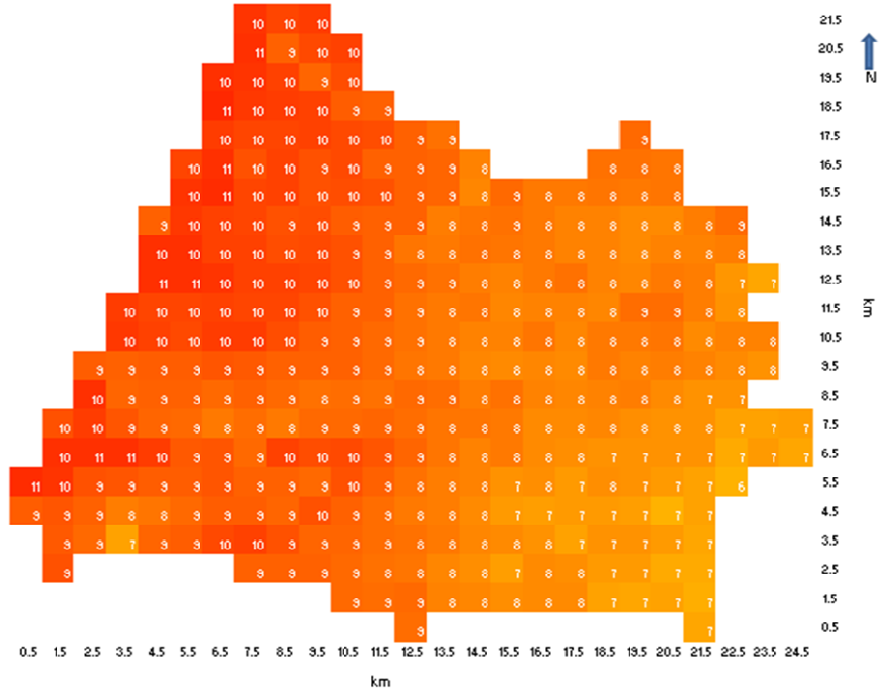


Tabela 63 – Cenário SRES A2 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.

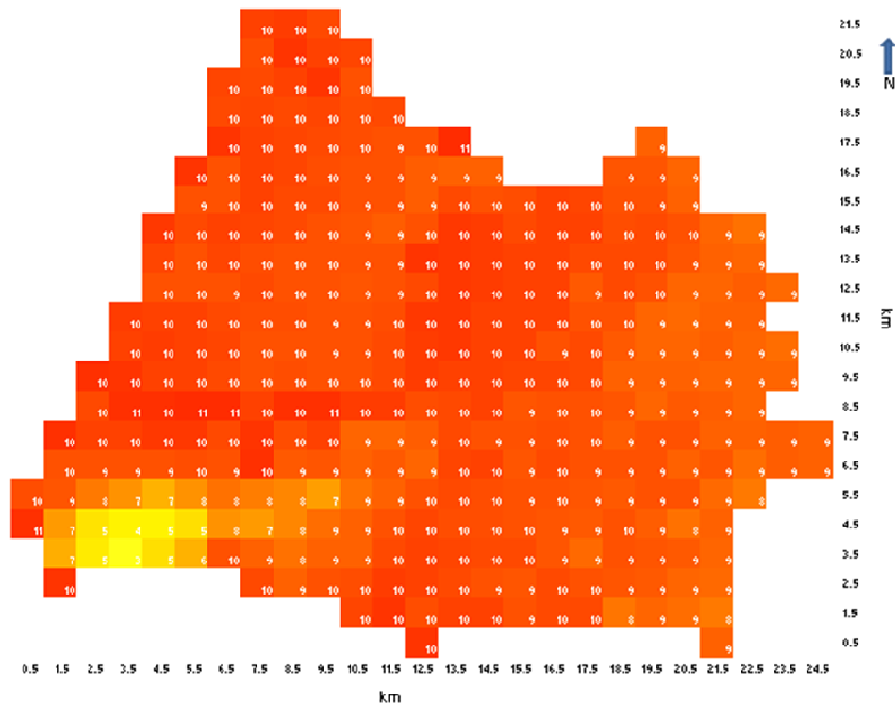


Tabela 64 – Cenário SRES B1 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.

