



## RELATÓRIO

FASE 1 | FEVEREIRO 2019

# Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa

Cartografia de Vulnerabilidade Térmica: Mapeamento dos Efeitos das Ondas de Calor em Lisboa Face às Projecções Climáticas



# ONDAS de CALOR LISBOA

Em parceria com:



Cofinancado por:





## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços Nº 18041057** designado “Aquisição de serviços para a elaboração de Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa” estabelecido entre **município de Lisboa** e o **Instituto do Ambiente e Desenvolvimento - IDAD** no dia 28 de Novembro de 2018,

Apresenta-se o **Relatório da Fase 1** de acordo com a Cláusula 3.<sup>a</sup> e os pontos 1. e 2. da Parte II – Especificações Técnicas do respetivo Caderno de Encargos.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na Área Metropolitana de Lisboa – clima atual e futuro**

1  
02/2019

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

### **FICHA TÉCNICA**

<b>Coordenador</b>	Alfredo Rocha
<b>Membro da Equipa</b>	Susana C. Pereira
<b>Membro da Equipa</b>	Rui Silva

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

### **Índice**

1. Introdução e enquadramento.....	13
2. Simulações climáticas e dados .....	15
2.1 Modelo .....	15
2.2 Simulações.....	18
2.3 Dados observados .....	19
2.4 Dados de simulações EURO-CORDEX.....	20
3. Métodos.....	21
3.1 Correção de Viés.....	21
3.2 Ondas de Calor .....	22
3.3 Alteração Climática.....	26
3.4 Função de distribuição acumulada e períodos de retorno .....	26
4. Resultados .....	27
4.1. Variação da temperatura em Lisboa desde a Era Pré-Industrial .....	27
4.2. Validação – Clima atual recente.....	30
4.2.1. Temperatura máxima e mínima .....	31
4.2.2. Funções de distribuição acumulada .....	34
4.2.3. Ondas de Calor.....	35
4.3. Alteração Climática – cenários futuros .....	39
4.3.1. Temperatura máxima e mínima .....	39
4.3.1.2. Funções de distribuição acumulada.....	44
4.3.1.2.1. Anual.....	44
4.3.1.2.2. Período de maio a outubro .....	48
4.3.2. Ondas de Calor .....	51
4.3.2.1. Médias .....	52

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

4.3.2.1.1. Período de maio a outubro .....	52
4.3.2.1.2. Mensal .....	58
4.3.2.1.3. Tipos de ondas de calor de acordo com temperatura máxima média .....	63
4.3.2.2. Funções de distribuição cumulativa.....	69
4.3.2.3. Períodos de retorno.....	73
4.3.2.4. Variabilidade inter-anual.....	76
4.3.2.5. Comparação - Temperaturas em dias de onda de calor e em todos os dias de maio a outubro 78	
4.3.2.6. Ondas de calor extremas.....	79
A onda de calor de 2003 no município de Lisboa – Caso de estudo.....	83
5. Conclusões .....	86
5.1 Temperatura .....	86
5.2 Ondas de Calor .....	87
6. Referências.....	88
Siglas .....	93
Anexo I - Temperatura máxima e mínima diária e amplitude térmica diária, média mensal para HIST, MED e LONG .....	95
Anexo 2 – Avaliação de incerteza.....	96
A2.1 Clima atual recente: 1986-2005.....	97
A2.1.1 Temperatura.....	97
A2.1.2 Funções de distribuição acumulada.....	98
A2.1.3 Ondas de calor .....	100
A2.2 Alteração climática – cenários futuros .....	105
A2.2.1 Temperatura.....	105
A2.2.2 Funções de distribuição acumulada.....	111
A2.2.3 Ondas de calor .....	113
Anexo 3 – Comparação de resultados com o relatório do EMAAC (2017) .....	120

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Configuração dos domínios usados na implementação do modelo WRF. Domínios D-1, D-2 e D-3 com resoluções horizontais de 81 km, 27 km e 9 km, respetivamente. ....	17
<b>Figura 2</b> – Diferença entre a temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e a média climatológica para o período 1855-1900 (Era pré-industrial). Fonte dos dados: NOAA (GHCN, 2018).....	28
<b>Figura 3</b> – Diferença entre a temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e a média climatológica para o período 1986-2005. Fonte dos dados: NOAA (GHCN, 2018). ....	29
<b>Figura 4</b> – (a) Temperatura máxima diária média mensal para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.....	32
<b>Figura 5</b> – (a) Temperatura mínima diária média mensal para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.....	33
<b>Figura 6</b> – (a) Média mensal da amplitude térmica diária (AMPL) para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS. ....	34
<b>Figura 7</b> – Função de distribuição acumulada de Tmax para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. ....	35
<b>Figura 8</b> - Temperatura máxima crítica, Tmax_c (i.e. threshold) para cada dia do ano calculado para as EOBS, ERA, NC e BC. ....	36
<b>Figura 9</b> – Número médio anual de ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.....	37
<b>Figura 10</b> – Número médio anual de dias de onda de calor para as EOBS, ERA, NC e BC. ....	37
<b>Figura 11</b> – Temperatura máxima média de todas as ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC. ....	38
<b>Figura 12</b> – Média anual da soma da temperatura máxima de todas as ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC. ....	38
<b>Figura 13</b> – (a) Temperatura máxima média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da temperatura máxima média mensal para MED e LONG relativas a HIST. ....	41
<b>Figura 14</b> – (a) Temperatura mínima média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da temperatura mínima média mensal para MED e LONG, relativas a HIST. ....	42

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

<b>Figura 15</b> – (a) Amplitude térmica diária média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da amplitude térmica diária média mensal para MED e LONG, relativas a HIST. ....	43
<b>Figura 16</b> – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmax para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmax para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	45
<b>Figura 17</b> – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmin para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmin para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	46
<b>Figura 18</b> – (a) Funções de distribuição acumulada da amplitude térmica diária (Ampl) para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil amplitude térmica diária para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	47
<b>Figura 19</b> – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmax para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmax para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	49
<b>Figura 20</b> – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmin para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmin para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	50
<b>Figura 21</b> – (a) Funções de distribuição acumulada de amplitude térmica diária (Ampl) para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil da amplitude térmica diária para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). ....	51
<b>Figura 22</b> – Número de ondas de calor médio anual para HIST, MED e LONG. ....	53
<b>Figura 23</b> – Número de dias de onda de calor médio anual para HIST, MED e LONG. ....	54
<b>Figura 24</b> – Duração média das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	55
<b>Figura 25</b> – Intensidade média das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	55
<b>Figura 26</b> – Fator de recuperação médio das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ..	55
<b>Figura 27</b> – Temperatura máxima média das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ..	56
<b>Figura 28</b> – Temperatura máxima média, máxima de todas as ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	56
<b>Figura 29</b> – Temperatura máxima diária máxima absoluta entre todas as ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	57
<b>Figura 30</b> – Tmax_sum média anual para HIST, MED e LONG. ....	57
<b>Figura 31</b> – Tmax_sum média das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	58
<b>Figura 32</b> – Tmax_sum máxima das ondas de calor para HIST, MED e LONG. ....	58
<b>Figura 33</b> – Número de ondas de calor médio mensal para os climas HIST, MED e LONG. ....	59
<b>Figura 34</b> – Número de dias de onda de calor médio mensal para os climas HIST, MED e LONG. ....	60

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

<b>Figura 35</b> – Duração média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	60
<b>Figura 36</b> – Intensidade média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	61
<b>Figura 37</b> – Temperatura máxima média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	61
<b>Figura 38</b> – Temperatura máxima diária máxima mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	62
<b>Figura 39</b> – Tmax_sum média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	62
<b>Figura 40</b> – Contribuição relativa (%) mensal para Tmax_sum das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG. ....	63
<b>Figura 41</b> – (a) Número de ondas de calor médio anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para o total de número de ondas de calor para cada clima HIST, MED e LONG. ....	65
<b>Figura 42</b> – (a) Número de dias de ondas de calor médio anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para o total de número de dias de ondas de calor para cada clima HIST, MED e LONG. ....	66
<b>Figura 43</b> – Duração média das ondas de calor para cada tipo de onda de calor para HIST, MED e LONG. ....	67
<b>Figura 44</b> – (a) Tmax_sum média anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para Tmax_sum média anual para cada clima HIST, MED e LONG. ....	68
<b>Figura 45</b> – Funções de distribuição acumulada da duração das ondas de calor. ....	69
<b>Figura 46</b> – Funções de distribuição cumulativa da intensidade das ondas de calor. ....	70
<b>Figura 47</b> – Funções de distribuição cumulativa do fator de recuperação das ondas de calor. ....	70
<b>Figura 48</b> – Funções de distribuição cumulativa da temperatura máxima, média das ondas de calor. ....	71
<b>Figura 49</b> – Funções de distribuição cumulativa da temperatura máxima, máxima das ondas de calor. ....	71
<b>Figura 50</b> – Funções de distribuição cumulativa da Tmax_sum das ondas de calor. ....	72
<b>Figura 51</b> – Funções de distribuição cumulativa da temperatura mínima, média das ondas de calor. ....	72
<b>Figura 52</b> – Períodos de retorno de número de onda de calor por ano para HIST, MED e LONG. ....	73
<b>Figura 53</b> – Períodos de retorno de número de dias de onda de calor por ano para HIST, MED e LONG. ....	74



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

<b>Figura 54</b> – Períodos de retorno de temperatura máxima média de uma onda de calor para HIST, MED e LONG. ....	75
<b>Figura 55</b> – Períodos de retorno de temperatura máxima diária máxima de uma onda de calor para HIST, MED e LONG. ....	75
<b>Figura 56</b> – Períodos de retorno de Tmax_sum de uma onda de calor para HIST, MED e LONG. ....	76
<b>Figura 57</b> – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax_sum para HIST. ....	77
<b>Figura 58</b> – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax_sum para MED.....	77
<b>Figura 59</b> – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax_sum para LONG. ....	78
<b>Figura 60</b> – Onda de calor com Tmax_sum e duração máximas em HIST. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....	80
<b>Figura 61</b> – Onda de calor com Tmax_sum e duração máximas em MED. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....	81
<b>Figura 62</b> – Onda de calor com Tmax_sum e duração máximas em LONG. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....	81
<b>Figura 63</b> – Onda de calor com temperatura máxima média máxima e temperatura máxima diária máxima em HIST. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax_sum, duração, temperatura máxima média e temperatura máxima máxima desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....	82
<b>Figura 64</b> – Onda de calor com temperatura máxima média máxima em MED. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....	83

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

- Figura 65** – Onda de calor com temperatura máxima média e temperatura máxima diária em LONG. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração, temperatura máxima média e temperatura máxima máxima desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.....83
- Figura 66** – Temperatura máxima diária durante a onda de calor de 2003 no município de Lisboa. Tmax\_c representa o valor de temperatura máxima acima do qual é identificada uma onda de calor se esse valor persistir durante, pelo menos, 3 dias. O ‘envelope’ mostra os valores máximos e mínimos registados, em cada instante, de entre as 9 estações meteorológicas do IPMA no município de Lisboa.....84

## ÍNDICE DE FIGURAS – ANEXO 2

- Figura A2. 1** – (a) Temperatura máxima diária média mensal para as EOBS, e WRF HIST NC. O ‘envelope’ mostra os valores máximos e mínimos dos modelos CORDEX HIST NC. (b) Temperatura máxima diária média mensal para HIST BC para o WRF (linha grossa) e para a média (linha fina), o máximo e mínimo (‘envelope’) dos modelos CORDEX.....97
- Figura A2. 2** – (a) Temperatura mínima diária média mensal para as EOBS, e WRF HIST NC. O ‘envelope’ mostra os valores máximos e mínimos dos modelos CORDEX HIST NC. (b) Temperatura mínima diária média mensal para HIST BC para o WRF (linha grossa) e para a média (linha fina), o máximo e mínimo (‘envelope’) dos modelos CORDEX.....98
- Figura A2. 3** – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima diária para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo dos modelos CORDEX para HIST NC.....99
- Figura A2. 4** – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima diária para o WRF e média, máximo e mínimo dos modelos CORDEX (eixo vertical) HIST NC e EOBS (eixo horizontal). .....99
- Figura A2. 5** – Número de ondas de calor médio anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....100
- Figura A2. 6** – Número de dias de onda de calor médio anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....100
- Figura A2. 7**– Duração média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....101

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

<b>Figura A2. 8</b> – Intensidade média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	101
<b>Figura A2. 9</b> – Fator de recuperação médio das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	102
<b>Figura A2. 10</b> – Temperatura máxima média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	102
<b>Figura A2. 11</b> – Temperatura máxima média, máxima das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	103
<b>Figura A2. 12</b> – Temperatura máxima diária máxima em dia de onda de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	103
<b>Figura A2. 13</b> – Tmax_sum média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	104
<b>Figura A2. 14</b> – Tmax_sum média anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	104
<b>Figura A2. 15</b> – (a) Temperatura máxima diária média mensal para MED BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura máxima diária média mensal para MED BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (linha tracejada) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.....	105
<b>Figura A2. 16</b> – Diferença da temperatura máxima média anual MED-HIST para o WRF e modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.....	106
<b>Figura A2. 17</b> – (a) Temperatura mínima diária média mensal para MED BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura mínima diária média mensal para MED BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.....	106
<b>Figura A2. 18</b> – Diferença da temperatura mínima média anual MED-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.....	107
<b>Figura A2. 19</b> – (a) Temperatura máxima diária média mensal para LONG BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura máxima diária média mensal para LONG BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.....	108
<b>Figura A2. 20</b> – Diferença da temperatura máxima média anual LONG-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.....	109
<b>Figura A2. 21</b> – (a) Temperatura mínima diária média mensal para LONG BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da	

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

temperatura mínima diária média mensal para LONG BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX. ....	110
<b>Figura A2. 22</b> – Diferença da temperatura mínima média anual LONG-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.....	111
<b>Figura A2. 23</b> – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima corrigida para WRF HIST, WRF MED e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX MED. ....	111
<b>Figura A2. 24</b> – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima corrigida para a WRF HIST (eixo horizontal) e WRF MED e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX MED (eixo vertical). ....	112
<b>Figura A2. 25</b> – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima corrigida para WRF HIST, WRF LONG e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX LONG. ....	112
<b>Figura A2. 26</b> – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima corrigida para a WRF HIST (eixo horizontal) e WRF LONG e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX LONG (eixo vertical). ....	113
<b>Figura A2. 27</b> – Número de ondas de calor médio anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	114
<b>Figura A2. 28</b> – Número de dias de onda de calor médio anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	114
<b>Figura A2. 29</b> - Duração média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	114
<b>Figura A2. 30</b> – Duração máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	115
<b>Figura A2. 31</b> – Intensidade média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	115
<b>Figura A2. 32</b> – Intensidade máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.....	116
<b>Figura A2. 33</b> – Fator de recuperação médio das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	116
<b>Figura A2. 34</b> – Temperatura máxima média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	117

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

<b>Figura A2. 35</b> – Temperatura máxima média máxima das OC para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	117
<b>Figura A2. 36</b> – Temperatura máxima absoluta em dia de onda de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	118
<b>Figura A2. 37</b> – Tmax_sum média anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	118
<b>Figura A2. 38</b> – Tmax_sum média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	119
<b>Figura A2. 39</b> – Tmax_sum máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC. ....	119

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Lista das simulações realizadas com o modelo WRF .....	18
<b>Tabela 2</b> – Estações meteorológicas do IPMA e respetivas coordenadas e ID. ....	20
<b>Tabela 3</b> – Temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e diferenças dos períodos 1986-2005 e 1999-2018 relativas a 1855-1900. ....	29
<b>Tabela 4</b> – Temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) de 1999 a 2018. ....	30
<b>Tabela 5</b> - Anomalias (°C) da temperatura máxima e mínima e amplitude térmica diária, média mensal para MED e LONG, relativa a HIST. Os valores máximos estão indicados a negrito. ....	43
<b>Tabela 6</b> – Temperaturas máxima e mínima e fator de recuperação médios em dias de onda de calor em todos os dias de maio a outubro, para HIST, MED e LONG. ....	79
<b>Tabela 7</b> - Valores de temperatura e grandezas derivadas considerando 19 dias (de 27-07-2003 a 14-08-2003) de onda de calor. Valores médios e máximos referem-se às 9 estações. Na coluna da direita é identificada a estação que registou o valor máximo. ....	85
<b>Tabela 8</b> - Valores de temperatura e grandezas derivadas considerando somente os 5 dias (29-07-2003 a 02-08-2003) da onda de calor de acordo com o critério de identificação de onda de calor. Valores médios e máximos referem-se às 9 estações. Na coluna da direita é identificada a estação que registou o valor máximo. ....	85

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### 1. Introdução e enquadramento

Ondas de calor são fenómenos atmosféricos de larga escala que afetam regiões extensas mas que podem ser amplificados ou atenuados por condições locais, como por exemplo, a ilha de calor urbano.

Este estudo pretende complementar o documento ‘Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Lisboa (EMAAC, 2017) no que respeita a avaliação das projeções climáticas da temperatura e das ondas de calor considerando o Município de Lisboa mas também grande parte da Área Metropolitana de Lisboa (AML).

No EMAAC são avaliadas as variáveis temperatura média, máxima e mínimas diárias e brevemente referidas projeções de alteração das ondas de calor nomeadamente o seu número e duração média.

Pretende-se com o presente estudo avaliar com maior detalhe e rigor projeções futuras da temperatura e das ondas de calor, nomeadamente, a sua frequência, duração e intensidade, no município de Lisboa e grande parte da AML em cenários climáticos futuros por comparação com o clima atual de referência.

À semelhança do EMAAC, é considerado neste estudo o cenário de emissões de gases com efeito de estufa **RCP8.5** (*Representative Concentration Pathways*) (Sillman *et al.*, 2013). Este cenário é definido por um forçamento radiativo de  $8.5 \text{ W m}^{-2}$  em 2100 e um aumento contínuo a partir desse ano (Moss *et al.*, 2008) e apresenta-se, cada vez mais, como um dos mais prováveis face ao desentendimento político internacional em reduzir a emissão de gases com efeito de estufa.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

São considerados três períodos climáticos que representam o clima atual recente de referência (**HIST - 1986-2005**) e dois cenários climáticos futuros a médio (**MED - 2046-2065**) e longo (**LONG - 2081-2100**) prazo, respetivamente. As alterações climáticas são avaliadas pelas diferenças entre MED/LONG relativamente a HIST.

Estes períodos são aqueles considerados no 5º Relatório do IPCC (IPCC, 2013) onde toda a análise de alteração climática é feita para estes períodos (ver *Summary for Policy Makers* e nos Capítulos 11 e seguintes onde a avaliação de alteração climática é feita para três períodos, nomeadamente, *near-term* 2016-2035, *mid-term* 2046-2065 e *long-term* 2081-2100, relativamente ao clima de referência 1986-2005. O EMAAC refere (página 39) os mesmos períodos mas, no entanto, toda a análise posterior é baseada noutros períodos nomeadamente, 1971-2000, 2041-2070 e 2071-2100 (ver página 41).

Este estudo é realizado sobretudo com recurso a simulações climáticas, As projeções climáticas no EMAAC são estimadas com base em dois modelos climáticos que participaram no programa CORDEX (<http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>). Este estudo considera, simulações realizadas com 15 modelos CORDEX aumentando, assim, a confiança na análise da incerteza associada às projeções. A resolução horizontal de todos os modelos CORDEX é a mesma (11-12 km).

No EMAAC são identificados erros na temperatura média dos dois modelos utilizados relativamente às observações (páginas 41 e 42). No entanto, não é realizada qualquer correção do viés dos dados simulados de temperatura (é apenas referida a aplicação de correção de viés simples dos dados simulados de precipitação). A correção de viés dos dados simulados é um procedimento que minimiza os erros sistemáticos dos modelos climáticos e que permite reduzir a incerteza das projeções climáticas futuras. Neste estudo é aplicado um método robusto de correção de viés a todos os dados simulados aqui utilizados.

À semelhança do EMAAC, foi selecionado, em cada modelo, o ponto da grelha dentro do município de Lisboa para o qual foram obtidos os valores diários das temperaturas máxima

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

(**Tmax**) e mínima (**Tmin**) para os três períodos considerados. Foi calculada a amplitude térmica diária (**Ampl**).

As diferenças entre as coordenadas destes pontos e as Lisboa não são, nem aqui nem no EMAAC, relevantes para o estudo das ondas de calor devido ao carácter de grande escala destes eventos extremos. Portanto, os resultados aqui apresentados representam com rigor suficiente a assinatura das ondas de calor no município de Lisboa e na AML. Os relatórios subsequentes irão avaliar a manifestação local das ondas de calor com maior detalhe devido ao efeito da ilha de calor urbana no município de Lisboa e na AML.

## 2. Simulações climáticas e dados

### 2.1 Modelo

Neste estudo foi utilizado o **modelo meteorológico WRF v3.5** (*Weather Research and Forecasting*). O WRF é um modelo regional de previsão numérica de tempo desenvolvido para investigação e serviço operacional. O WRF é exhaustivamente descrito no seu manual (Skamarock *et al.*, 2008).

O modelo WRF foi adaptado para simulações climáticas por Almeida *et al.* (2016). O modelo WRF foi implementado com três domínios, espaciais aninhados no modo *two-way nesting* D-1, D-2 e D-3 com resolução horizontal de 81, 27 e 9 km, respetivamente (Figura 1). A implementação e a validação geral do modelo foi realizada por Almeida *et al.* (2016). Foi selecionado o ponto da grelha do domínio D-3 dentro do município de Lisboa para o qual foram obtidos os valores diários das temperaturas máxima e mínima diária para os três períodos considerados. Foi calculada a amplitude térmica diária.