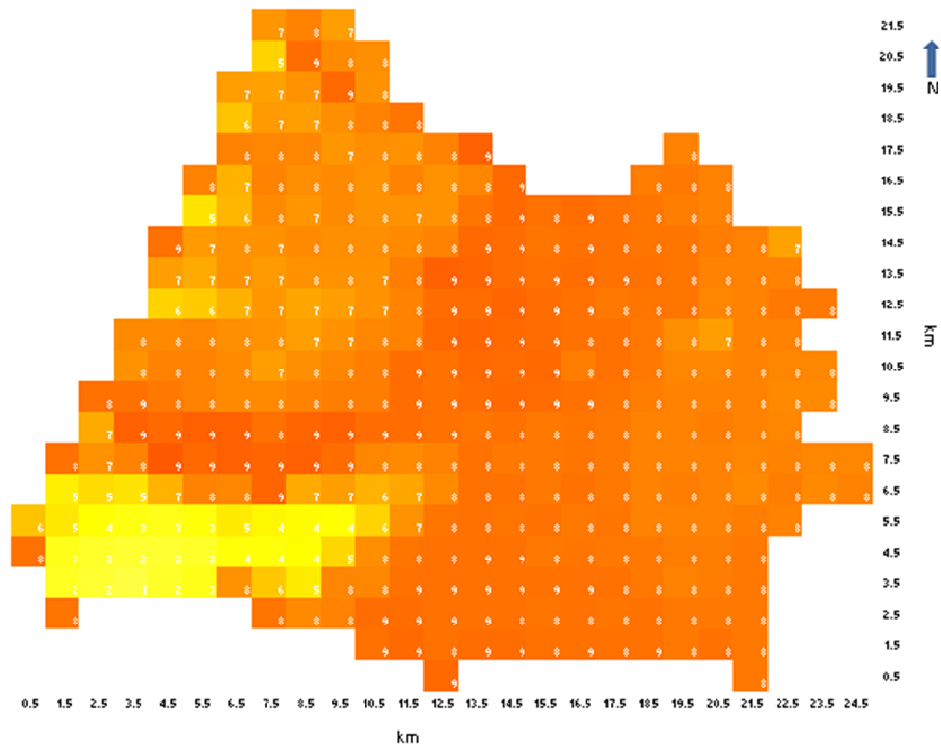
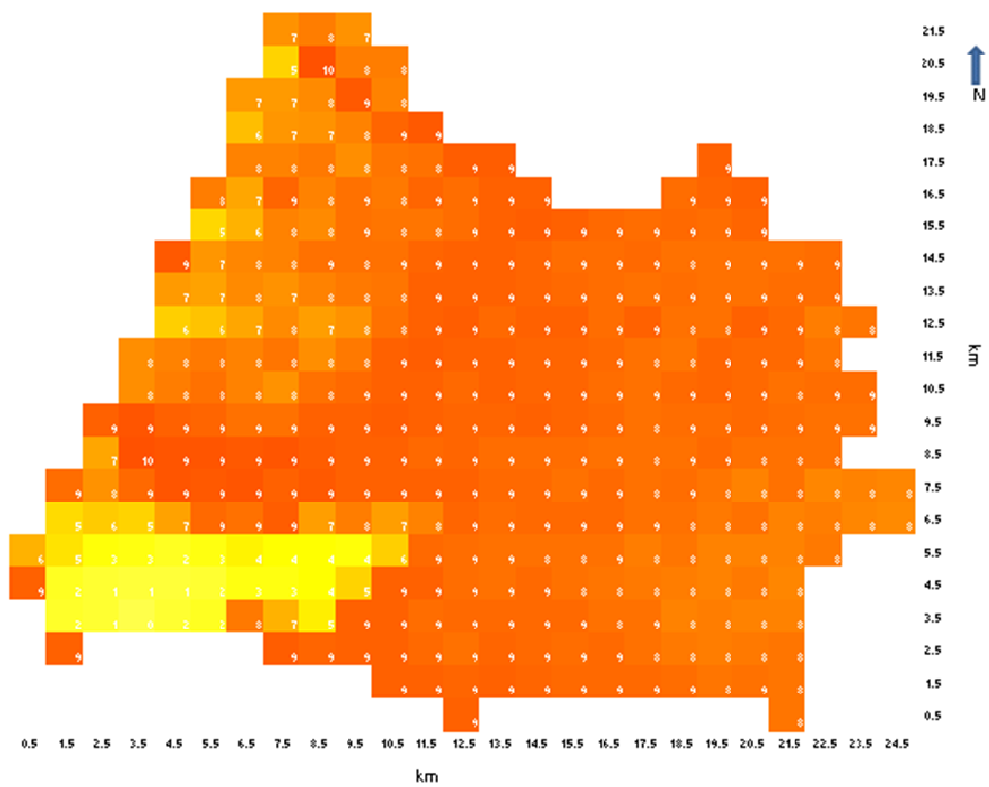


Tabela 65 – Cenário SRES B2 (2070 – 2099), para o número médio anual de dias em situação de onda de calor para o número médio anual de dias em situação de onda de calor com resolução 1km, para o município de Sintra.



O número médio anual de dias em situação de onda de calor, aumenta nos cenários A1 e A2 de um modo mais significativo que o cenário B1 e B2. É de salientar que o cenário A2, apresenta valores mais baixos na Serra de Sintra relativamente a A1.

## 6 Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Plano Estratégico para o Concelho de Sintra face às alterações climáticas (SIAM Sintra). Isto impôs constrangimentos práticos e determinou uma abordagem à modelação microclimática da região de Sintra baseada na modelação regressiva de dados de temperatura e precipitação observados em estações meteorológicas, em função de parâmetros orográficos, designadamente distância à costa e altitude.