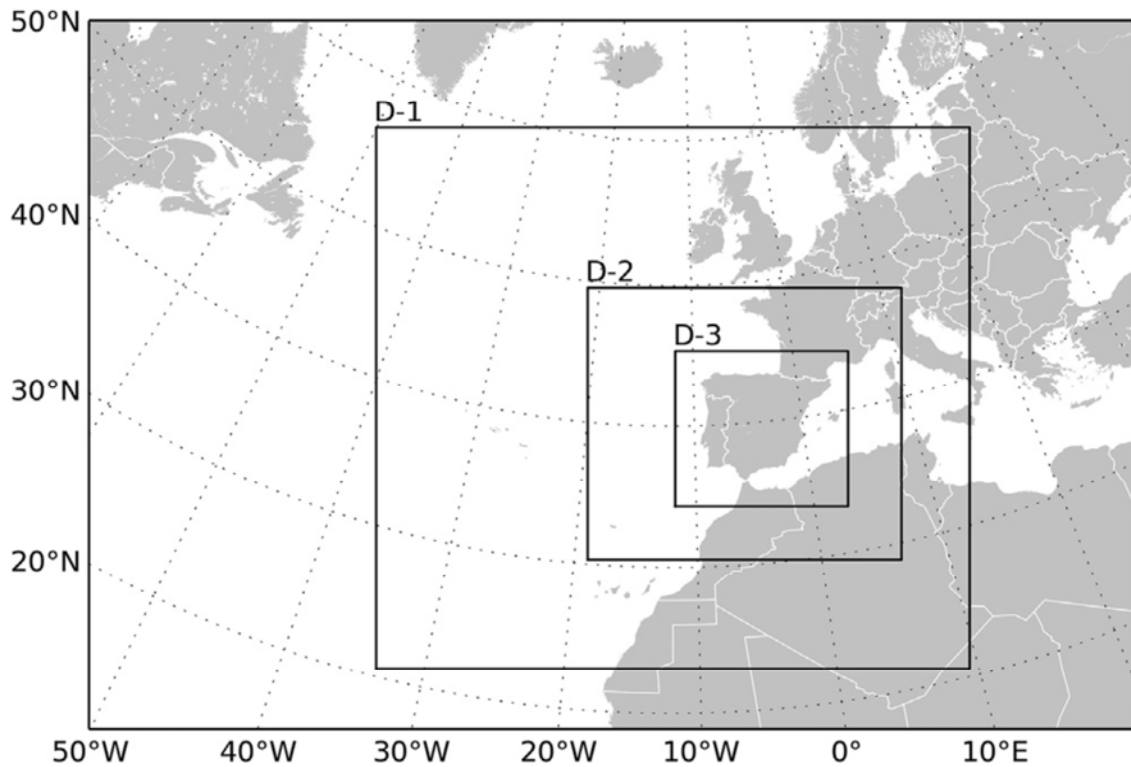
## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

Ondas de calor são fenómenos de larga escala cuja assinatura local pode ser ligeiramente modificada por fatores locais, como por exemplo, a proximidade da costa, altitude, orografia, orientação da encosta e a ilha de calor urbano.

Este relatório considera a expressão regional das ondas de calor considerando estes fatores, nomeadamente, a orografia e o tipo de superfície. No entanto, os modelos climáticos utilizados têm, por natureza, uma resolução horizontal que, por maior que seja, podem não captar com rigor os detalhes dos fatores acima mencionados. O modelo WRF utiliza a base de dados de utilização do solo designada ‘*Coordination of Information on the Environment Land Cover (CORINE)*’ (Bossard et al., 2000). Esta base de dados foi implementada com a re-categorização dos vários tipos de superfície de forma a ser reconhecida pela parametrização de superfície usada no WRF (Noah land surface model) de acordo com Pineda et al. (2004). Teixeira et al. (2014) validaram com sucesso a utilização da base de dados CORINE no WRF.

O WRF usou a base de dados topográfica designada ‘*The Shuttle Radar and Topography Mission (SRTM)*’ (Farr et al., 2007).

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 1-** Configuração dos domínios usados na implementação do modelo WRF. Domínios D-1, D-2 e D-3 com resoluções horizontais de 81 km, 27 km e 9 km, respetivamente.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### 2.2 Simulações

Foram realizadas simulações climáticas para os três períodos acima referidos (Tabela 1)

**Tabela 1** – Lista das simulações realizadas com o modelo WRF

Simulação	Descrição
ERA	Simulação HIST (1986-2005) sendo o modelo WRF forçado pelas reanálises <b>ERA-Interim</b> (Dee et al., 2011). Esta simulação pretende avaliar o comportamento do modelo regional WRF quando forçado nas suas fronteiras e inicializado por dados observados depois de ‘analizados’ (i.e. interpolados/extrapolados para uma malha 3-D com recurso a modelos numéricos atmosféricos globais).
HIST	Simulação para o período HIST (1986-2005) sendo o modelo WRF forçado pelo modelo climático global <b>MPI-ESM-LR</b> ( <i>Max Planck Institute Earth System Model – low resolution</i> ) (WRF-MPI). A configuração deste modelo é descrita em detalhe por Giorgetta <i>et al.</i> (2013). Este modelo participou na ‘ <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> ’, que utiliza O modelo MPI-ESM-LR é considerado um dos melhores modelos climáticos na simulação do clima de Europa (Brands et al., 2011 e 2013).
MED	Simulação para o período MED (2046-2065) semelhante à anterior (i.e. forçada pelo modelo MPI) para o RCP8.5.
LONG	Simulação para o período LONG (2081-2100) semelhante à anterior (i.e. forçada pelo modelo MPI) para o RCP8.5.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

Outros estudos, como Bartolomeu *et al.* (2016), Carvalho *et al.* (2016), Fonseca *et al.* (2016), Pereira *et al.* (2017) e Viceto *et al.* (2017) baseiam-se nas mesmas simulações climáticas aqui utilizadas.

### 2.3 Dados observados

Os dados observados foram obtidos na base de dados **E-OBS** (EOBS daqui em diante) – desenvolvida pelo *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D), que consiste em dados diários em grelha sobre terra para a Europa (Haylock *et al.*, 2008). À semelhança dos modelos, Lisboa foi identificada nos dados EOBS como sendo o ponto da grelha respetiva dentro do município de Lisboa.

À semelhança dos modelos, foram extraídos das EOBS os dados observados de Tmax e Tmin e calculada a amplitude térmica diária para o período 1986-2005.

Foram também utilizados dados médios mensais da temperatura da estação meteorológica de Lisboa (Geofísico), operada pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), obtidos na base de dados do NOAA (GHCN, 2018). Estes dados foram sujeitos a um rigoroso controlo de qualidade e de correção de viés cujo detalhe pode ser consultado na referência atrás mencionada. Estes dados são apenas utilizados na secção 4.1 para enquadrar a alteração climática da temperatura média em Lisboa desde a Era pré-industrial.

Com o objetivo analisar a onda de calor de 2003 como de caso de estudo no município de Lisboa foram utilizados dados de temperatura para as estações meteorológicas (Tabela 2) para o período de 27-07-2003 a 14-08-2003. Os dados foram cedidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Tabela 2** – Estações meteorológicas do IPMA e respetivas coordenadas e ID.

Estação	ID	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Lisboa/Geofísico	01200535	38,71907778	-9,14972222	77
Lisboa/Gago Coutinho	01200579	38,76620278	-9,12749444	104
Amadora	01240935	38,75757778	-9,24244167	143
Cascais/Cabo Raso	01210765	38,70903056	-9,48541667	9
Lisboa/Alvalade	01240921	38,75614722	-9,14462778	90
Lisboa/Estefânia	01240924	38,72952222	-9,14332222	79
Lisboa/Baixa	01240925	38,71093333	-9,13405556	8
Lisboa/Benfica	01240931	38,74885278	9,19946944	75
Cacém	01240936	38,76960833	-9,29948611	124

### 2.4 Dados de simulações EURO-CORDEX

Foram obtidos dados diários de Tmax e Tmin e calculada a amplitude térmica diária para o cenário RCP8.5 e para os mesmos períodos referidos em 2.2, simulados por um conjunto de modelos regionais que participaram no programa EURO-CORDEX (Giorgi *et al.*, 2009). Estes dados são utilizados para avaliar a incerteza das projeções estimadas neste relatório. A lista de modelos EURO-CORDEX cujos dados foram utilizados é mostrada na Tabela 2-1 (Anexo 2). Todos os modelos têm uma resolução horizontal de 12 km. Os dados de temperatura destes modelos foram submetidos ao mesmo método de correção de viés que o modelo WRF (secção 3.1). A avaliação de incerteza é mostrada no Anexo 2.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### 3. Métodos

#### 3.1 Correção de Viés

Os dados simulados podem apresentar erros sistemáticos relativamente às observações. De forma a minimizar estes erros, todos os dados simulados foram sujeitos a um procedimento de correção de viés tendo por referência dados observados.

Vários autores aplicaram este procedimento em estudos semelhantes (Piani *et al.*;2010<sup>a</sup>; Piani *et al.*, 2010b; Dosio *et al.*, 2012; Dosio, 2016; Sippel *et al.*, 2016; Hnilica *et al.*, 2017). Neste estudo aplica-se um método de correção de viés designado de *quantile mapping* (Déqué, 2007; Li *et al.*, 2010; Amengual *et al.*, 2012; Ngai *et al.*, 2017). Esta abordagem consiste em corrigir a distribuição individualmente para cada quantil dos dados simulados de acordo com a distribuição dos dados observados. Em particular, o procedimento aplicado aqui é exatamente igual ao usado e descrito em detalhe por Amengual *et al.* (2012). Este método assume que a função de distribuição da variável (i.e. temperaturas máxima e mínima diária) possa ser diferente no futuro relativamente ao clima atual. A correção de viés é aplicada a todos os dados diários de temperatura de todos os dias do ano (i.e. os quantis são derivados considerando todos do ano).

Primeiro foi feita a correção de viés aos dados simulados para o período HIST. Os dados corrigidos foram validados por comparação com os dados observados (EOBS). De seguida foram corrigidos os dados para os períodos futuros.

Aplica-se o sufixo **NC** aos dados não corrigidos e o sufixo **BC** aos dados corrigidos.

Os modelos aqui utilizados consideram o tipo de superfície (rural, urbano, etc.). No entanto, não é representada nestes modelos a canópia urbana e, portanto, os dados simulados podem subestimar o efeito de Ilha de Calor Urbano nas temperaturas e intensidade das ondas de calor identificadas. Porém, as temperaturas e ondas de calor identificadas são comparadas entre climas simulados o que minimiza este problema.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### 3.2 Ondas de Calor

Não existe nenhuma definição universal de onda de calor. O relatório do IPCC (2012) define onda calor como sendo “*a period of abnormally hot weather*”. Os institutos meteorologia tendem a usar a definição de onda de calor sugerida pela Organização Meteorológica Mundial como sendo “*A marked unusual hot weather (Max, Min and daily average) over a region persisting at least two consecutive days during the hot period of the year based on local climatological conditions, with thermal conditions recorded above given thresholds.*” (WMO 2015; McGregor et al. 2015).

Definições diferentes de onda de calor podem ser usadas de acordo com o objetivo de estudo, por exemplo, para identificar condições térmicas acima das quais é necessário tomar determinadas medidas.

A maioria dos índices de onda de calor considera um valor absoluto ou relativo de temperatura crítica que persista por mais do que um determinado número de dias consecutivos.

O *Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events* (TT-DEWCE), estabelecido pela Comissão de climatologia da Organização Meteorológica Mundial, apresenta uma discussão detalhada e sugere orientações para definir índices de onda de calor (WMO 2015).

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

O EMAAC (2017) define onda de calor: como sendo um período em que temperatura máxima diária é superior a 5°C relativamente ao valor médio do período de referência num período consecutivo mínimo de 6 dias'. Este é também um índice de onda de calor usada pelo IPMA que, no entanto, refere<sup>1</sup>:

*'De realçar, no entanto, que esta definição está mais relacionada com o estudo e análise da variabilidade climática (em termos de tendências) do que propriamente com os impactos na saúde pública de temperaturas extremas que possam observar-se num período mais curto. Por exemplo, a ocorrência de 3 dias em que a temperatura seja 10 °C acima da média terá certamente mais impacto na saúde que 7 dias com temperatura 5 °C acima da média.'*

Neste estudo define-se onda de calor usando o método de Russo et al. (2014) e recentemente utilizado para as mesmas simulações aqui mencionadas por Pereira et al. (2017).

Onda de calor é definida como sendo um período de pelo menos 3 dias consecutivos em que a temperatura máxima diária de cada dia é igual ou superior a um valor crítico de temperatura máxima (**T<sub>max\_c</sub>**). Este valor é determinado para cada um dos 365 dias do ano como sendo igual ao percentil 90 de temperatura máxima diária de todos os dias numa janela de 31 dias centrada no dia em questão. Neste cálculo são considerados todos os 31 dias dos 20 anos do período considerado (620 dias).

As ondas de calor são identificadas em todas as simulações para o período de 01 de Maio a 31 de Outubro porque considera-se que as ondas de calor de maior impacto sócio-económico são aquelas que ocorrem durante os meses mais quentes. A escolha deste período de verão alargado baseia-se no facto de as projeções de temperatura para os climas futuros mostram que Maio e Outubro irão registar valores semelhantes àqueles que se registam no clima atual nos meses considerados atualmente como meses de verão como se pode observar na Tabela 2-1 (Anexo 2). São consideradas todas as ondas de calor com início no período mencionado, mesmo que as mesmas terminem fora desse período.



## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

<sup>1</sup><https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/clima/index.html?page=onda.calor.xml>

O EMAAC não refere qual o período do ano considerado na identificação das ondas de calor. Na ausência desta informação, os resultados aí mostrados pressupõem ser para todo o ano.

Ora, este pressuposto, juntamente com o critério usado no EMAAC para a identificação das ondas de calor, permitem contabilizar ondas de calor que ocorrem por exemplo, no inverno.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

Para cada clima, HIST, MED e LONG, a identificação de onda de calor é feita considerando  $T_{max\_c}$  referente ao clima HIST pois o objetivo é identificar alterações no regime de ondas de calor considerando o clima de referência (HIST). Só assim esta análise será relevante para avaliar impactos e definir medidas de adaptação nas várias áreas socio-económicas.

Cada onda de calor é aqui caracterizada pelas seguintes propriedades:

**Duração** (dias) de uma onda de calor.

**Intensidade** ( $^{\circ}\text{C}$ ) – Diferença média entre  $T_{max}$  e  $T_{max\_c}$  diária para os dias de uma onda de calor. A intensidade é medida relativamente a  $T_{max\_c}$ . Deste modo, um mesmo valor de intensidade poderá representar situação distintas. Por exemplo, intensidade =  $3^{\circ}\text{C}$  poderá representar uma onda de calor com  $T_{max\_med}$  de  $35^{\circ}\text{C}$  e  $T_{max\_c}$  de  $32^{\circ}\text{C}$  ou uma onda de calor com  $T_{max\_med}$  de  $30^{\circ}\text{C}$  e  $T_{max\_c}$  de  $27^{\circ}\text{C}$ .

**$T_{max\_med}$**  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – Temperatura máxima média dos dias da onda de calor.

**$T_{min\_med}$**  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – Temperatura mínima média dos dias da onda de calor.

**Fator de recuperação** ( $^{\circ}\text{C}$ ) - Igual à diferença média entre  $T_{max}$  e  $T_{min}$  para todos os dias de uma onda de calor. Quanto maior for este valor, maior é o alívio durante a noite em dias de onda de calor. O fator de recuperação é uma medida de  $T_{max}$  relativamente a  $T_{min}$ . Deste modo, o mesmo valor de fator de recuperação poderá representar situação distintas. Por exemplo, fator de recuperação =  $10^{\circ}\text{C}$  poderá representar uma onda de calor com Temperatura máxima média de  $35^{\circ}\text{C}$  e temperatura mínima média de  $25^{\circ}\text{C}$  ou uma onda de calor com Temperatura máxima de  $30^{\circ}\text{C}$  e temperatura mínima média de  $20^{\circ}\text{C}$ . O fator de recuperação representa a amplitude térmica diária média durante a onda de calor.

**$T_{max\_sum}$**  ( $^{\circ}\text{C.dia}$ ) - Soma de  $T_{max}$  de todos os dias da onda de calor. Esta variável quantifica a quantidade de energia acumulada durante uma onda de calor (depende da duração e de temperatura máxima diária nos dias de onda de calor). Esta grandeza é semelhante à grandeza  $^{\circ}\text{C.dia}$  comumente utilizada na determinação das necessidades

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

térmicas de aquecimento.  $T_{max\_sum}$  representa o somatório das diferenças positivas entre a temperatura interior de um edifício e a temperatura média do ambiente exterior ao longo do período de aquecimento. Neste estudo  $T_{max\_sum}$  representa o somatório da temperatura máxima de todos os dias de uma onda de calor sem considerar uma temperatura de referência (i.e. temperatura ambiente exterior no caso de  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$ ). Podemos considerar  $T_{max\_sum}$  uma grandeza relacionada com a energia acumulada durante uma onda de calor e relevante para o *stress* térmico. Por exemplo, um valor de  $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$  de uma onda de calor pode representar uma onda de calor de 10 dias com temperatura máxima diária de  $30^{\circ}\text{C}$  em cada dia ou uma onda de calor de 8 dias com temperatura máxima diária de  $37,5^{\circ}\text{C}$  em cada dia.

É ainda calculado o **número de ondas de calor** e **número de dias de ondas de calor**.

### **3.3 Alteração Climática**

A alteração climática é quantificada pela diferença das variáveis consideradas entre um clima futuro (MED ou LONG) e o clima atual recente (HIST).

### **3.4 Função de distribuição acumulada e períodos de retorno**

Nesta seção apresentam-se as funções de distribuição acumulada e períodos de retorno (PR) para as variáveis aqui consideradas e para os três períodos climáticos. As funções de distribuição acumulada permitem avaliar a alteração climática projetada em função do quantil. Permite, por exemplo, avaliar se a alteração climática nos valores extremos é da mesma ordem daqueles que se verificam na média/mediana. O período de retorno é apresentado neste relatório porque permite obter uma estimativa do período de recorrência de um evento extremo. O período de retorno é estimado por ajuste de uma distribuição de *Weibull* cujos parâmetros foram estimados pelo método dos momentos. São ainda mostrados gráficos quantil-quantil entre pares de variáveis. Os períodos de retorno são

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

estimados para cada um dos três climas e, para cada clima, não assumem alteração climática. Por exemplo, uma estimativa de um período de retorno de 50 anos calculado para o clima de referência (HIST) assume que este clima não irá variar durante 50 anos. Contudo, a alteração climática dos períodos de retorno pode ser avaliada comparando os períodos de retorno para os diferentes climas. Deste modo, os períodos de retorno devem ser utilizados com o cuidado necessário.

### **4. Resultados**

#### **4.1. Variação da temperatura em Lisboa desde a Era Pré-Industrial**

Neste estudo, toma-se como referência o clima atual recente (HIST) que compreende o período 1986-2005. Todas as diferenças calculadas e mostradas neste relatório são, portanto, relativas a este período.

No entanto, outros trabalhos referem a alteração climática relativamente à Era pré-industrial que, segundo o IPCC (2013), compreende, para fins climáticos, o período 1850-1900.

Para contextualizar as alterações climáticas aqui referidas, a Figura 2 mostra, a série anual da diferença entre a temperatura média em Lisboa (Geofísico) e a respetiva climatologia considerando o período 1855-1900, desde o início dos registos de temperatura, em 1855, em Lisboa. Como referido em 2.3, estes dados foram obtidos na NOAA (GHCN, 2018).

A Figura 3 mostra o mesmo que a Figura 2 mas para o período 1986-2018 e considerando a climatologia do período usado neste estudo (HIST: 1986-2005).

A Tabela 3 mostra as médias climatológicas anuais da temperatura média diária para os períodos 1855-1900, 1986-2005 e para os últimos 20 anos (1999-2018).

**Como se pode observar, a temperatura média anual climatológica de Lisboa para o período 1999-2018 aumentou 1,9°C relativamente a 1855-1900 e 0,4°C relativamente a**

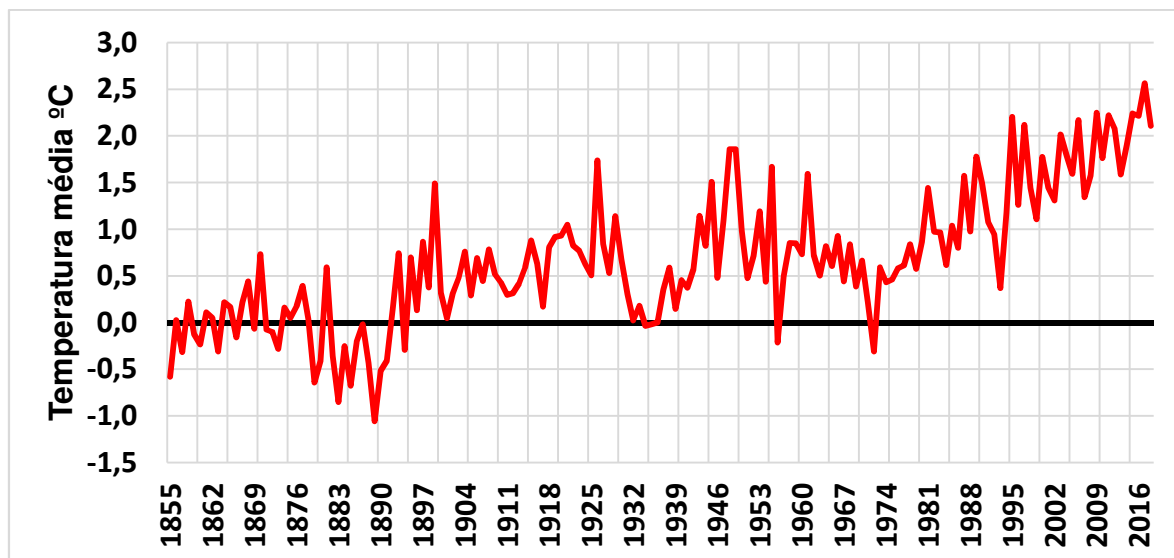
## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**1986-2005. A temperatura média climatológica de Lisboa para o período de referência usado neste estudo (1986-2005) representa um aumento de 1,4°C relativamente a 1855-1900.**

No dia 6 de Outubro de 2018 o IPCC publicou um relatório (IPCC, 2018) concentrando-se nas metas estabelecidas pelo Acordo de Paris (2015) de não ultrapassar 1,5°C e 2,0°C de aquecimento global até ao final do século relativamente à era pré-industrial (1850-1900). Estes valores referem-se à temperatura média global o que significa que, regionalmente/localmente, estas variações podem ser diferentes.

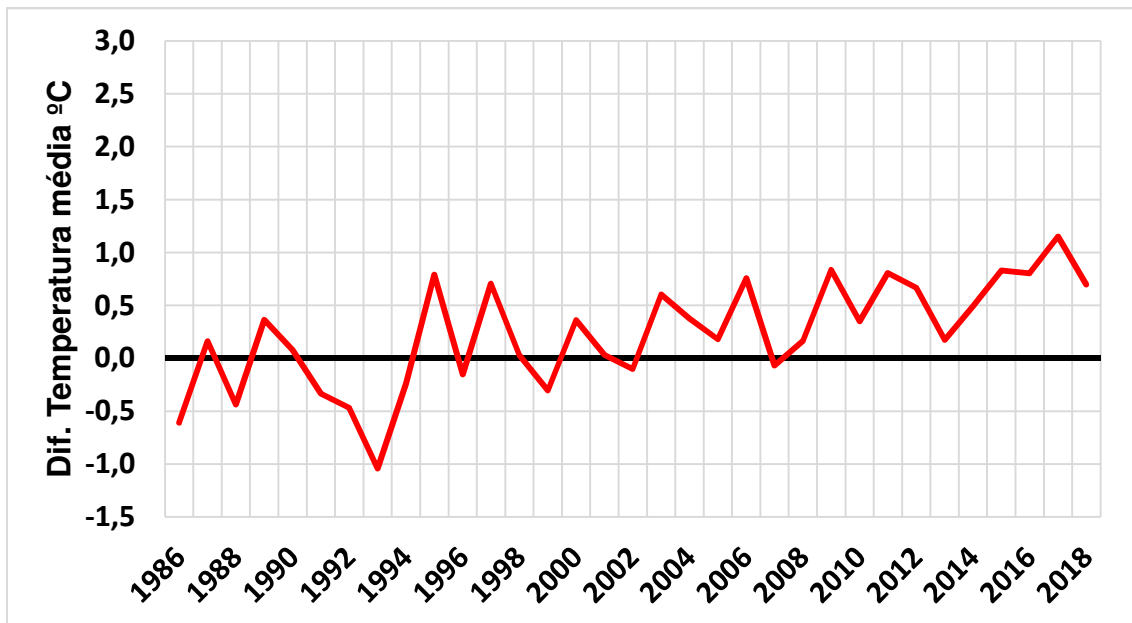
Para o período 1999-2018, Lisboa já registou um aumento de 1,9°C relativamente à Era pré-industrial e o ano de 2017 (Tabela 4) registou um aumento da temperatura média anual de 2,6°C relativamente ao período 1855-1900.

Não é aqui considerada a contribuição do efeito da Ilha de Calor Urbano para as tendências de temperatura aqui mencionadas.



**Figura 2** – Diferença entre a temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e a média climatológica para o período 1855-1900 (Era pré-industrial). Fonte dos dados: NOAA (GHCN, 2018).

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 3** – Diferença entre a temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e a média climatológica para o período 1986-2005. Fonte dos dados: NOAA (GHCN, 2018).

**Tabela 3** – Temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) e diferenças dos períodos 1986-2005 e 1999-2018 relativas a 1855-1900.

T média anual 1855-1900	T média anual 1986-2005	T média anual 1999-2018
15,6	17,0	17,5
Diferença relativa a 1855-1900	1,4	1,9

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Tabela 4** – Temperatura média anual em Lisboa (Geofísico) de 1999 a 2018.

ANO	Temperatura média anual (°C) Lisboa (Geofísico)	ANO	Temperatura média anual (°C) Lisboa (Geofísico)
1999	16,7	2009	17,9
2000	17,4	2010	17,4
2001	17,1	2011	17,9
2002	16,9	2012	17,7
2003	17,7	2013	17,2
2004	17,4	2014	17,5
2005	17,2	2015	17,5
2006	17,8	2016	17,9
2007	17,0	2017	18,2
2008	17,2	2018	17,7

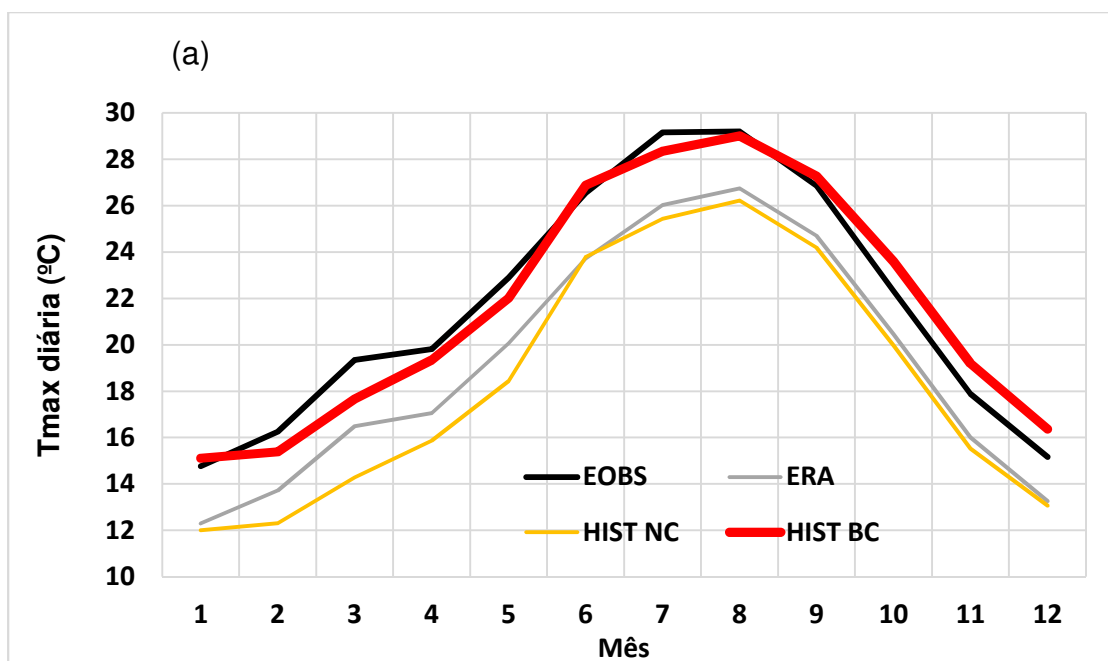
### 4.2. Validação – Clima atual recente

Antes de utilizar os dados simulados para avaliar a alteração climática da temperatura e das ondas de calor, a simulação HIST é validada por comparação com dados EOBS. Esta validação considera separadamente dados NC e BC e ainda os dados simulados pelo modelo WRF com forçamento ERA.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

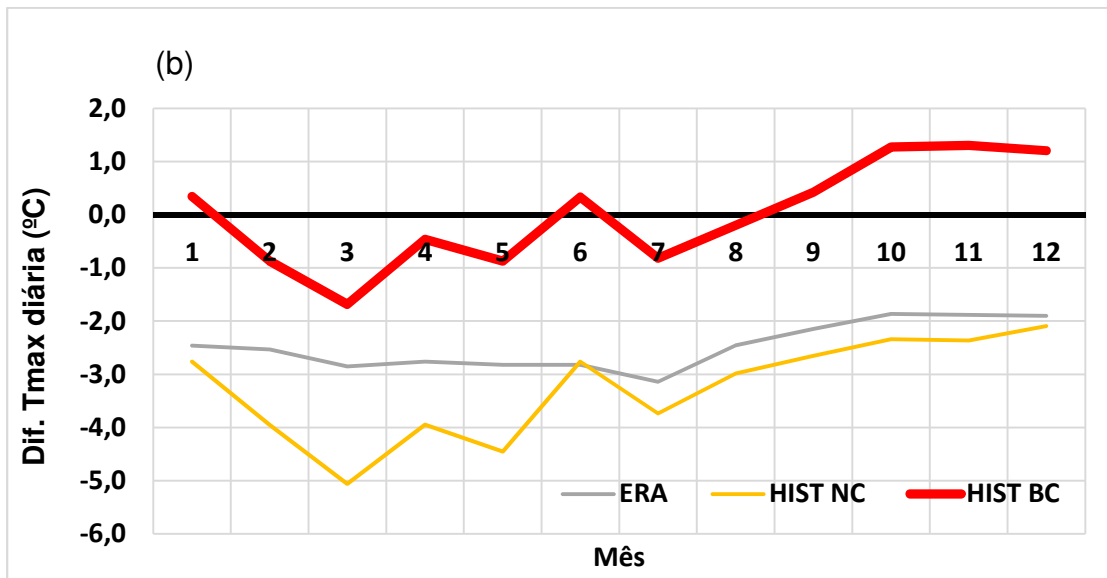
### 4.2.1. Temperatura máxima e mínima

A Figura 4 mostra a média mensal da temperatura máxima diária para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC (a) e as anomalias respetivas relativas à média climatológica (1986-2005) das EOBS (b). As Figuras 5 e 6 mostram a mesma informação que a Figura 3 mas para a temperatura mínima diária e amplitude térmica diária. Os dados sujeitos a correção de viés apresentam menor erro relativo às EOBS do que antes da correção.

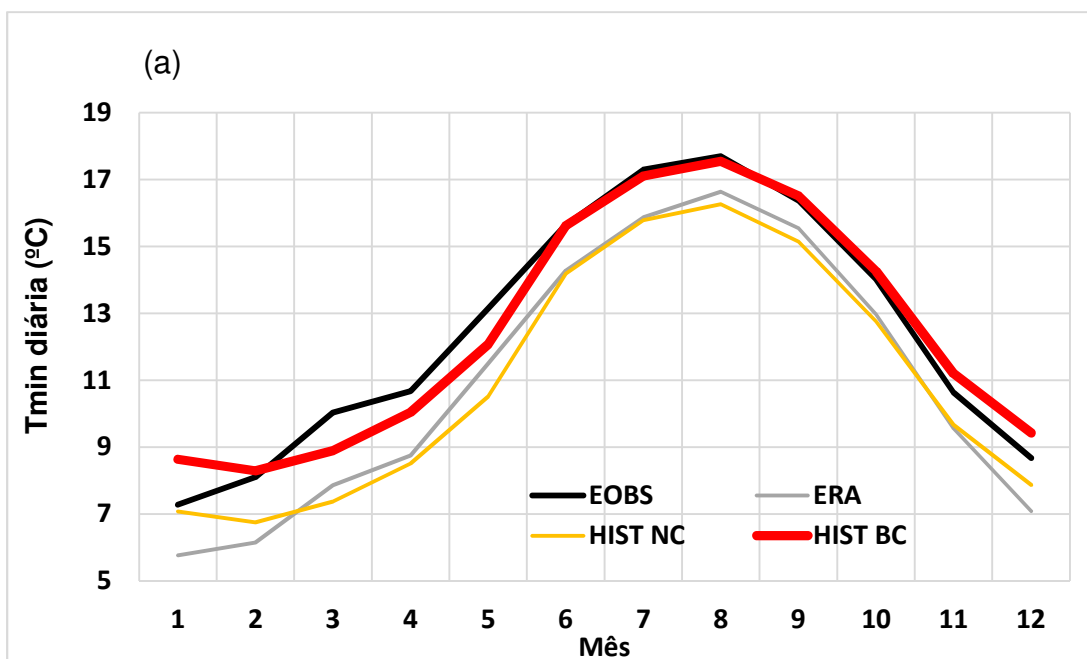




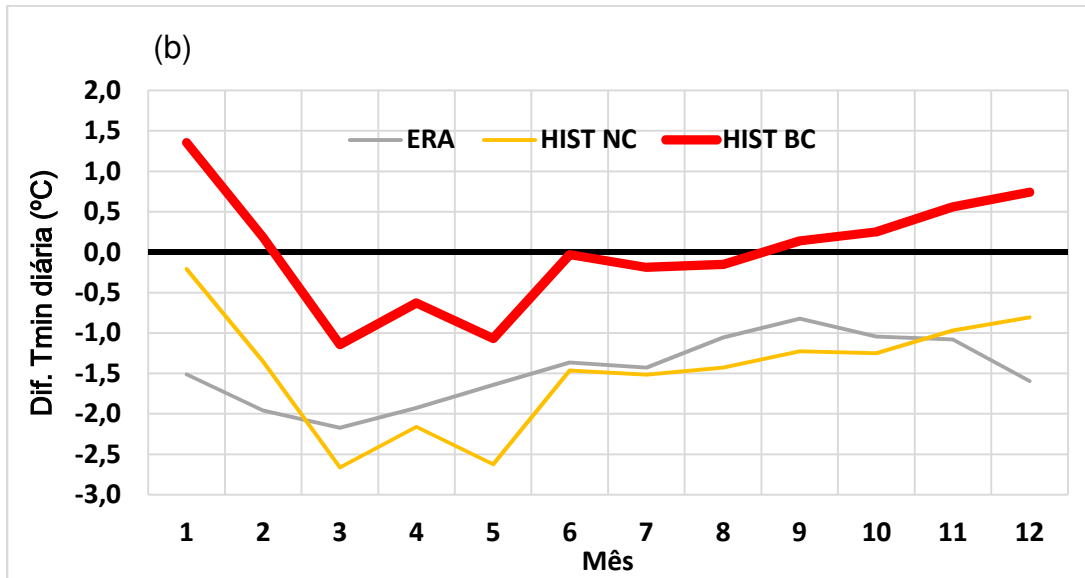
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



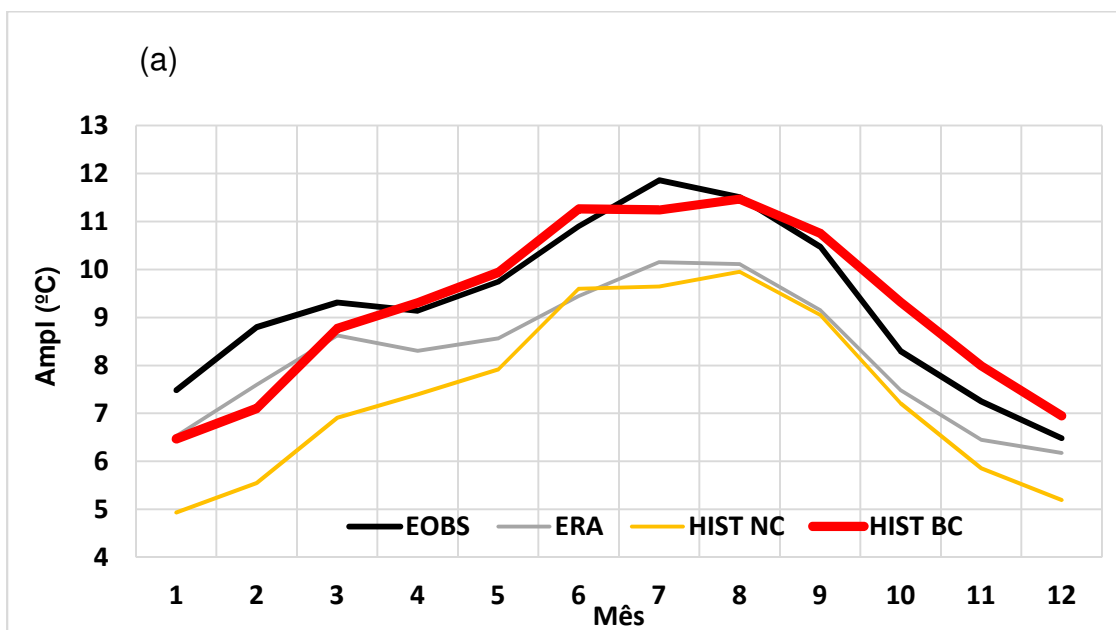
**Figura 4** – (a) Temperatura máxima diária média mensal para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.



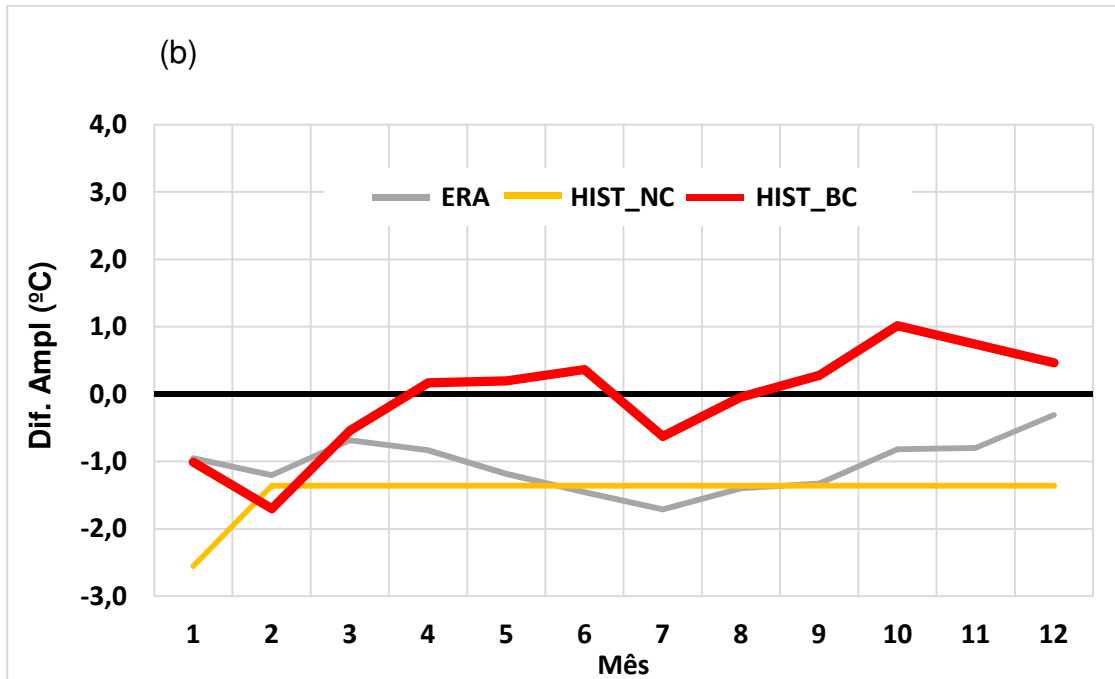
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 5** – (a) Temperatura mínima diária média mensal para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

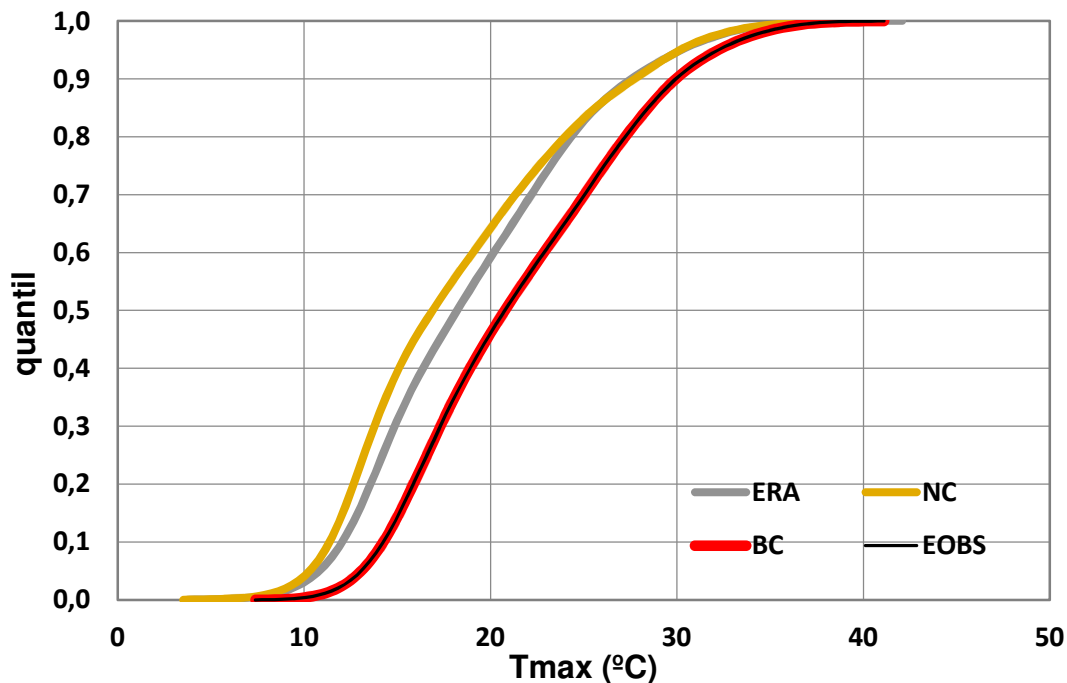


**Figura 6** – (a) Média mensal da amplitude térmica diária (AMPL) para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.

### 4.2.2. Funções de distribuição acumulada

A Figura 7 mostra a função de distribuição acumulada de Tmax para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. As funções de distribuição acumulada das EOBS e BC coincidem (i.e. a duas curvas estão sobrepostas) como seria de esperar. Os dados NC e ERA apresentam um viés negativo relativo às EOBS indicando que o modelo, antes de ser corrigido, simula Tmax inferiores (i.e. viés frio) ao longo de toda a distribuição. O mesmo acontece com os 15 modelos CORDEX (não mostrado).

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



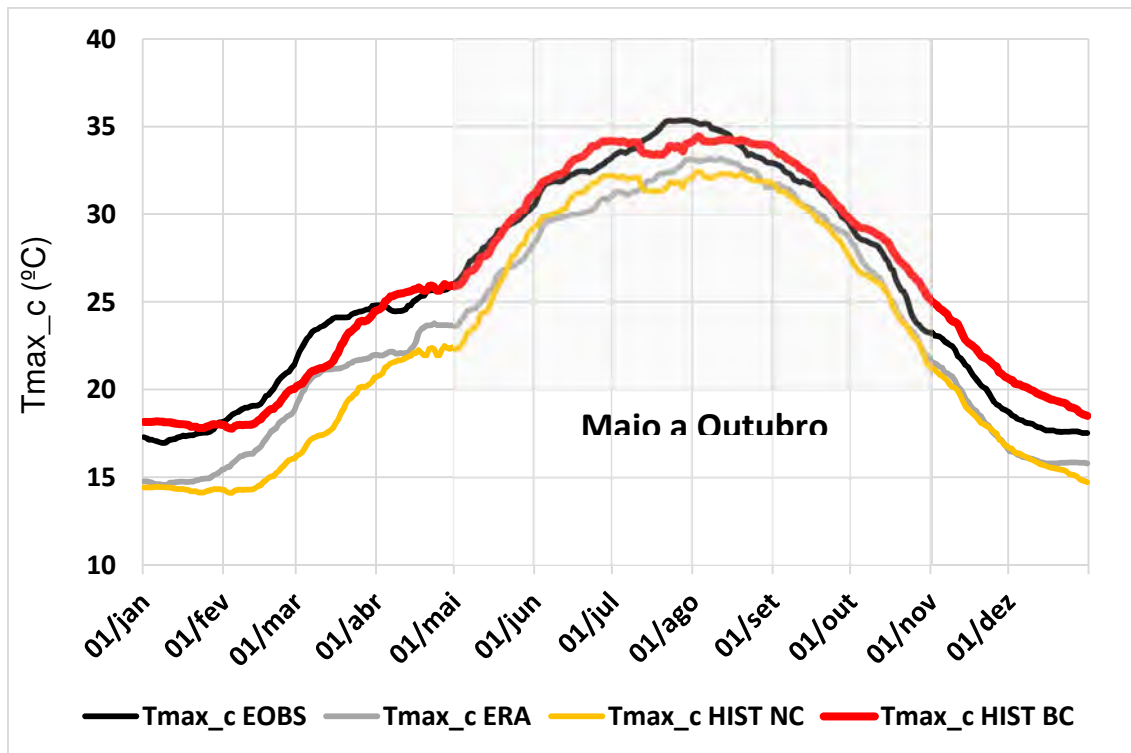
**Figura 7** – Função de distribuição acumulada de Tmax para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC.

### 4.2.3. Ondas de Calor

Nesta secção são identificadas todas as ondas de calor e quantificadas as suas propriedades para as bases de dados do período HIST (1986-2005).

A Figura 8 mostra a temperatura máxima crítica, Tmax\_c (i.e. *threshold*) para cada dia do ano calculado para as EOBS, ERA, NC e BC, como referido em 3.2. Os dados com correção de viés são os que apresentam menor erro relativo às EOBS.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 8** - Temperatura máxima crítica,  $T_{max\_c}$  (i.e. *threshold*) para cada dia do ano calculado para as EOBS, ERA, NC e BC.