A construção e validação destes modelos revelou-se difícil dado o baixo número de estações existente na região, a que se adicionaram dificuldades devidas a falhas nos registos e a períodos de registo diversos em cada estação. Contudo, foi de facto possível obter modelos satisfatórios e que parecem corresponder ao que qualitativamente se conhecia do clima da região, como por exemplo, menor amplitude térmica na zona costeira, precipitação mais elevadas e temperaturas mais baixas na Serra da Carregueira e em especial na Serra de Sintra.

Adicionalmente propuseram-se modelos espaciais simples para outras variáveis que meteorológicas que são importantes para certos estudos e modelos sectoriais: radiação solar, pressão atmosférica, humidade relativa e magnitude do vento.

Os modelos de microclimatologia agora desenvolvidos foram utilizados para obter cenários climáticos e ainda, ligados com sucesso a modelos de regionalização e de séries temporais diárias e horárias. Assim, além do valor da descrição (micro)climatológica em si, tanto numa situação base de referência como sob aquecimento global, foi possível também fornecer às equipas sectoriais do SIAM Sintra os dados meteorológicos muito detalhados no espaço e no tempo de que necessitavam para os seus estudos específicos.

## Referências

- Alcoforado, M.J. (1984). Os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra: a deformação das árvores. Lisboa: INIC: Centro de Estudos Geográficos, 1984. P.69.Relatório.
- Aguiar, R. (1996). Séries Sintéticas de Parâmetros Meteorológicos. (Synthetic Series of Meteorologic Parameters). Ph.D. Thesis, University of Lisbon, July 1996. 525 pp.
- Aguiar, R. (1998). Publishable Final Report - CLIMED. Relatório do Projecto CLIMED, contrato JOR3CT960042. INETI-ITE, Dep. Energias Renováveis, Lisboa. Maio 1998. 20 pp.
- Aguiar, R., M. Collares Pereira and J. P. Conde (1988). Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices. *Solar Energy*, 40, No. 3, 269-279.
- Aguiar, R. and J. Boland (1999). Interannual variability of meteorological parameters in temperate climates. In: Proc. of the ISES 1999 Solar World Congress, Jerusalem, Israel, 4-9 July 1999.
- Boléo, J., (1940). Sintra e seu termo: estudo geográfico. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa. 245pp.
- CEAP, 2005. Plano Verde do Concelho de Sintra, 1ª fase, Julho 2005. Centro de Estudos de arquitectura Paisagista Professor Caldeira Cabral, 332 pp.
- Collares Pereira, M., and A. Rabl (1979). The average distribution of solar radiation - correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 22, 155-164.
- Erbs, D. (1984). Models and Applications for Weather Statistics related to Building Heating and Cooling Loads. Dissertação de Doutoramento, University of Wisconsin at Madison, E.U.A. 335 pp.
- Labajo, J., C. Sánchez and F. Dávila (1989). Estudio de una relación lineal entre la humedad relativa y la temperatura del aire. *Anales de Física, Serie B, Apl. Met. Instrum.*, 85, No. 1, 92-98.
- Lopes, P. (2008). ASSESSMENT OF STATISTICAL DOWNSCALING METHODS - Application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa
- Nakicenovic, N. and R. Swart, Eds. (2000). Special Report on Emissions Scenarios. IPCC, <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>
- Nicolau, R., Ribeiro, L., Rodrigues, R.R., Pereira, H.G., Câmara, A.S. (2000). Mapping the spatial distribution of rainfall in Portugal. Texto inédito. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Pereira, N., (1997). As condições climáticas e risco/perigo de incêndios florestais: o exemplo da Serra de Sintra. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa. 125 pp.
- RUROS (1998-2002). Designing Open Spaces in the Urban environment: a Bioclimatic Approach. Greece.56 pp.
- Santos, F. D., K. Forbes and R. Moita, Eds. (2001a). SIAM: Climate Change in Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. Sumário Executivo e Conclusões / Executive Summary and Conclusions (Edições separadas em Português e Inglês). Fundação Calouste Gulbenkian e Editorial Gradiva, Lisboa, Outubro 2001.

- Santos, F. D., S. Dessai, R. Aguiar, R. Moita and P. M. Barata (2001c). Project SIAM: Climate Change in Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. In: Proceedings of the Global Change Open Science Conference. IGBP, Amsterdam, The Netherlands, 10 - 13 July, 2001.
- Santos, F. and P. Miranda (Eds.) (2005). Alterações Climáticas em Portugal – Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM, Fase II. Editorial Gradiva, Lisbon.
- Tiba, C., N. Fraidenraich e R. Aguiar (2002). Valor Acrescentado do Modelo de Suerhcke para a Radiação Global Mensal Avaliado com Dados Brasileiros. Actas do XI Congresso Ibérico e VI Ibero Americano de Energia Solar, 29 Set. a 2 Out. 2002, Vilamoura. Edição SPES, Lisboa.
- Wagner C. E., Picket e T.L., (1985). Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forest Technical Report, 33, Ottawa 24 pp.
- Wagner C. E., (1985). Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forest Technical Report, 35, Ottawa 46 pp.