As Figuras 9, 10, 11 e 12 mostram, respetivamente, o número médio anual de ondas de calor, o número médio anual de dias de onda de calor, a temperatura máxima média de todas as ondas de calor e a média anual da soma da temperatura máxima de todas as ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

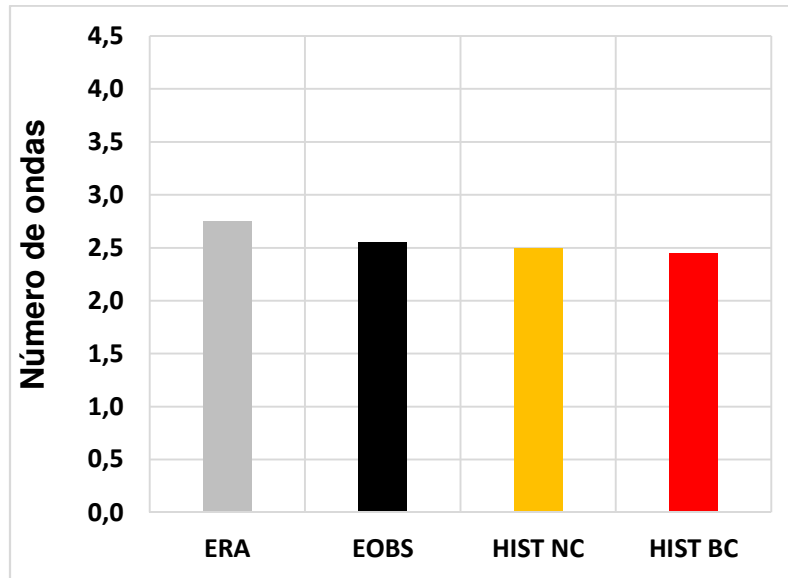


Figura 9 – Número médio anual de ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.

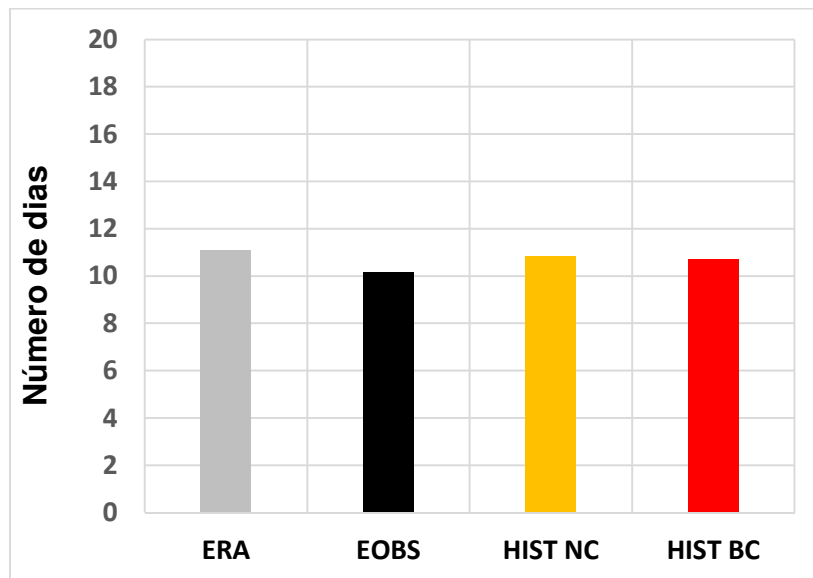
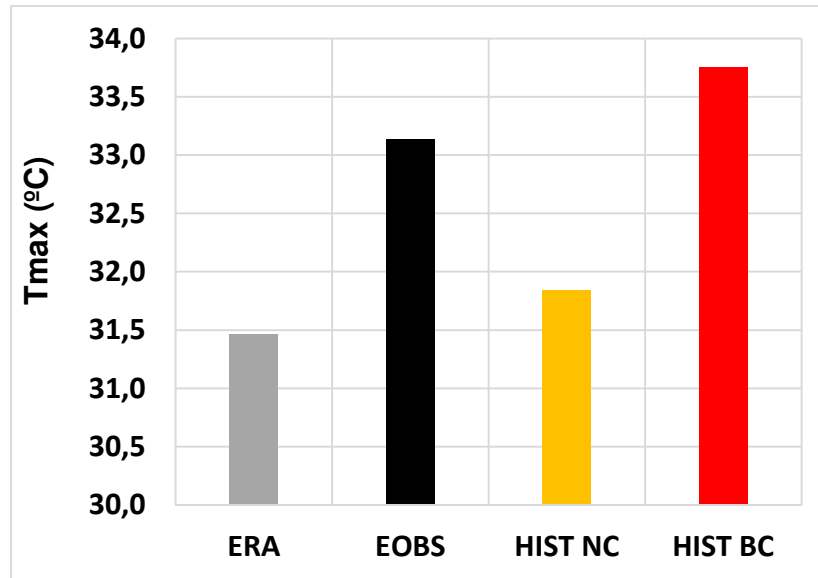
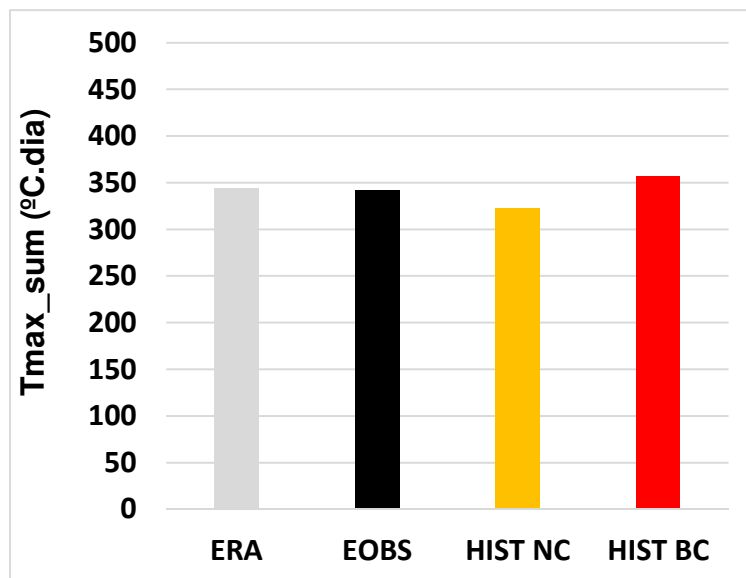


Figura 10 – Número médio anual de dias de onda de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 11** – Temperatura máxima média de todas as ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.



**Figura 12** – Média anual da soma da temperatura máxima de todas as ondas de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

Em resumo, pode concluir-se que os dados simulados corrigidos podem ser utilizados com confiança para avaliar a alteração climática da temperatura e das ondas de calor para cenários climáticos futuros.

### **4.3. Alteração Climática – cenários futuros**

Daqui para a frente serão somente considerados dados simulados corrigidos.

#### **4.3.1. Temperatura máxima e mínima**

A Figura 13 mostra (a) o ciclo anual médio da temperatura máxima diária para HIST, MED e LONG e (b) Ciclo anual médio das anomalias, relativas a HIST, da temperatura máxima diária para MED e LONG. A Figura 14 mostra o mesmo que a Figura 13 mas para a temperatura mínima. A Figura 15 mostra o mesmo que a Figura 13 mas para a amplitude térmica diária.

Observam-se aumentos de temperatura em todos os meses para MED e LONG com aumentos maiores nos meses de verão (os valores podem ser consultados na Tabela A.1 do Anexo). As alterações em MED e LONG relativas a HIST são mostradas na Tabela 5.

**A temperatura máxima diária média anual terá um aumento relativo a HIST de 1,6 °C no clima MED e 3,6°C no clima LONG. Para a temperatura mínima os valores são 1,6°C e 3,1 °C, respetivamente, portanto, ligeiramente inferiores aos aumentos da temperatura máxima. Julho regista os maiores aumentos com 2,6°C (Tmax) e 2,1°C (Tmin) para MED e 5,3°C (Tmax) e 4,2°C (Tmin) para LONG, respetivamente. Os meses de Dezembro a Março registam os menores aumentos em ambos os climas futuros. A amplitude térmica diária média anual terá um aumento de 0,3°C e 0,5°C para MED e LONG, respetivamente.**

O EMAAC (2017) reporta, na Tabela I (página 44) uma temperatura média anual para Lisboa de 14,0°C e 15,1°C simulada pelos dois modelos aí utilizados, respetivamente.



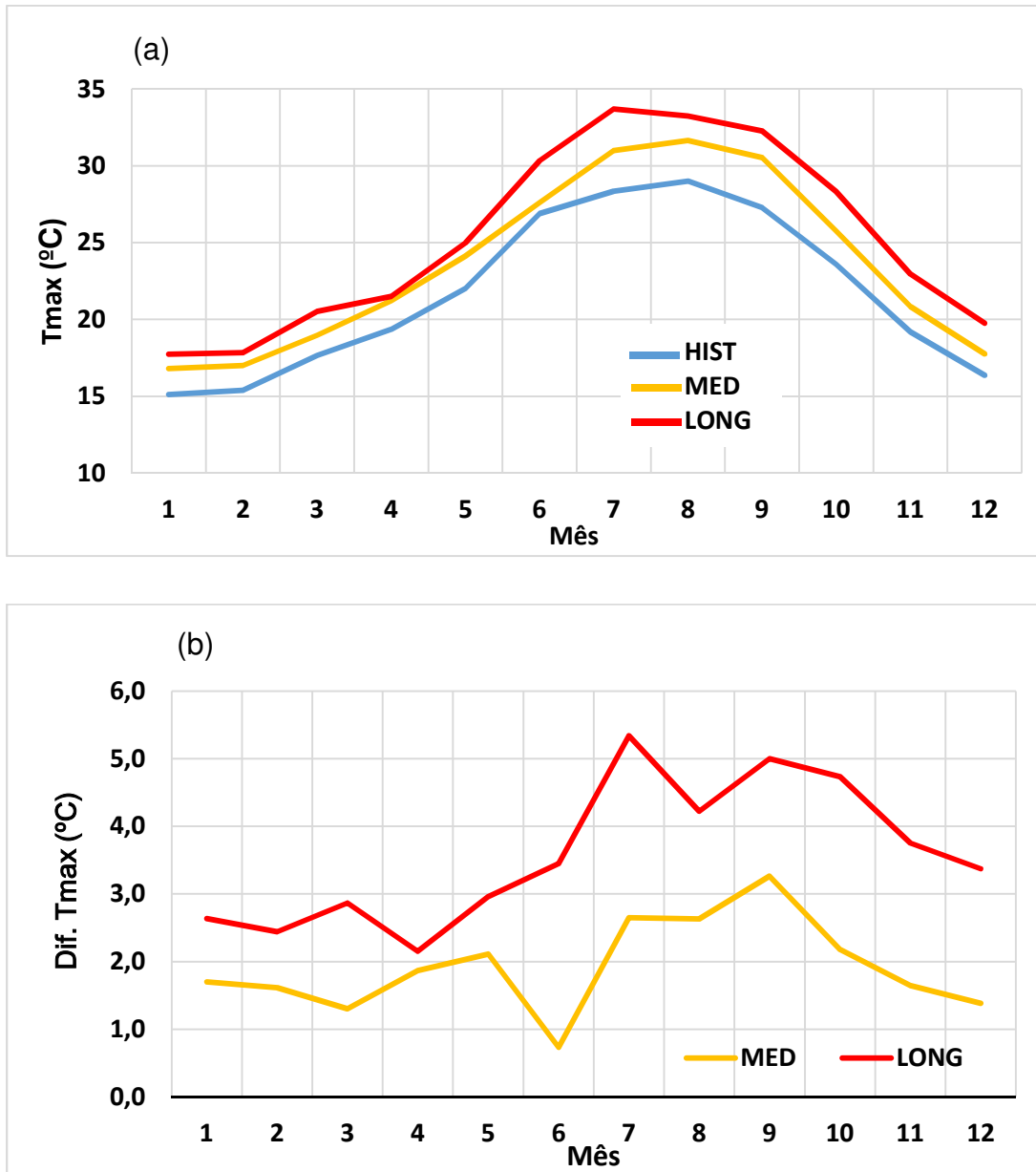
### **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

Estes valores representam um viés frio entre  $-3,1^{\circ}\text{C}$  e  $-2,0^{\circ}\text{C}$  quando comparados com os valores aqui referidos

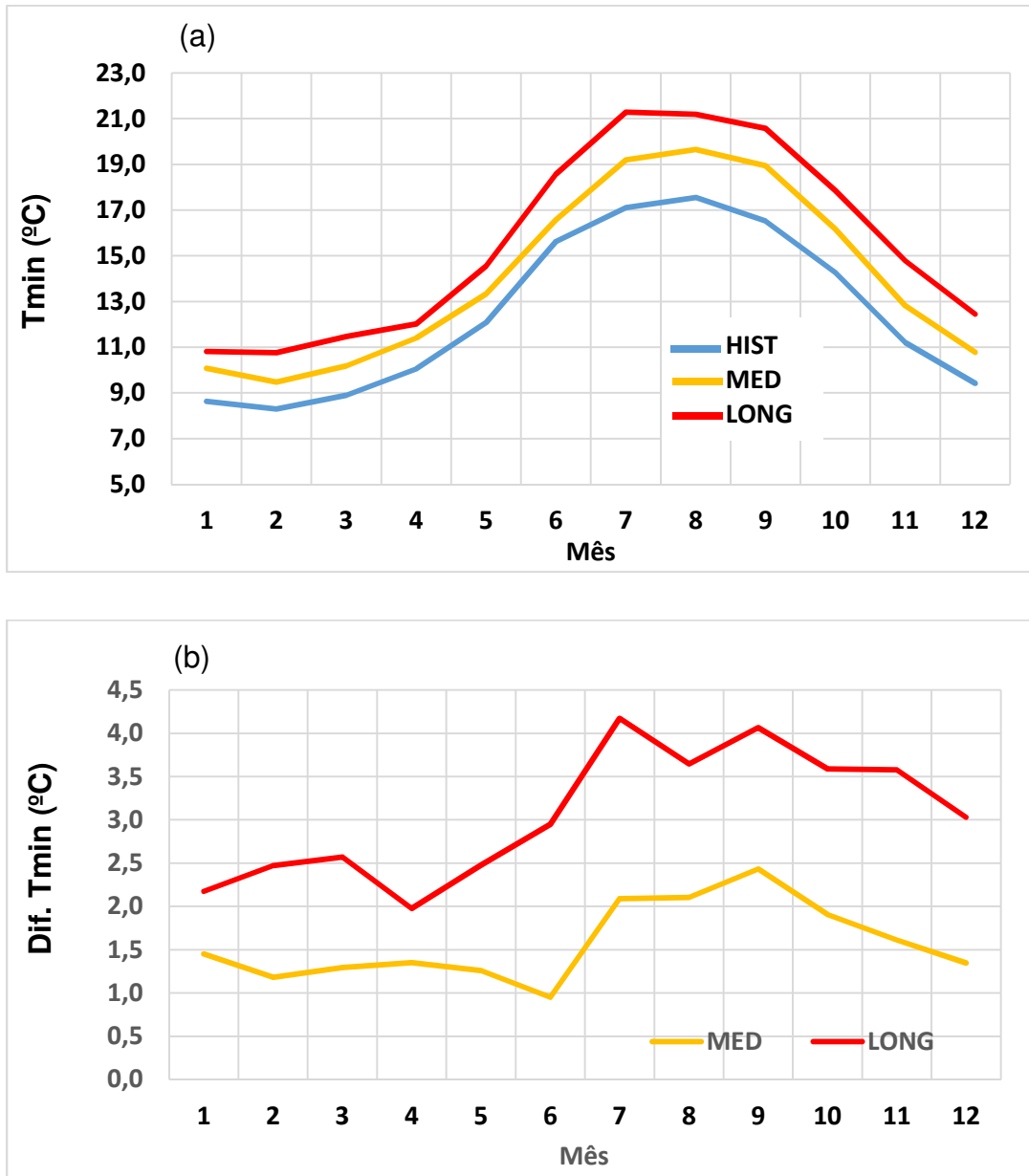
Como referido em 4.1. a temperatura média no considerado como referência neste estudo (1986-2005) registou um aumento de  $1,4^{\circ}\text{C}$  relativamente à Era pré-industrial. Se se pretende estimar as anomalias acima mencionadas relativamente à Era pré-industrial terá que se somar este valor aos aqui mostrados. Note que  $1,4^{\circ}\text{C}$  refere-se à temperatura média diária e não à temperatura máxima/mínima média diária. No entanto supõe-se que esta diferença seja mínima.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



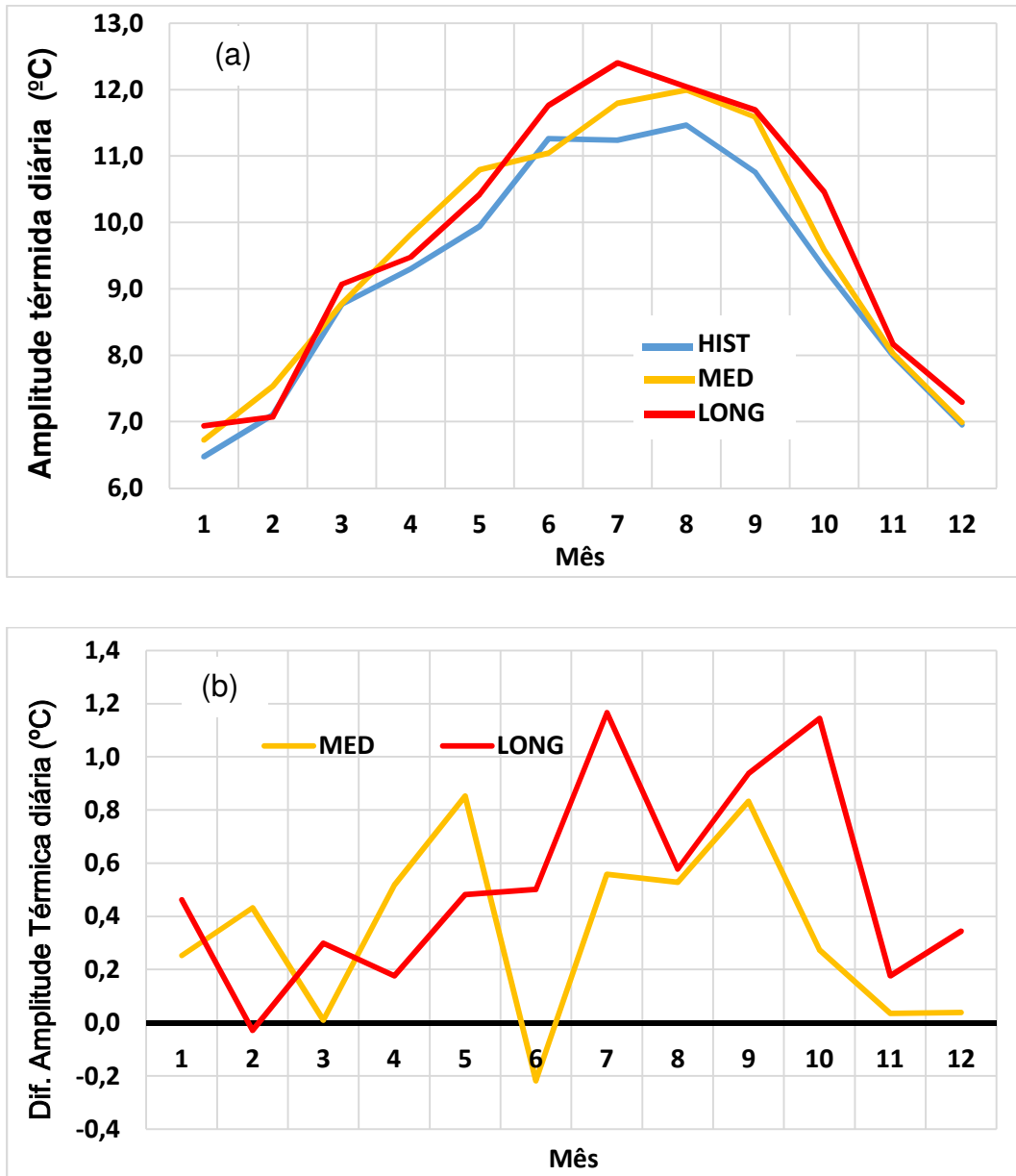
**Figura 13** – (a) Temperatura máxima média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da temperatura máxima média mensal para MED e LONG relativas a HIST.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 14** – (a) Temperatura mínima média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da temperatura mínima média mensal para MED e LONG, relativas a HIST.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 15** – (a) Amplitude térmica diária média mensal para HIST, MED e LONG e (b) Anomalias da amplitude térmica diária média mensal para MED e LONG, relativas a HIST.

**Tabela 5** - Anomalias (°C) da temperatura máxima e mínima e amplitude térmica diária, média mensal para MED e LONG, relativa a HIST. Os valores máximos estão indicados a negrito.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

Mês	MED Tmax	MED Tmin	MED Ampl	LONG Tmax	LONG Tmin	LONG Ampl
Jan	1,7	1,4	0,3	2,6	2,2	0,5
Fev	1,6	1,2	0,4	2,4	2,5	0,0
Mar	1,3	1,3	0,0	2,9	2,6	0,3
Abr	1,9	1,4	0,5	2,2	2,0	0,2
Mai	2,1	1,3	<b>0,9</b>	3,0	2,5	0,5
Jun	0,7	1,0	-0,2	3,5	2,9	0,5
Jul	2,6	2,1	0,6	<b>5,3</b>	<b>4,2</b>	<b>1,2</b>
Ago	2,6	2,1	0,5	4,2	3,6	0,6
Set	<b>3,3</b>	<b>2,4</b>	0,8	5,0	4,1	0,9
Out	2,2	1,9	0,3	4,7	3,6	1,1
Nov	1,6	1,6	0,0	3,8	3,6	0,2
Dez	1,4	1,3	0,0	3,4	3,0	0,3
Ano	1,9	1,6	0,3	3,6	3,1	0,5

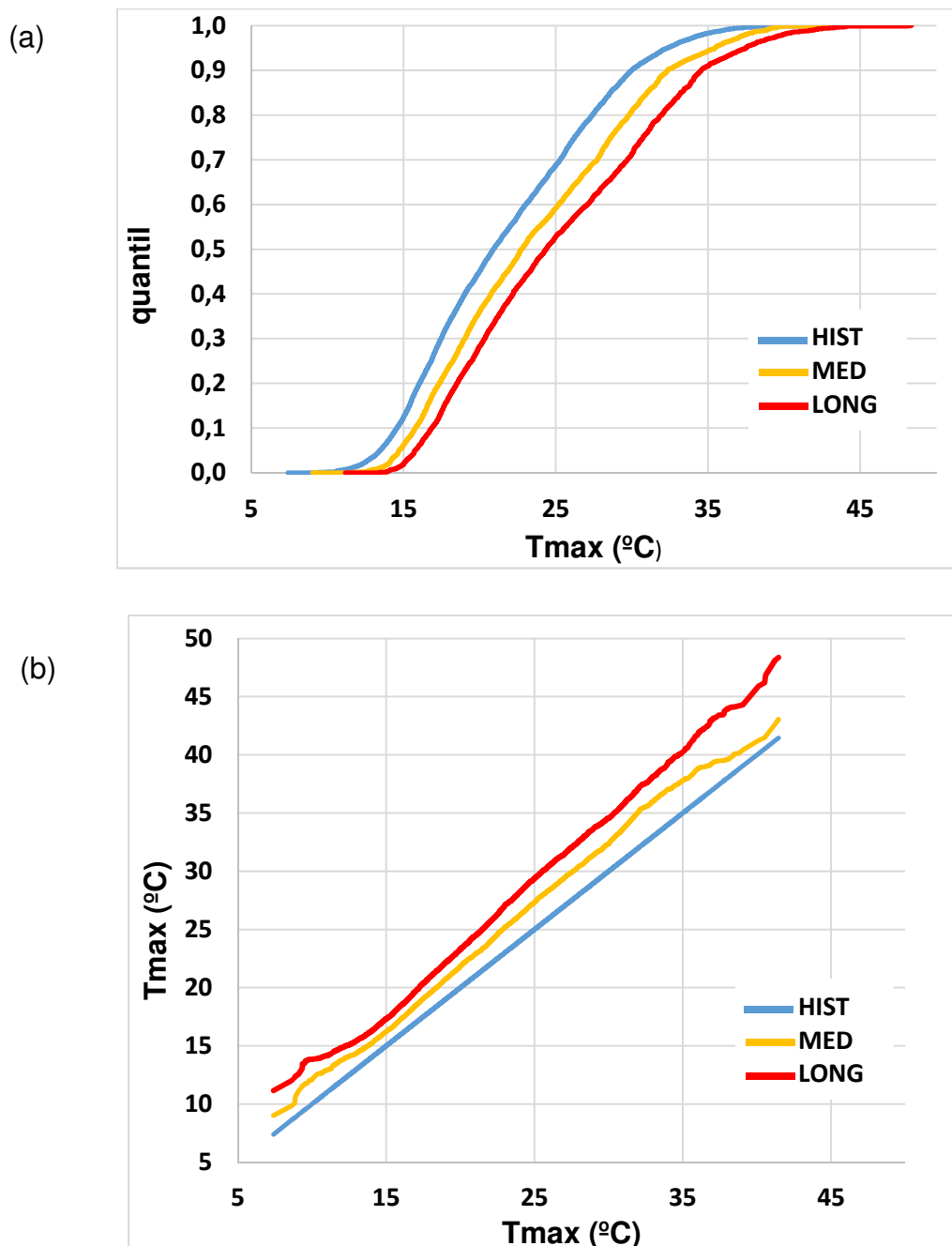
### 4.3.1.2. Funções de distribuição acumulada

#### 4.3.1.2.1. Anual

A Figura 16 mostra (a) funções de distribuição acumulada de Tmax para HIST, MED e LONG considerando todos os dias do ano e (b) o gráfico quantil-quantil para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal). Observa-se que o aumento de Tmax em MED/LONG são comuns a todos os quantis com alguma variação ao longo da distribuição. Aumentos superiores relativamente a HIST observam-se para LONG, como esperado. As Figuras 17 e 18 mostram o mesmo que a Figura 16 mas para Tmin e amplitude térmica diária, respetivamente. As conclusões referidas para Tmax são válidas para Tmin. Para amplitude térmica diária as diferenças são inferiores aos de Tmax e Tmin mas indicam, no

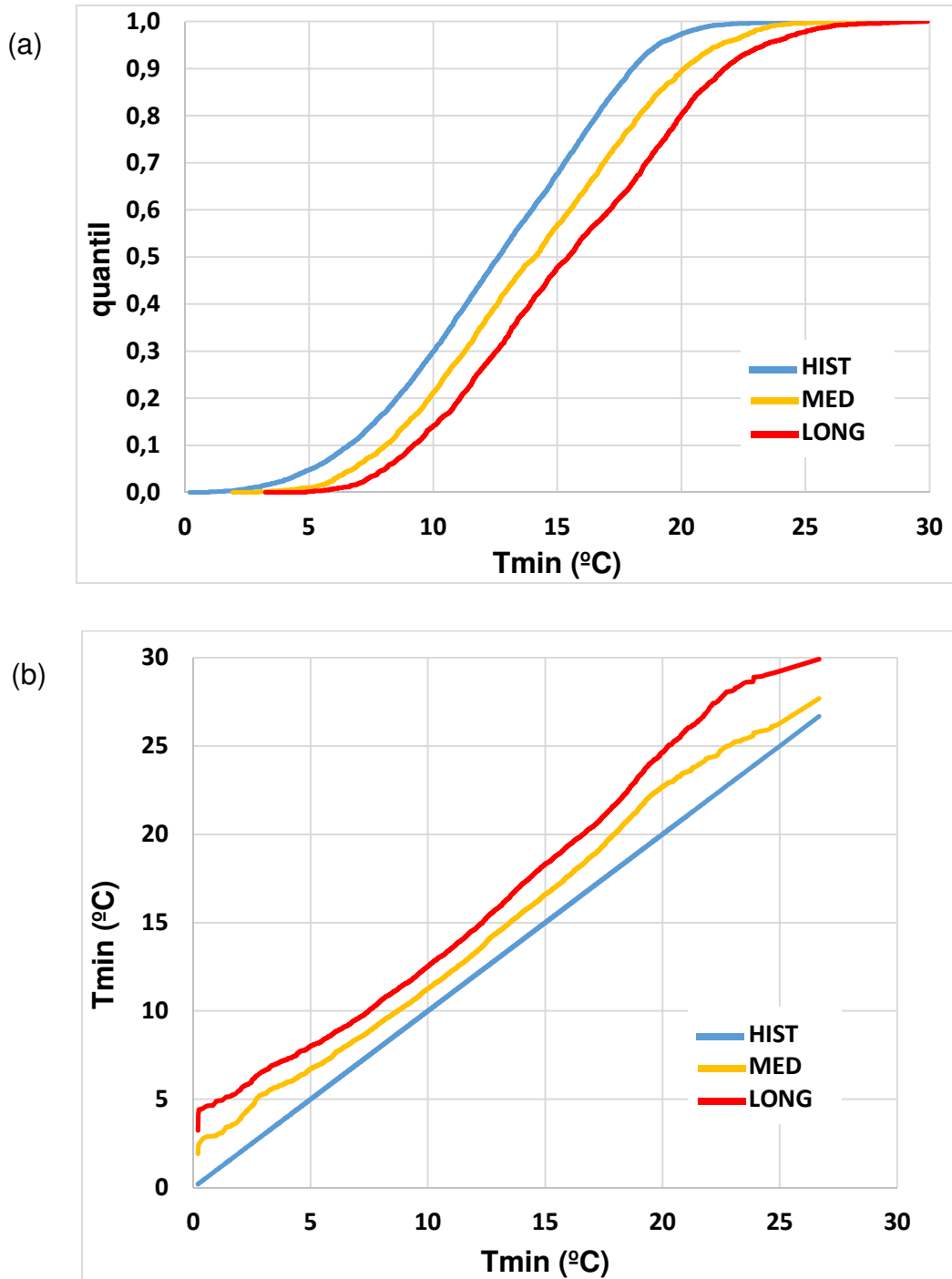
### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

entanto, que  $T_{max}$  aumenta mais do que  $T_{min}$  em MED/LONG relativo a HIST ao longo de toda a distribuição.



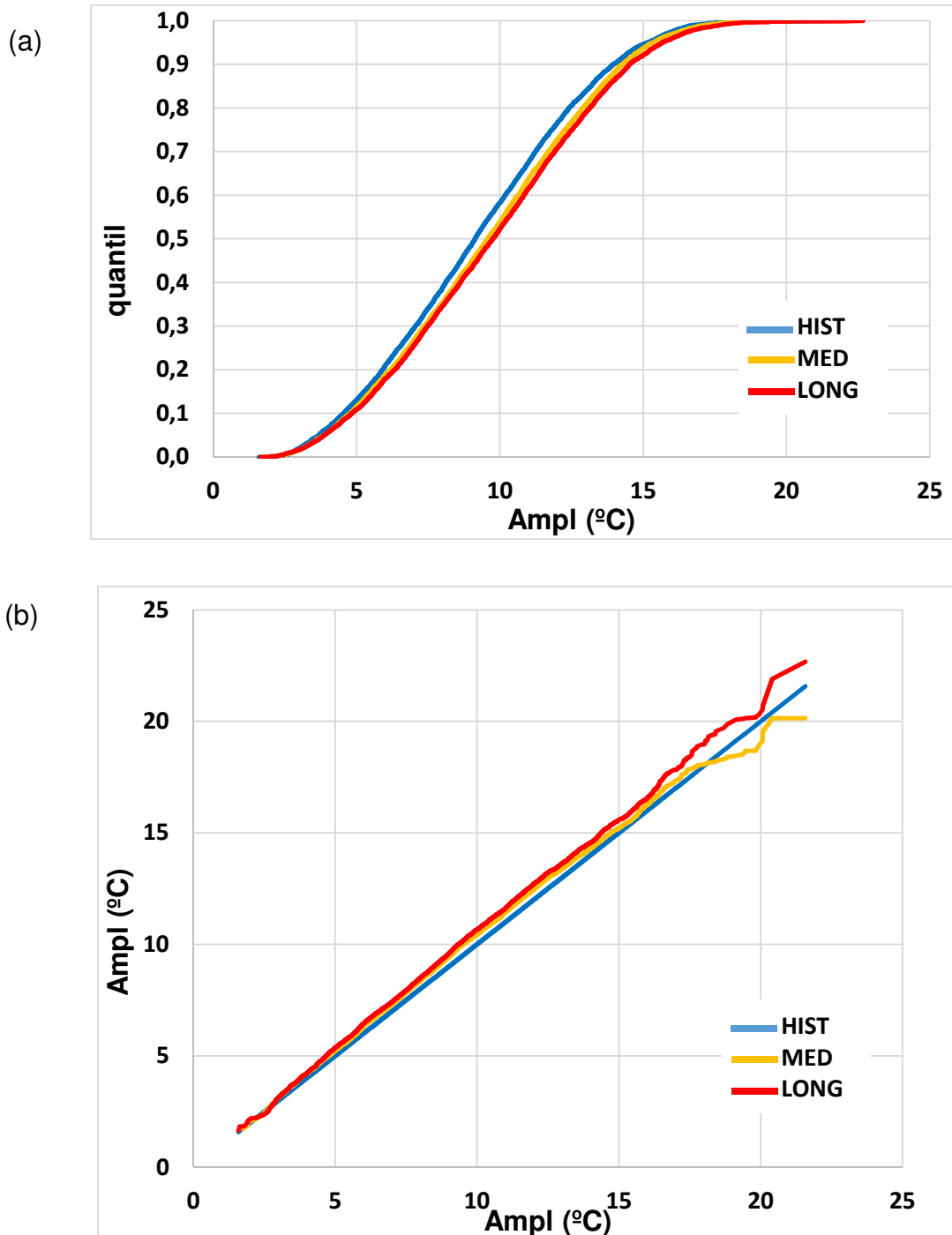
**Figura 16** – (a) Funções de distribuição acumulada de  $T_{max}$  para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de  $T_{max}$  para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 17** – (a) Funções de distribuição acumulada de  $T_{min}$  para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de  $T_{min}$  para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



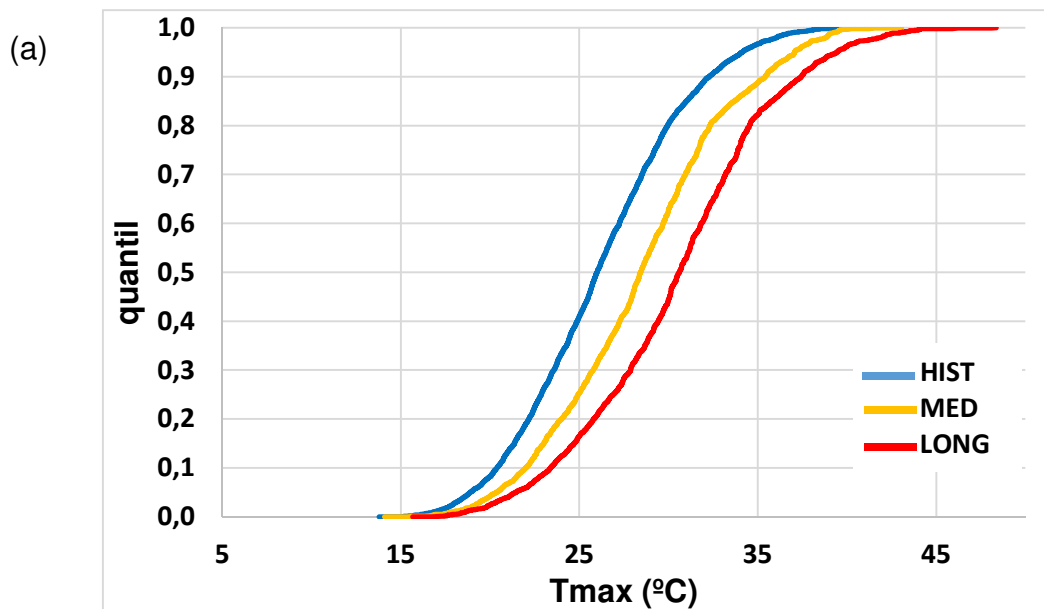
**Figura 18** – (a) Funções de distribuição acumulada da amplitude térmica diária (Ampl) para todos os dias do ano para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil amplitude térmica diária para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).



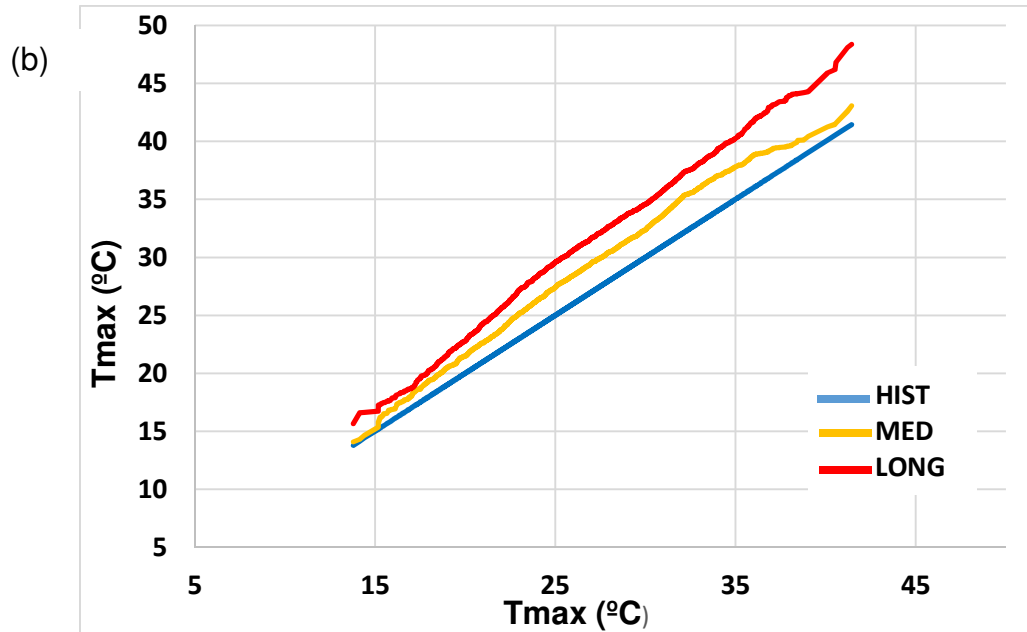
## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### 4.3.1.2.2. Período de maio a outubro

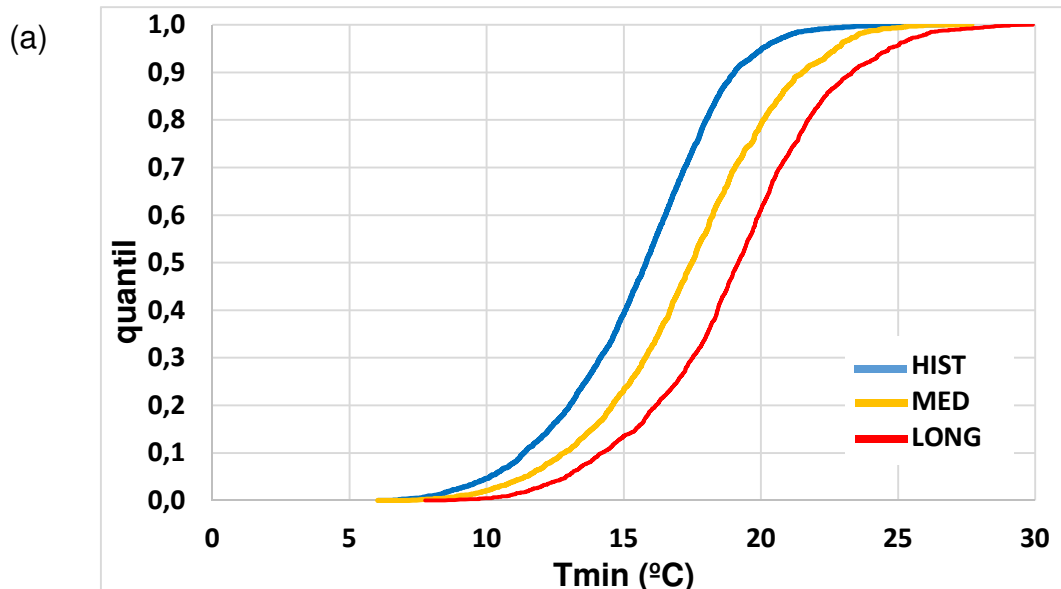
As Figuras 19, 20 e 21 mostram o mesmo que as Figuras 16, 17 e 18 mas utilizando somente dias de maio a outubro. O objetivo é mostrar que as alterações climáticas observadas apresentam maior magnitude quando se consideram apenas dias entre maio e outubro.



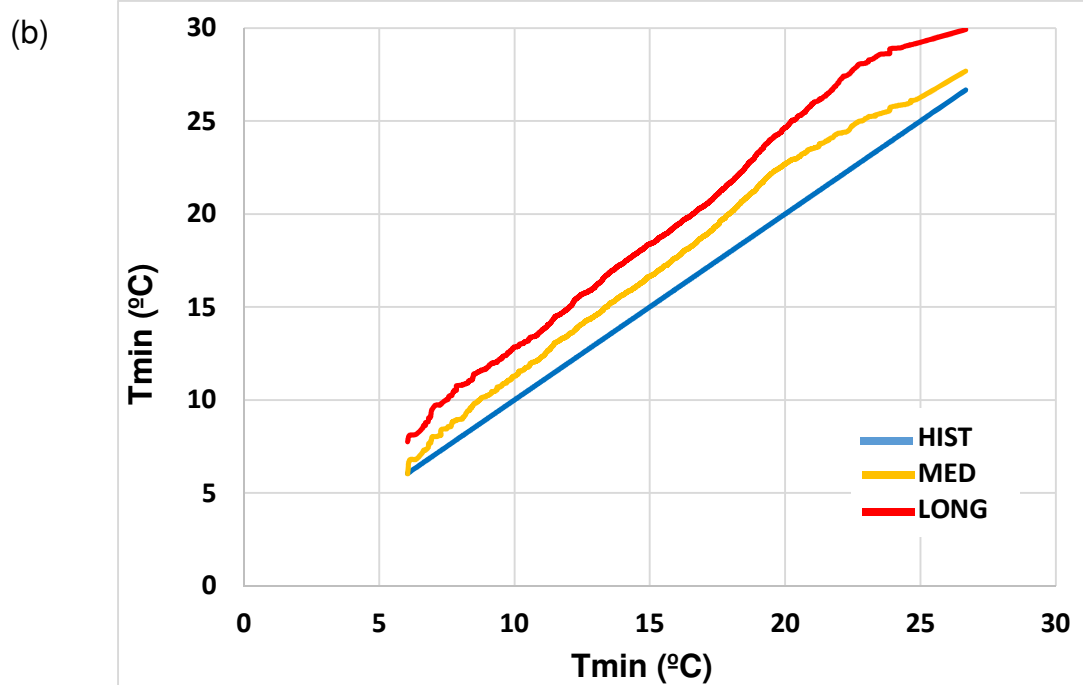
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



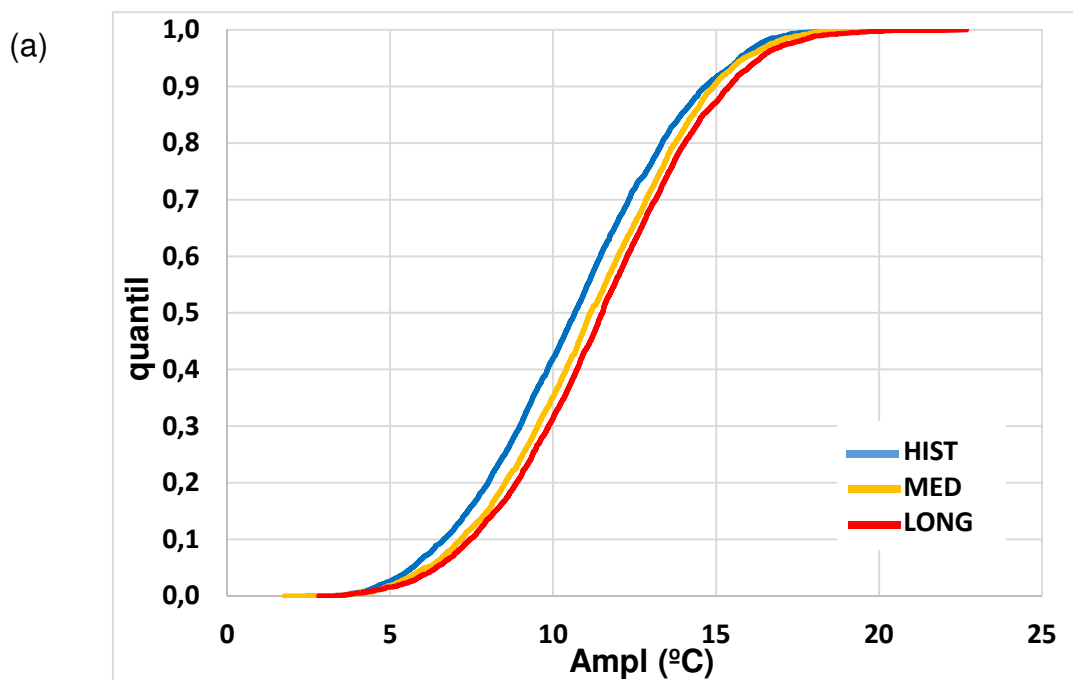
**Figura 19** – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmax para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmax para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).



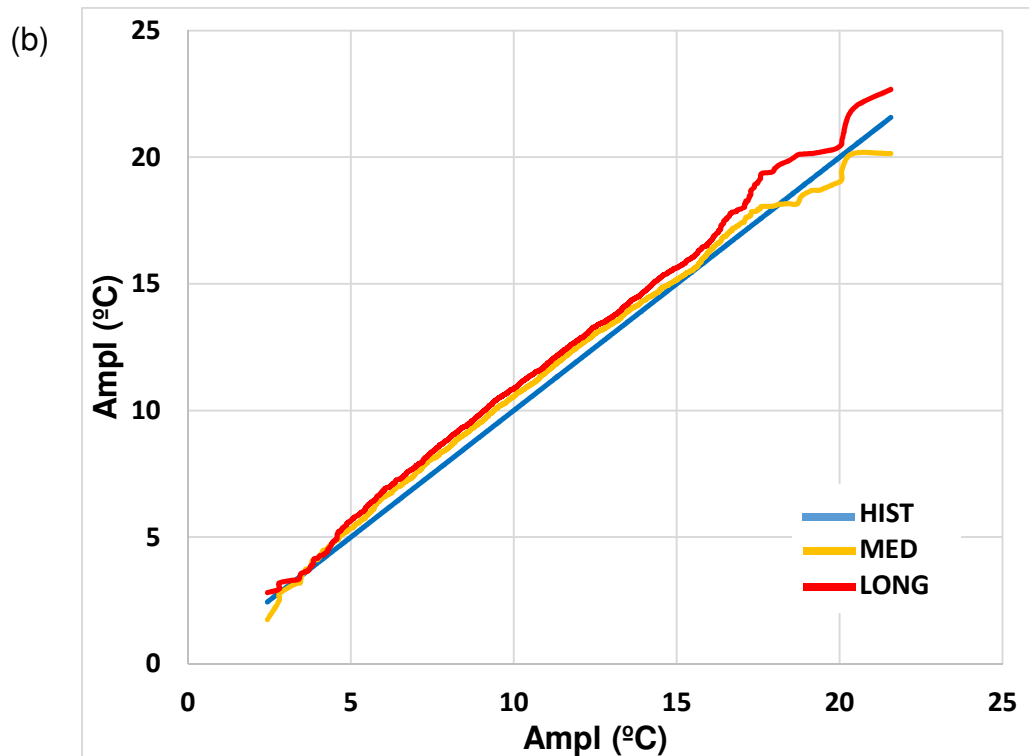
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 20** – (a) Funções de distribuição acumulada de Tmin para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil de Tmin para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 21** – (a) Funções de distribuição acumulada de amplitude térmica diária (Ampl) para os dias de maio a outubro para HIST, MED e LONG. (b) Gráfico quantil-quantil da amplitude térmica diária para MED/LONG (eixo vertical) e HIST (eixo horizontal).

### 4.3.2. Ondas de Calor

Foram identificadas e caracterizadas todas as ondas de calor nas séries temporais de 20 anos de Tmax para HIST, MED e LONG. A avaliação da alteração climática é feita por comparação entre os resultados de MED/LONG relativos a HIST.

São somente consideradas OC como início ou fim entre o dia 1 de Maio e 31 de Outubro.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

### **4.3.2.1. Médias**

#### **4.3.2.1.1. Período de maio a outubro**

As Figuras de 22 a 32 mostram o número médio anual de ondas de calor e de dias de onda de calor (Figuras 22 e 23) assim como algumas das propriedades das ondas de calor para HIST, MED e LONG (Figuras 24 a 32).

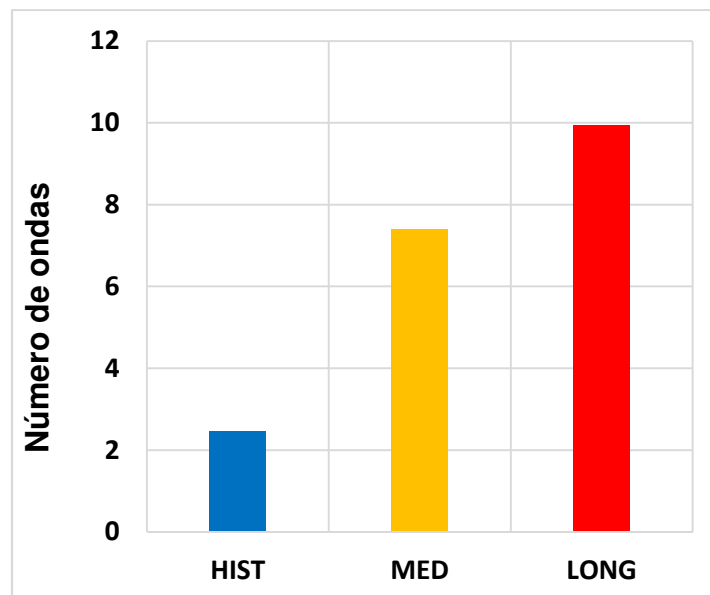
Prevê-se um aumento de número de ondas de calor em ambos os climas futuros relativamente ao clima atual de referência (HIST). O número médio anual de dias de onda de calor irá aumentar aproximadamente 4 e 6 vezes relativamente ao valor atual para os climas MED e LONG, respetivamente. Considerando que o período objeto deste estudo para a identificação de onda de calor soma aproximadamente 180 dias (de 1 de Maio a 31 de Outubro), estes aumentos significam que, em média, grande parte deste período será de OC. Mais grave é o facto de, em alguns do 20 anos simulados para cada clima futuro, observam-se anos com número de dias de onda de calor muito superiores à média.

Todas as propriedades que caracterizam as ondas de calor aumentam nos dois climas futuros, com exceção do fator de recuperação, que diminui entre 0,5°C e 1°C. Estes valores representam um menor alívio imposto pelo *stress* térmico da onda de calor sobretudo porque as temperaturas máximas médias das ondas de calor aumentam. Note-se que, enquanto a amplitude térmica média diária durante as ondas de calor, quantificada pelo fator de recuperação, diminui no futuro cerca de 1°C, a amplitude térmica diária média em condições gerais (médias de todos os dias, com ou sem onda de calor) aumenta cerca de 1°C (ver figuras 15, 18 e 21).

Eventualmente, a propriedade de maior relevância das ondas de calor é, juntamente com o número de dias de onda de calor, é a soma da temperatura média máxima para todos os dias da onda de calor. Este valor representa a acumulação de energia térmica durante uma onda de calor.

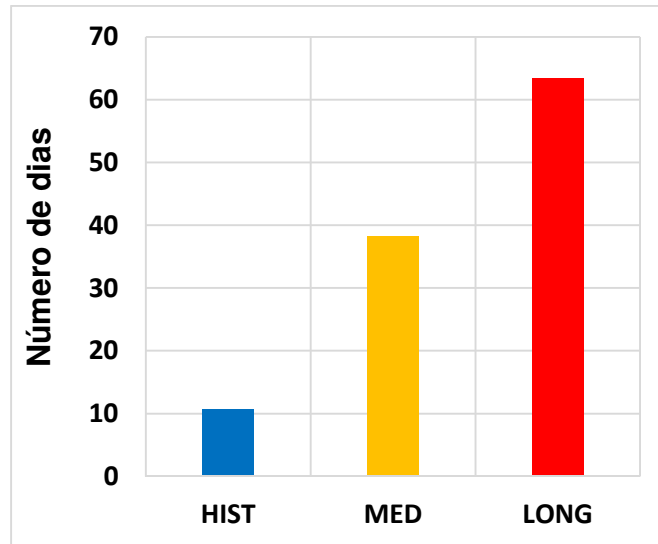
### **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

A média anual destes valores, mostrada na Figura 30, aumenta de 358°C.dia em HIST para 1270°C.dia em MED e 2078°C.dia em LONG. Isto representa um valor médio anual de calor acumulado durante ondas de calor entre 2,5 (MED) e 5,8 (LONG) vezes superior ao registado no clima atual. Em LONG, a onda de calor com o valor máximo absoluto de Tmax sum de 674°C.dia (Figura 32) o que corresponde a uma temperatura máxima média de 29,3°C e duração de 23 dias.

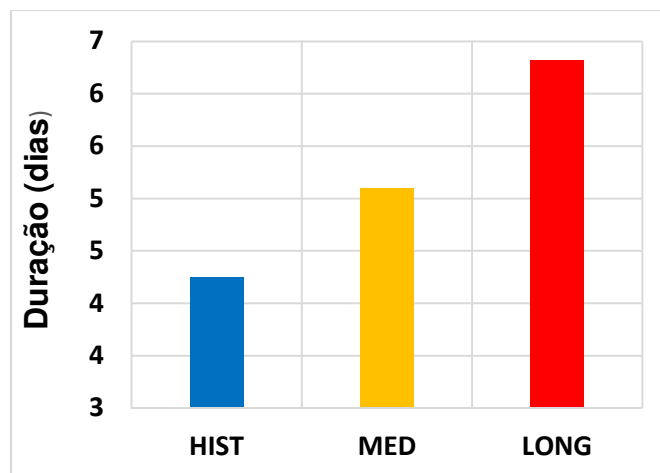


**Figura 22** – Número de ondas de calor médio anual para HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

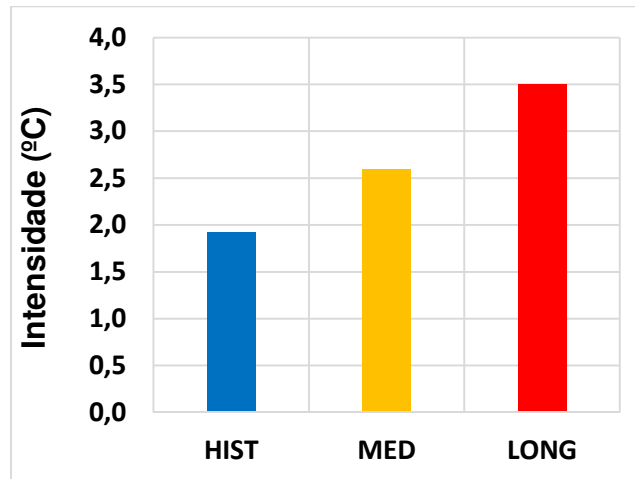


**Figura 23** – Número de dias de onda de calor médio anual para HIST, MED e LONG.

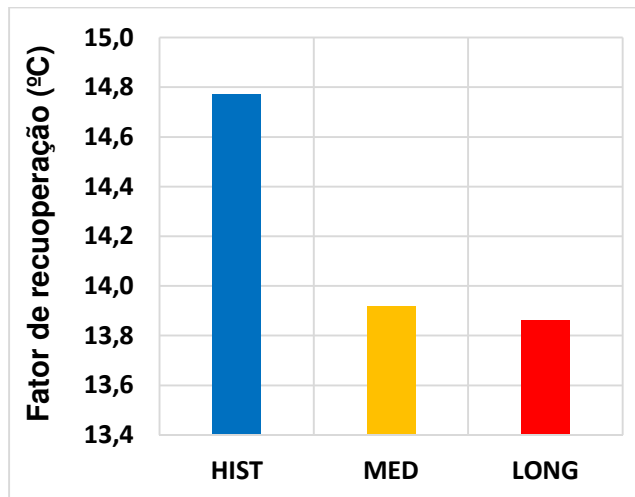


### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Figura 24** – Duração média das ondas de calor para HIST, MED e LONG.



**Figura 25** – Intensidade média das ondas de calor para HIST, MED e LONG.



**Figura 26** – Fator de recuperação médio das ondas de calor para HIST, MED e LONG.



### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

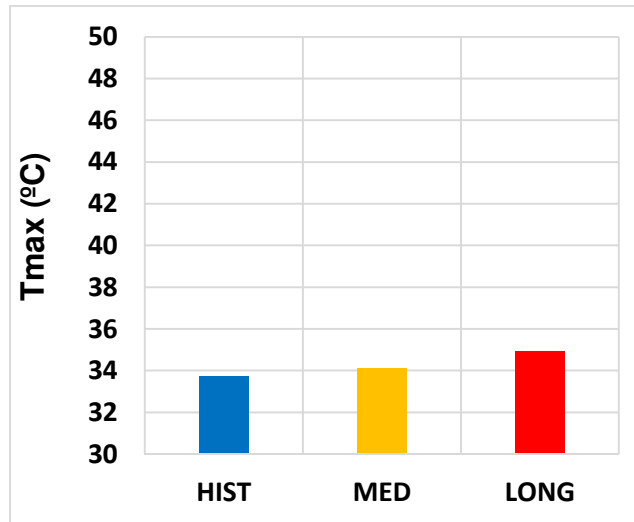


Figura 27 – Temperatura máxima média das ondas de calor para HIST, MED e LONG.

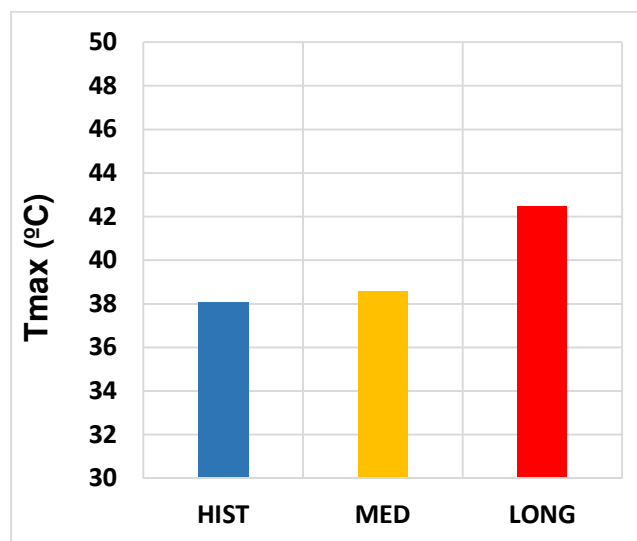
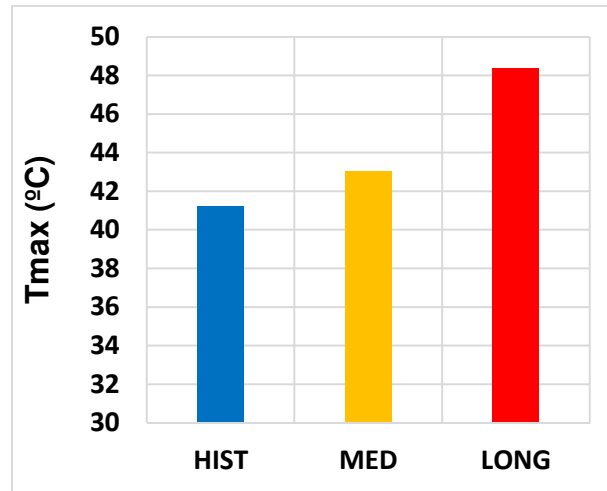
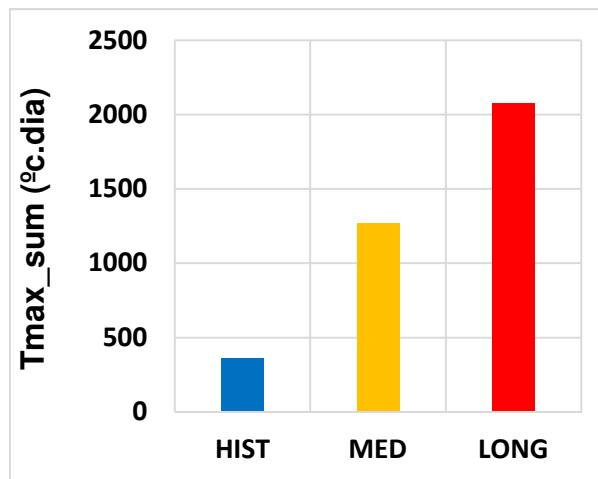


Figura 28 – Temperatura máxima média, máxima de todas as ondas de calor para HIST, MED e LONG.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

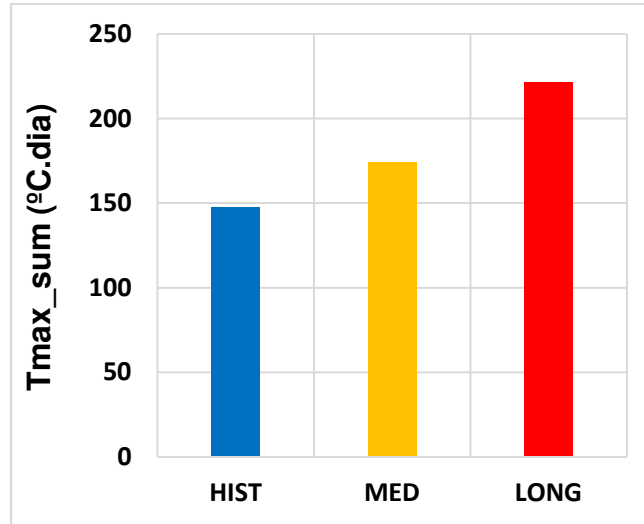


**Figura 29** – Temperatura máxima diária máxima absoluta entre todas as ondas de calor para HIST, MED e LONG.

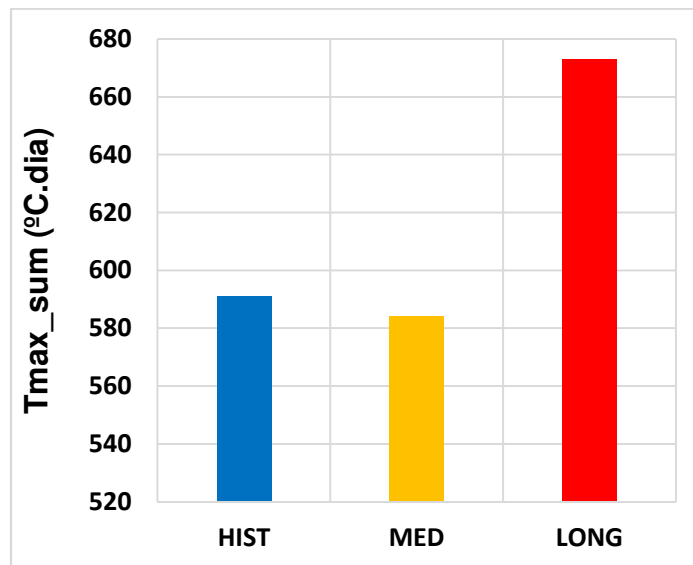


**Figura 30** –Tmax\_sum média anual para HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 31** – T<sub>max\_sum</sub> média das ondas de calor para HIST, MED e LONG.



**Figura 32** – T<sub>max\_sum</sub> máxima das ondas de calor para HIST, MED e LONG.

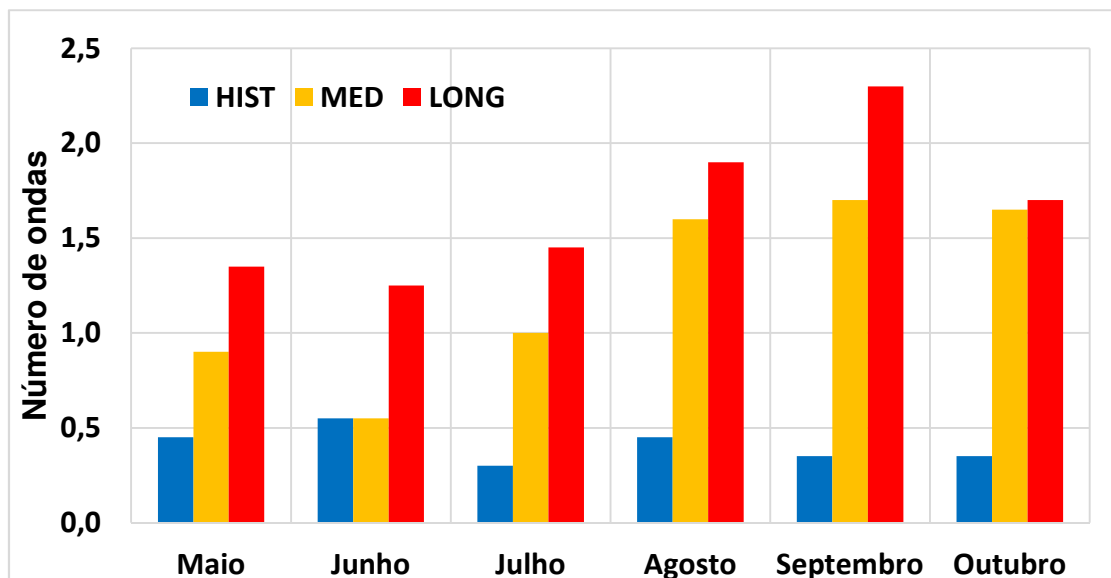
#### 4.3.2.1.2. Mensal

Pretende-se nesta secção mostrar a contribuição de cada mês para o regime de onda de calor e como se espera que altere no futuro.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

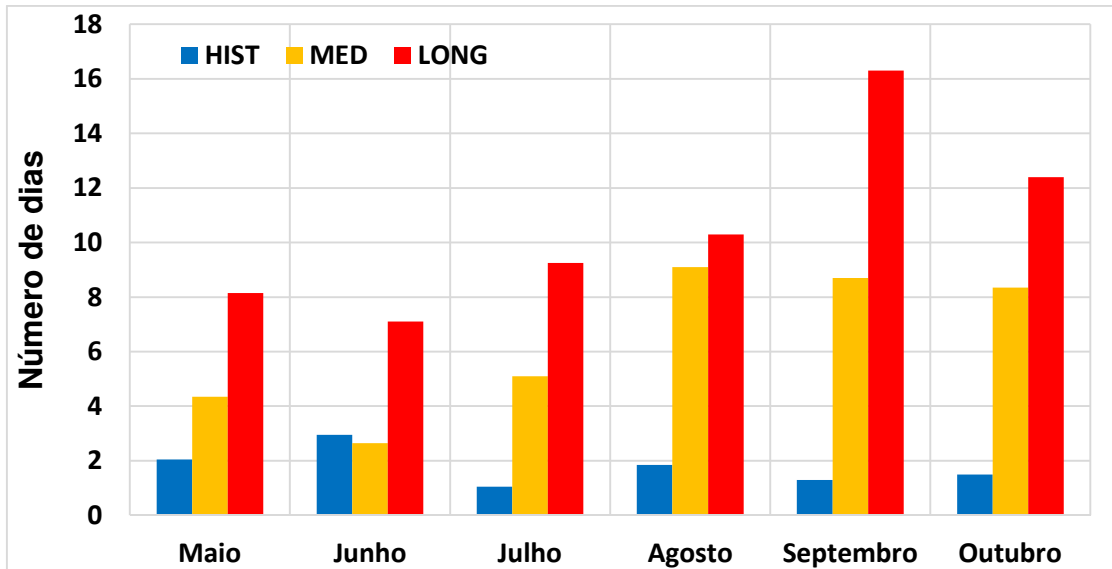
As Figuras de 33 a 39 mostram o número médio mensal de onda de calor e de dias de onda de calor (Figuras 33 e 34) assim como algumas das propriedades das ondas de calor para HIST, MED e LONG (Figuras 35 a 39).

Parece haver um aumento da contribuição relativa dos três últimos meses em MED e LONG relativamente a HIST, sobretudo para número de ondas de calor, de dias de onda de calor e Tmax\_sum.

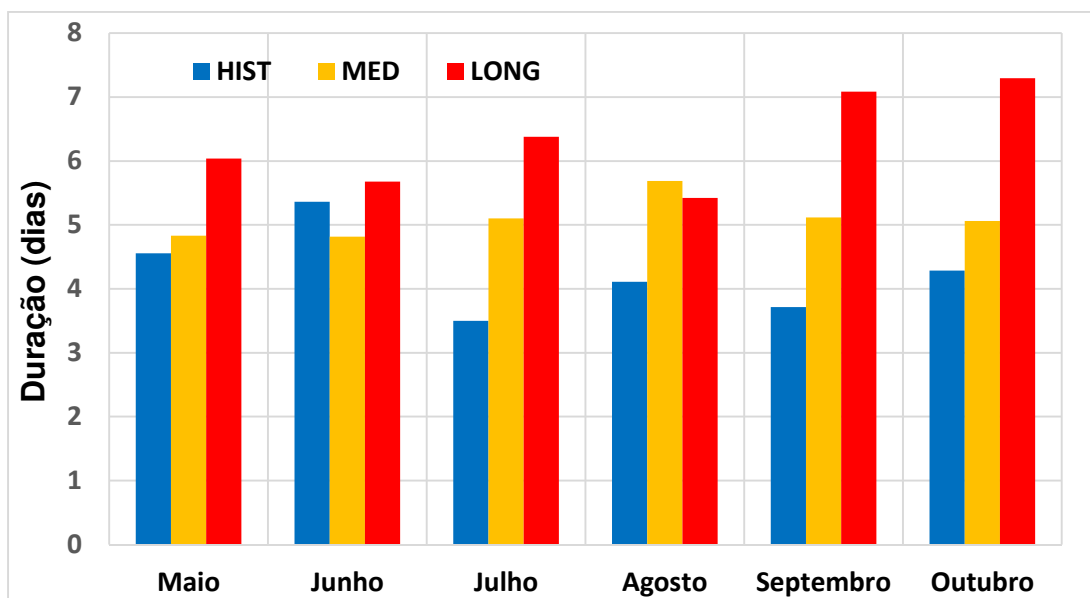


**Figura 33** – Número de ondas de calor médio mensal para os climas HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

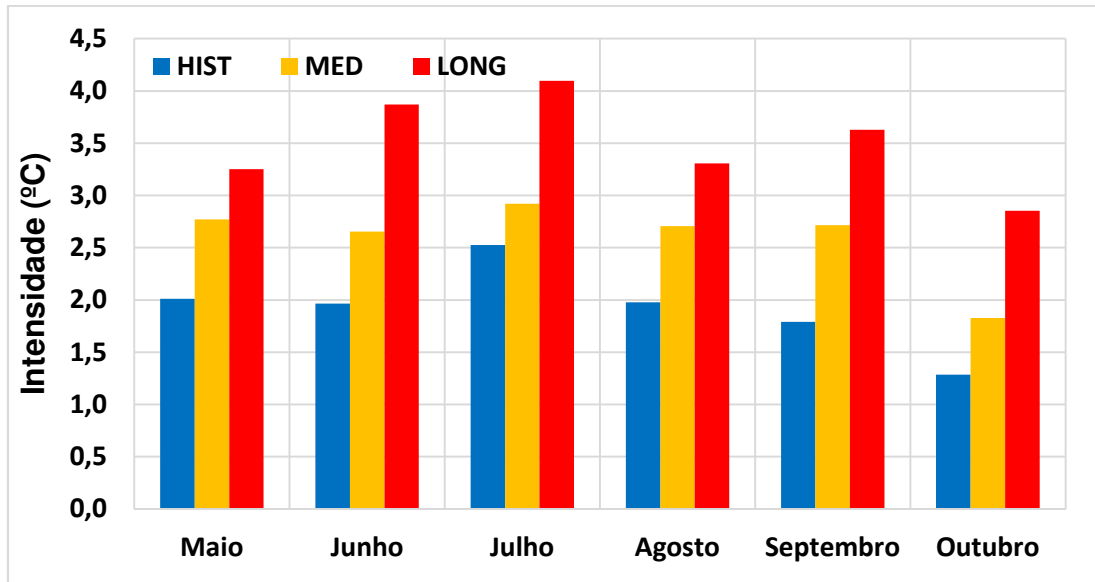


**Figura 34** – Número de dias de onda de calor médio mensal para os climas HIST, MED e LONG.

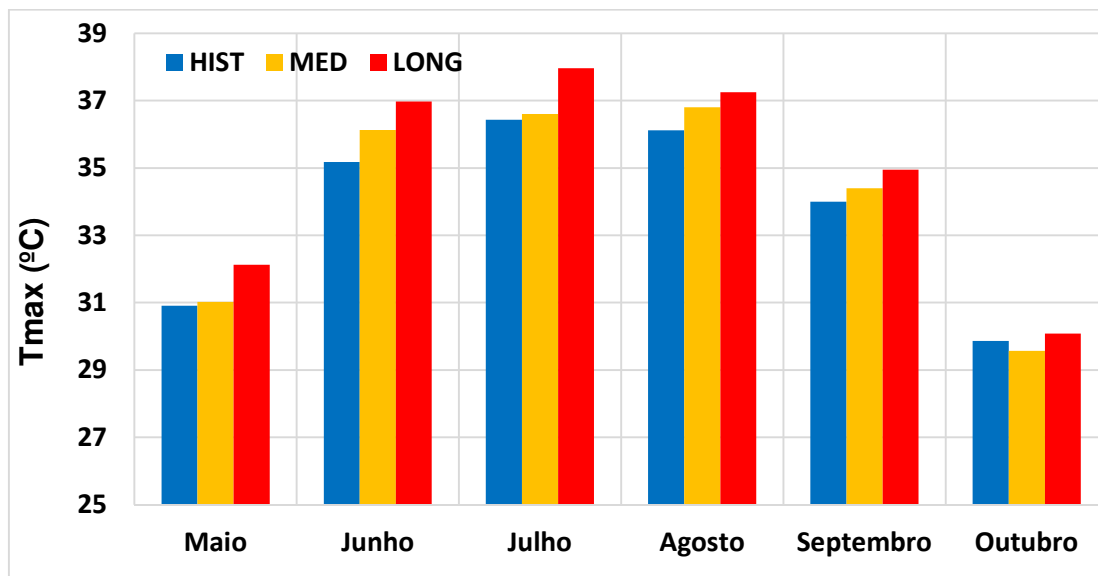


**Figura 35** – Duração média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

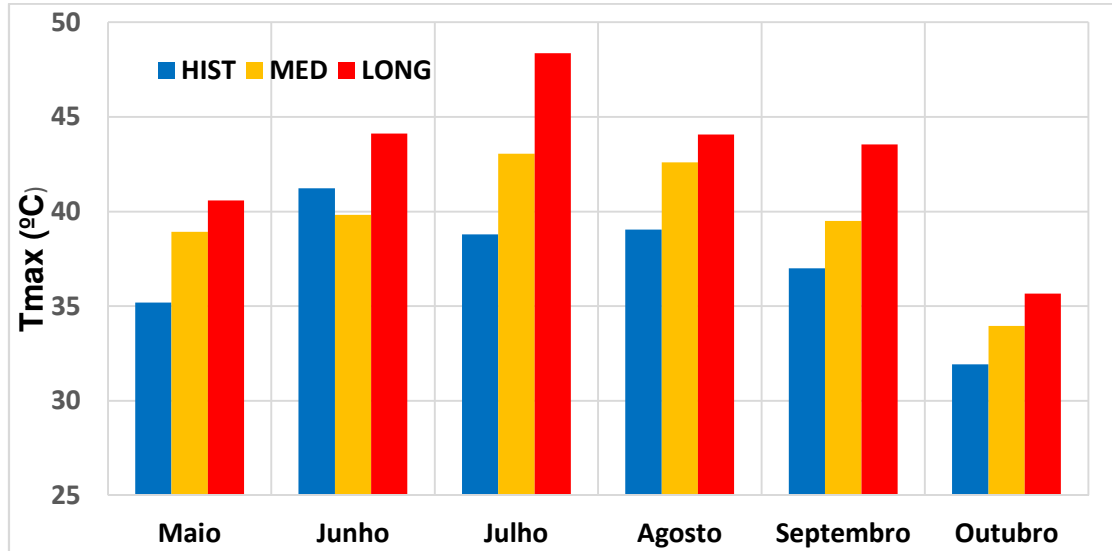


**Figura 36** – Intensidade média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.

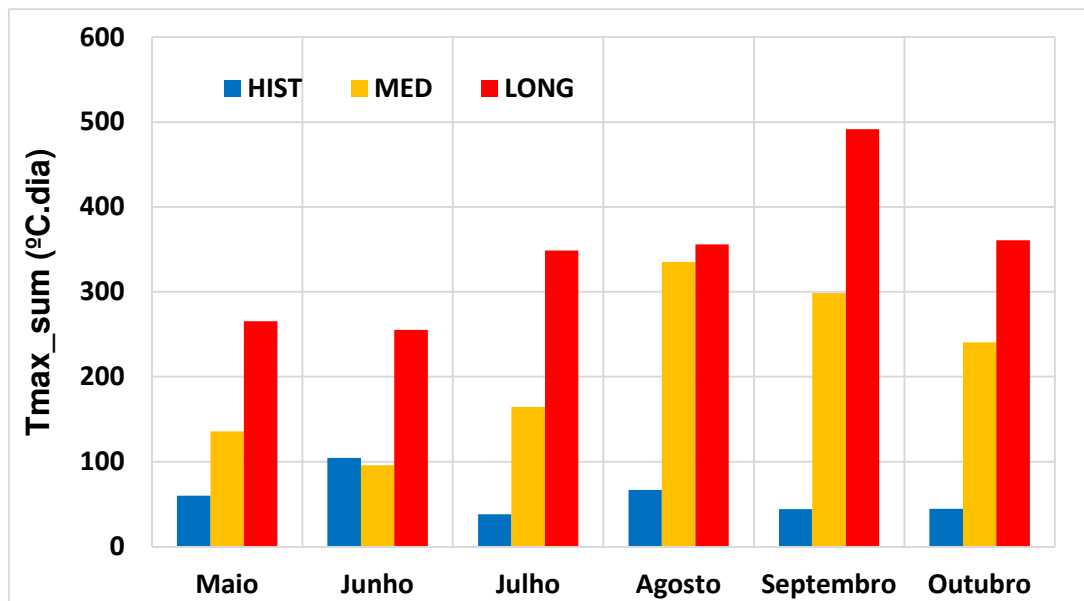


**Figura 37** – Temperatura máxima média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



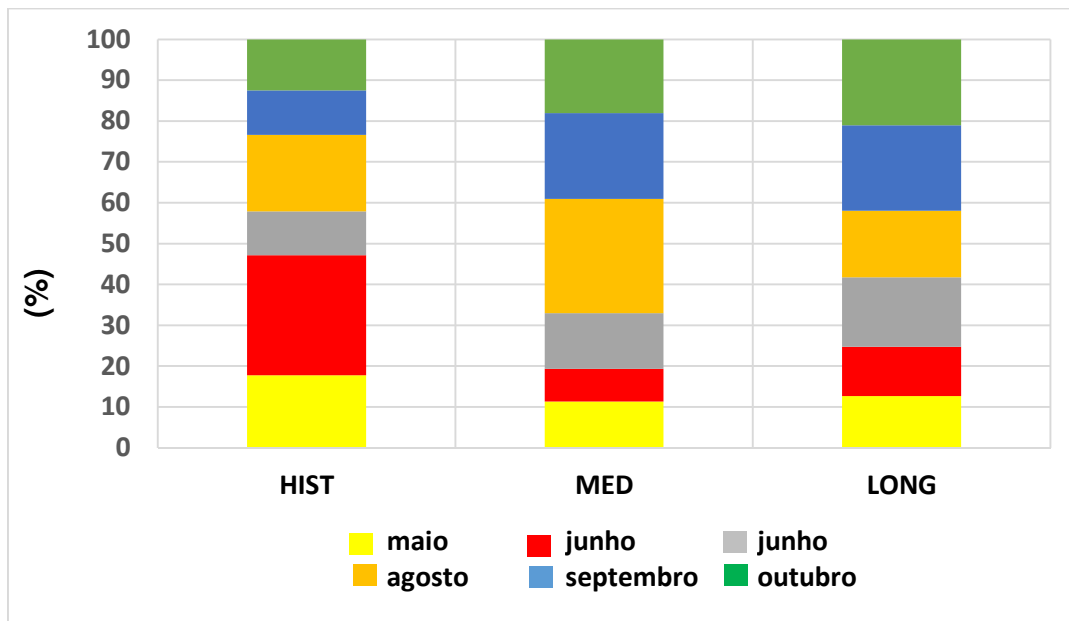
**Figura 38** – Temperatura máxima diária máxima mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.



**Figura 39** – Tmax\_sum média mensal das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

A Figura 40 mostra a contribuição relativa de cada mês para Tmax\_sum para HIST, MED e LONG.



**Figura 40** – Contribuição relativa (%) mensal para Tmax\_sum das ondas de calor para os climas HIST, MED e LONG.

#### 4.3.2.1.3. Tipos de ondas de calor de acordo com temperatura máxima média

Pretende-se nesta secção mostrar as propriedades das ondas de calor de acordo com os seguintes critérios:

- Ondas de calor com Tmax med < 30°C
- Ondas de calor com 30°C ≤ Tmax med < 35°C
- Ondas de calor com 35°C ≤ Tmax med < 40°C

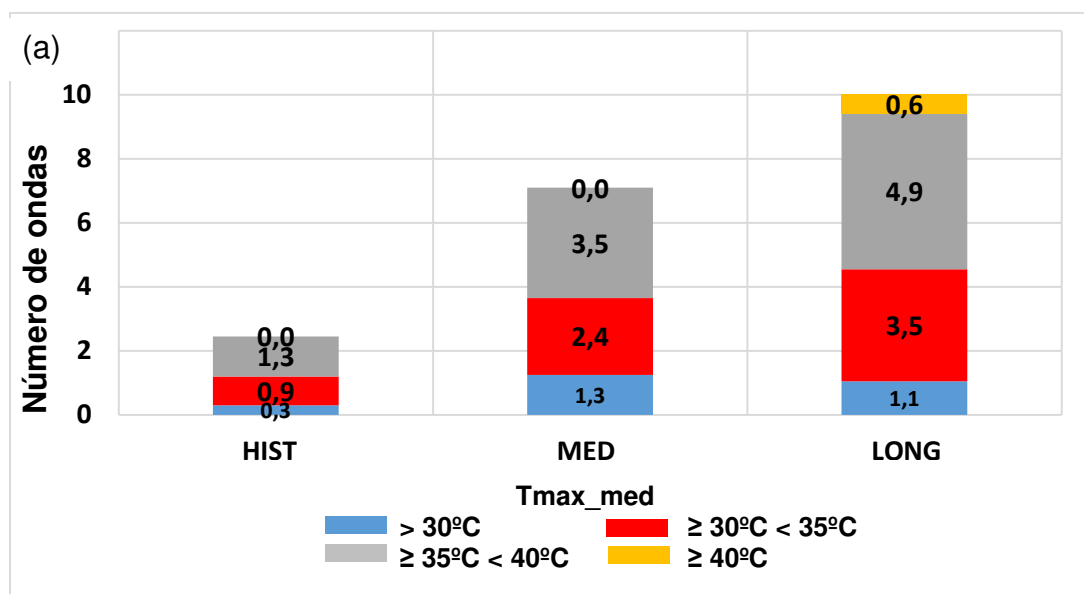


## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

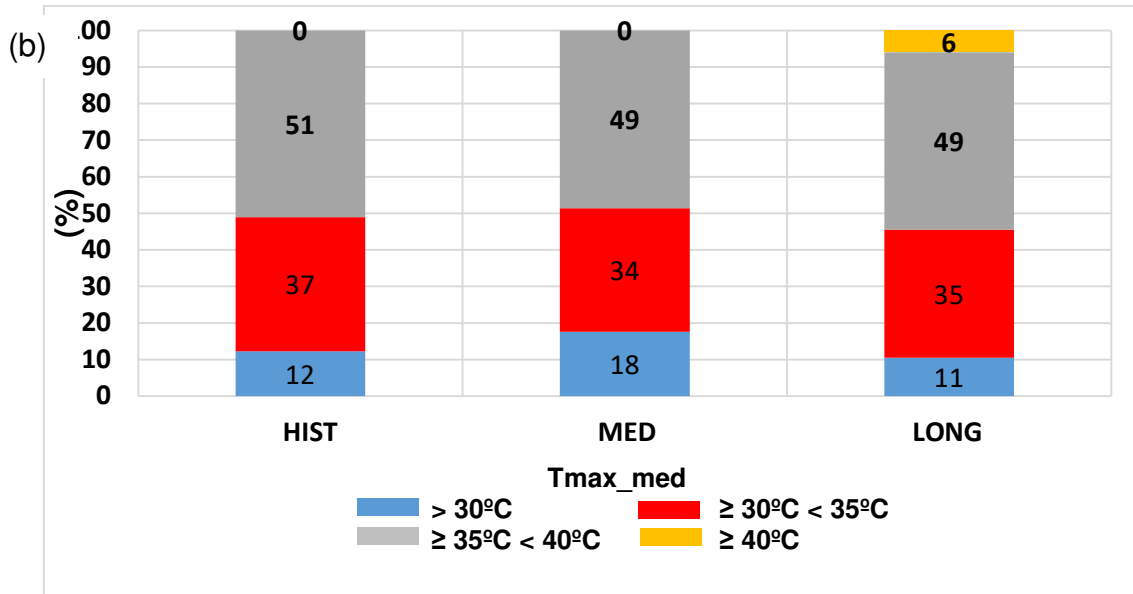
- Ondas de calor com Tmax med  $\geq 40$  °C

e verificar a contribuição relativa de cada tipo de onda de calor e a sua alteração nos climas futuros (MED e LONG) relativamente ao clima de referência (HIST).

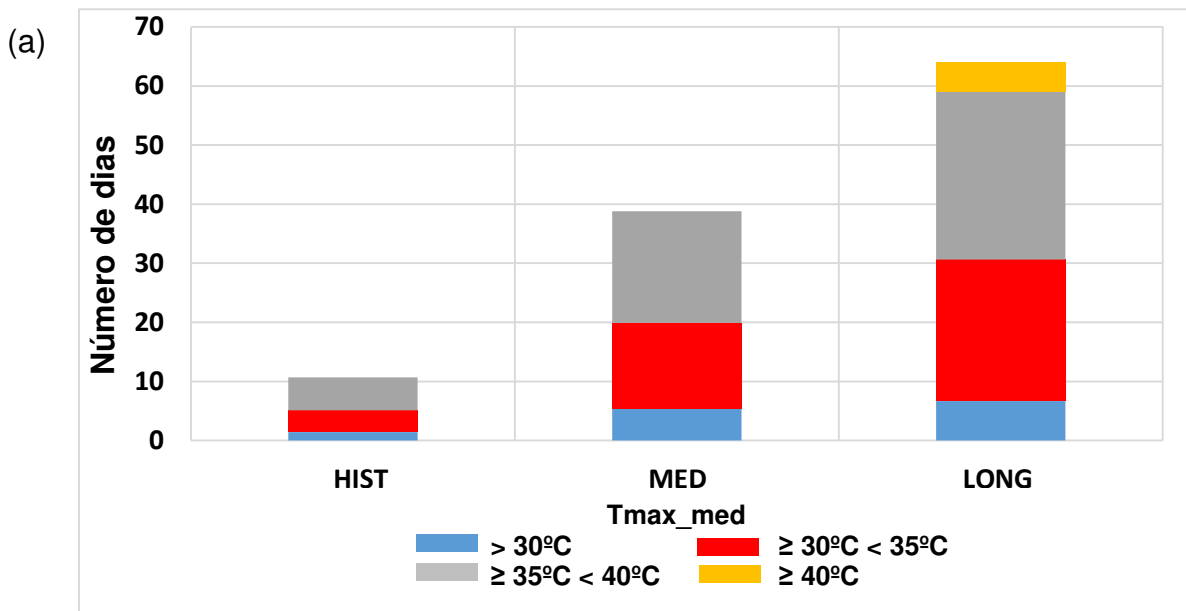
A Figura de 41 mostra (a) Número de ondas de calor médio anual para cada tipo de onda de calor e (b) a sua contribuição relativa (%) para o Número de ondas de calor total, para os três climas, HIST, MED e LONG. A Figura 42 mostra o mesmo que a Figura 41 mas para o número de dias de onda de calor. O número de ondas de calor e o número de dias de ondas de calor de cada tipo aumentam para MED e LONG relativamente a HIST mas a contribuição relativa mantém-se praticamente inalterada com exceção do tipo de onda de calor mais intenso que passa a contribuir com 5-6% para o total em LONG.



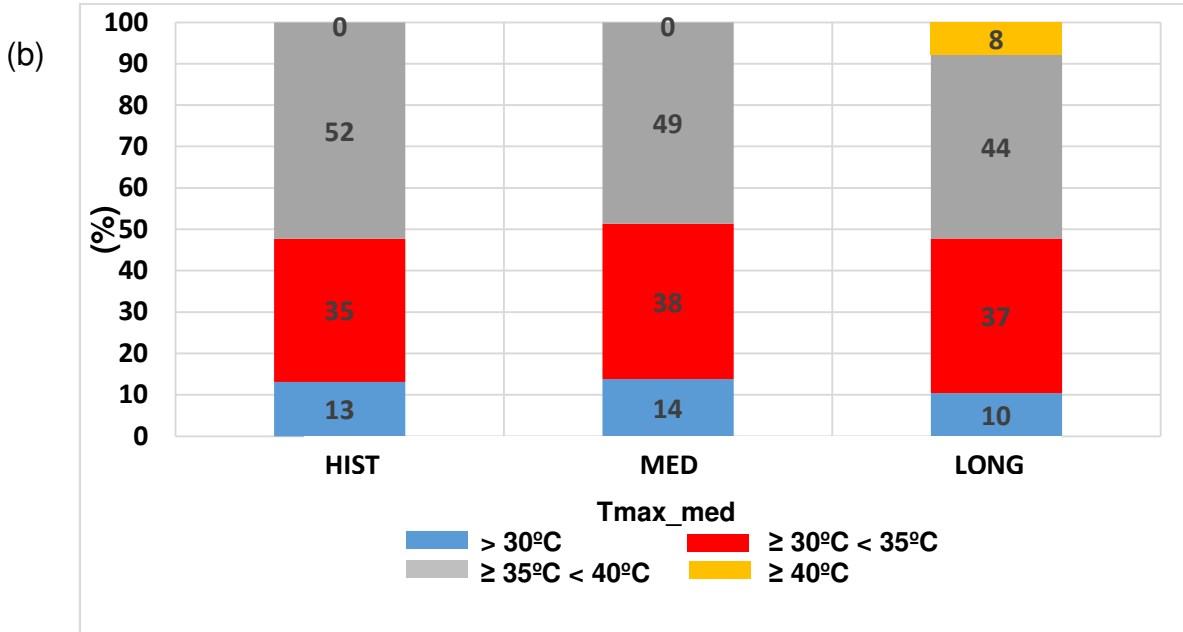
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



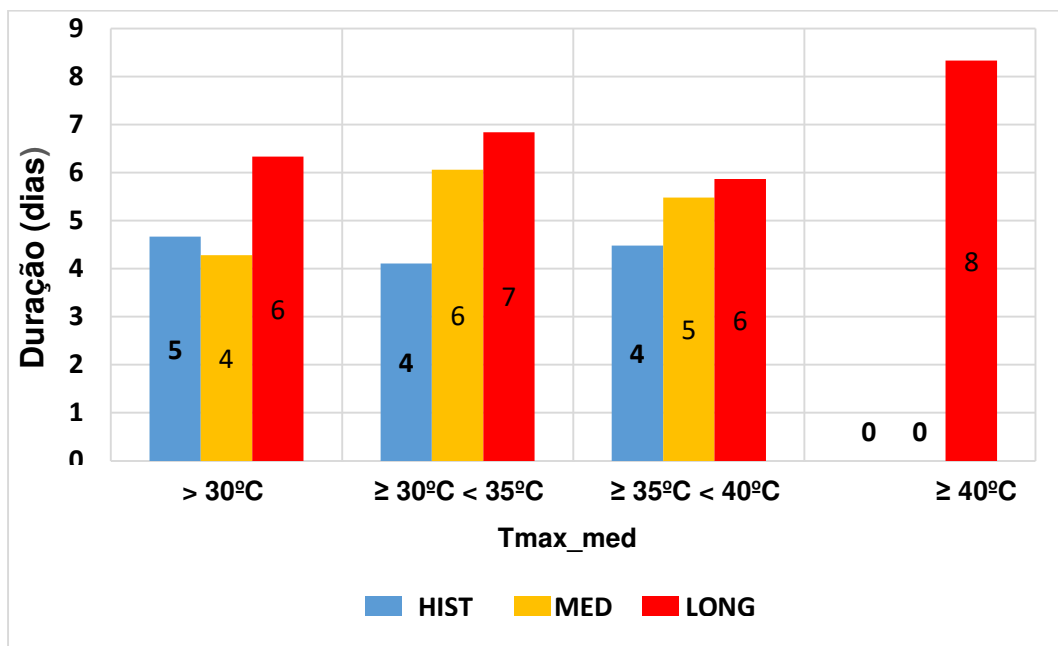
**Figura 41** – (a) Número de ondas de calor médio anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para o total de número de ondas de calor para cada clima HIST, MED e LONG.



**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

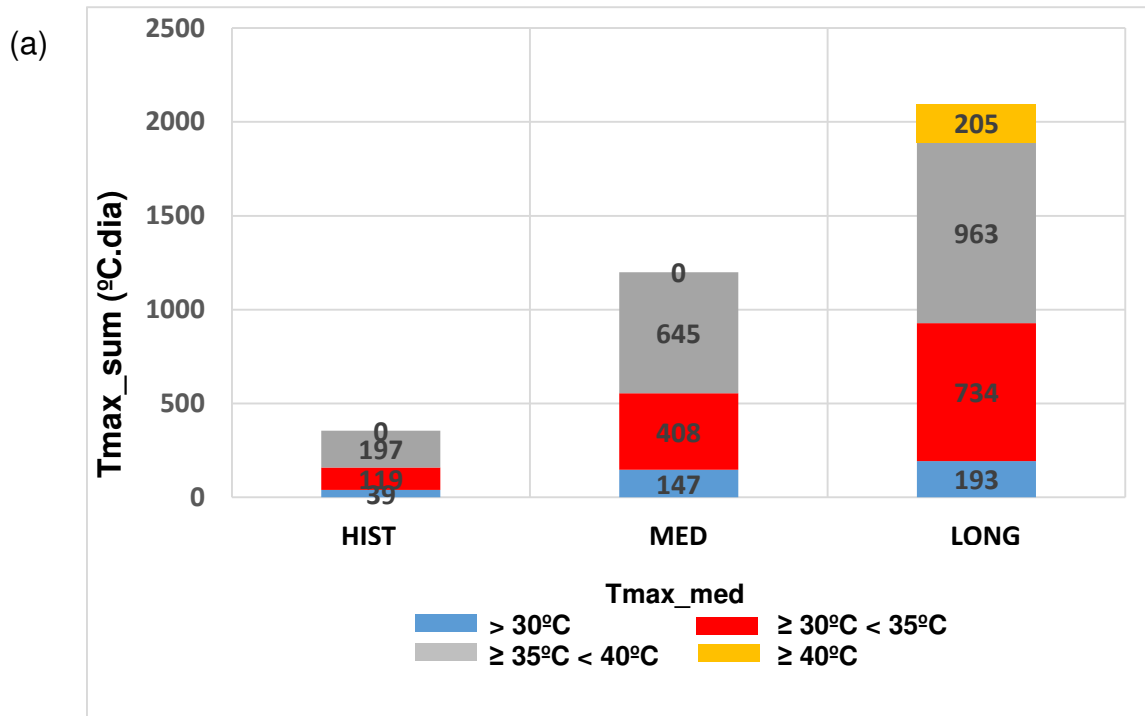


**Figura 42** – (a) Número de dias de ondas de calor médio anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para o total de número de dias de ondas de calor para cada clima HIST, MED e LONG.

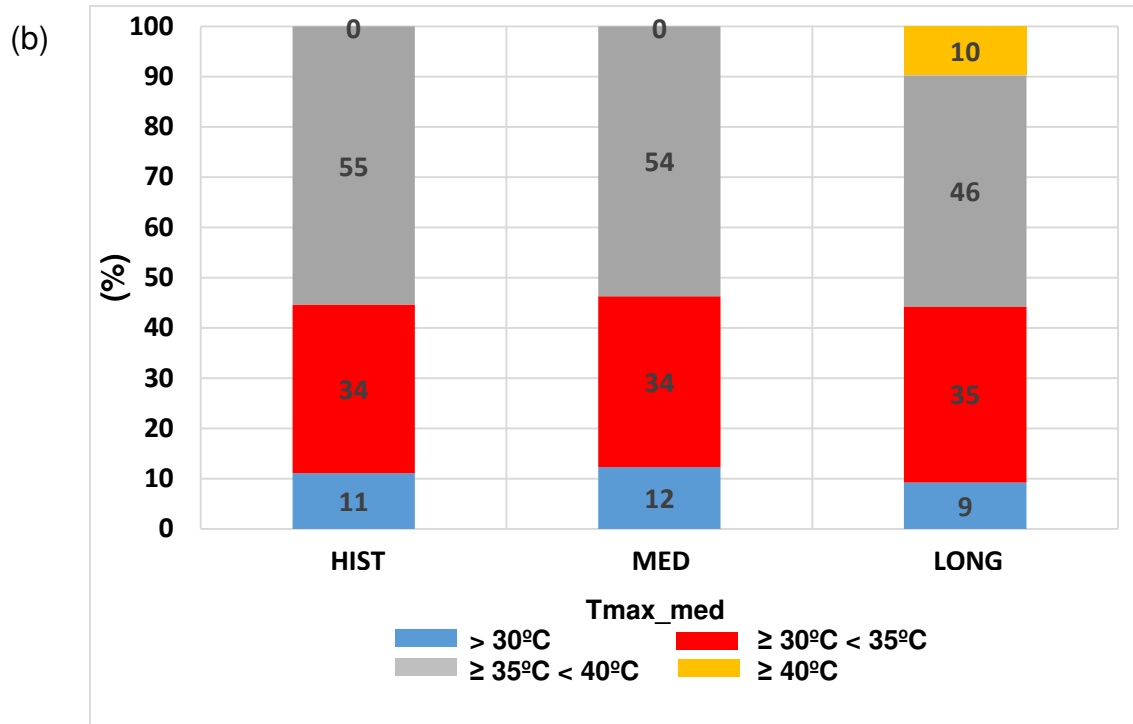


**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

**Figura 43** – Duração média das ondas de calor para cada tipo de onda de calor para HIST, MED e LONG.



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 44** – (a) Tmax\_sum média anual por tipo de onda de calor e (b) a contribuição relativa (%) de cada tipo de onda de calor para Tmax\_sum média anual para cada clima HIST, MED e LONG.

A Figura 43 mostra que a duração média dos três primeiros tipos de onda de calor é semelhante nos três climas mas que as ondas de calor mais intensas ocorrem somente em LONG com uma duração média de 8 dias.

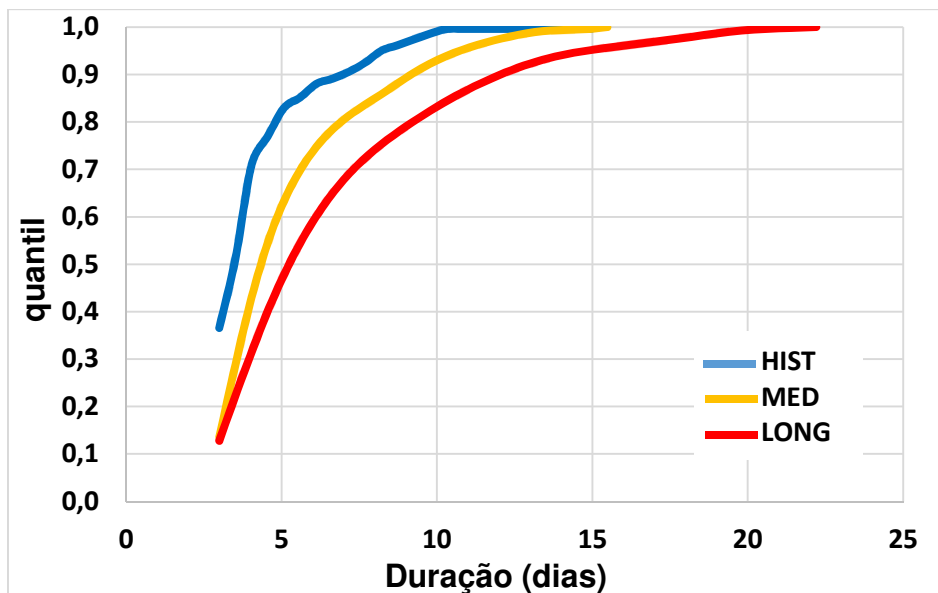
A Figura 44 indica, à semelhança das Figuras 41 e 42, que as ondas de calor mais intensas passam a contribuir (10%) para o total anual médio de Tmax\_sum de todas as ondas de calor em LONG.

A principal conclusão nesta secção é que de ondas de calor muito intensas (ondas de calor com temperatura máxima média  $\geq 40$  °C) não ocorrem em HIST e MED ao contrário de LONG e que contribuem em 8% e 10% para número de dias de onda de calor e Tmax\_sum médio anual.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

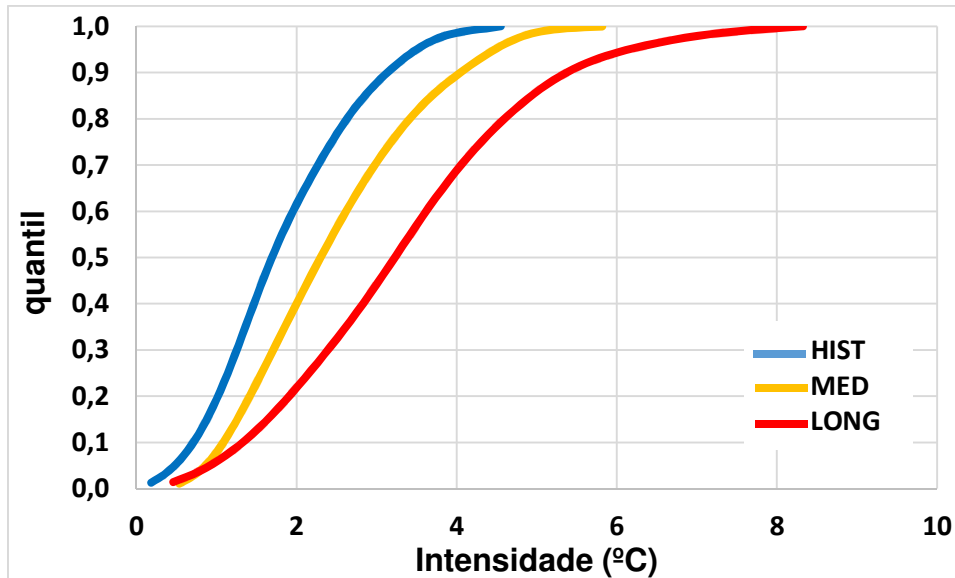
### 4.3.2.2. Funções de distribuição cumulativa

Nesta secção são mostradas as funções de distribuição cumulativa de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e propriedades das ondas de calor (Figuras 45 a 51). Pretende-se aqui mostrar as alterações climáticas das ondas de calor e das suas propriedades ao longo da distribuição respetiva e não somente dos valores médios como é feito anteriormente.

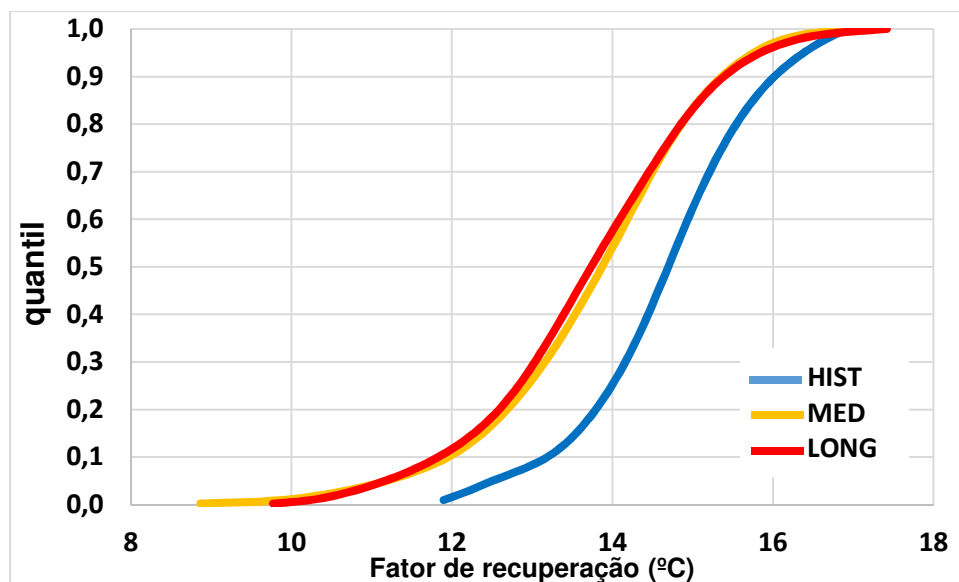


**Figura 45** – Funções de distribuição acumulada da duração das ondas de calor.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

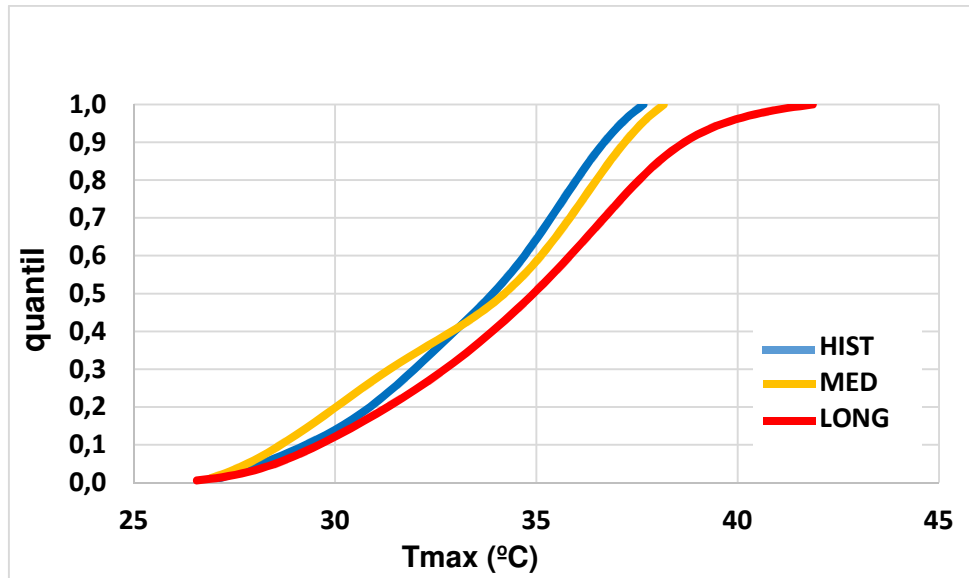


**Figura 46** – Funções de distribuição cumulativa da intensidade das ondas de calor.

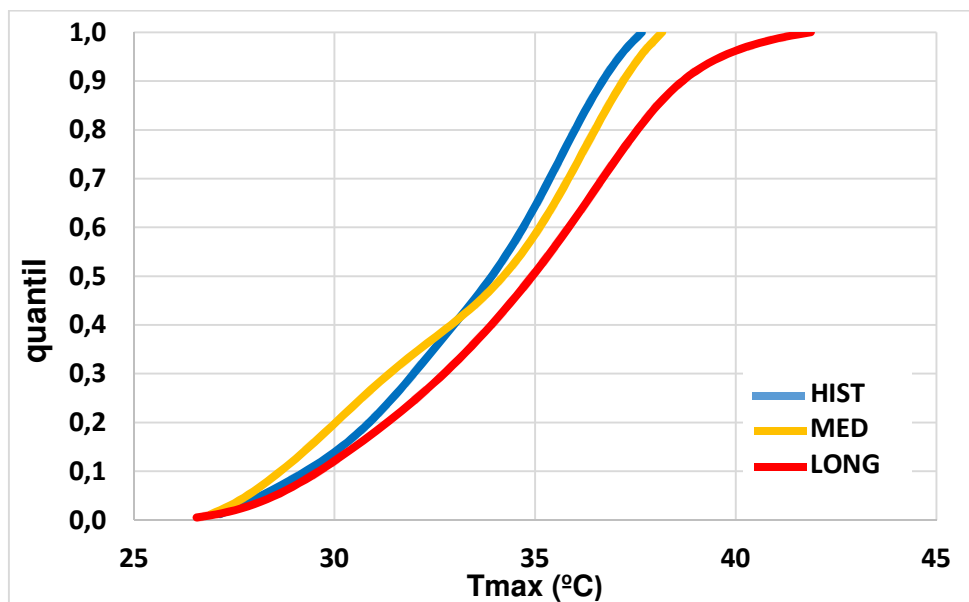


**Figura 47** – Funções de distribuição cumulativa do fator de recuperação das ondas de calor.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



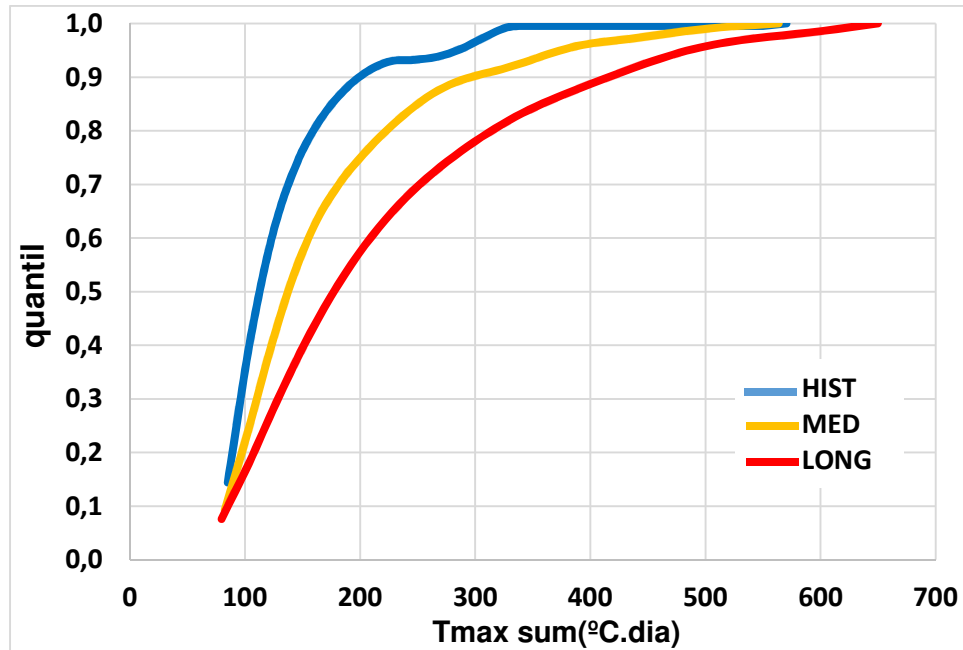
**Figura 48** – Funções de distribuição cumulativa da temperatura máxima, média das ondas de calor.



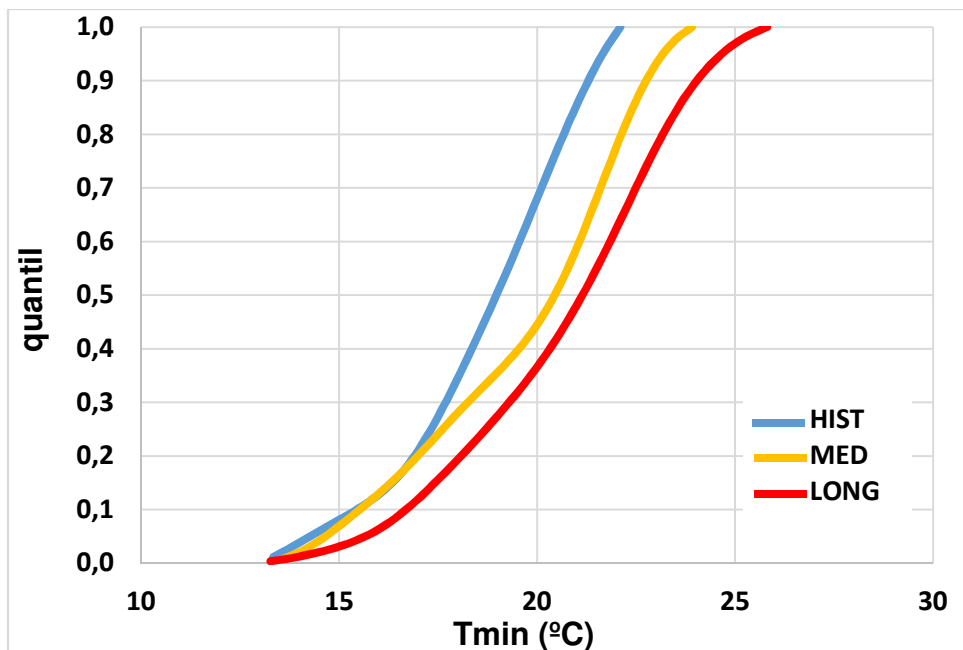
**Figura 49** – Funções de distribuição cumulativa da temperatura máxima, máxima das ondas de calor.



**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura 50** – Funções de distribuição cumulativa da Tmax\_sum das ondas de calor.

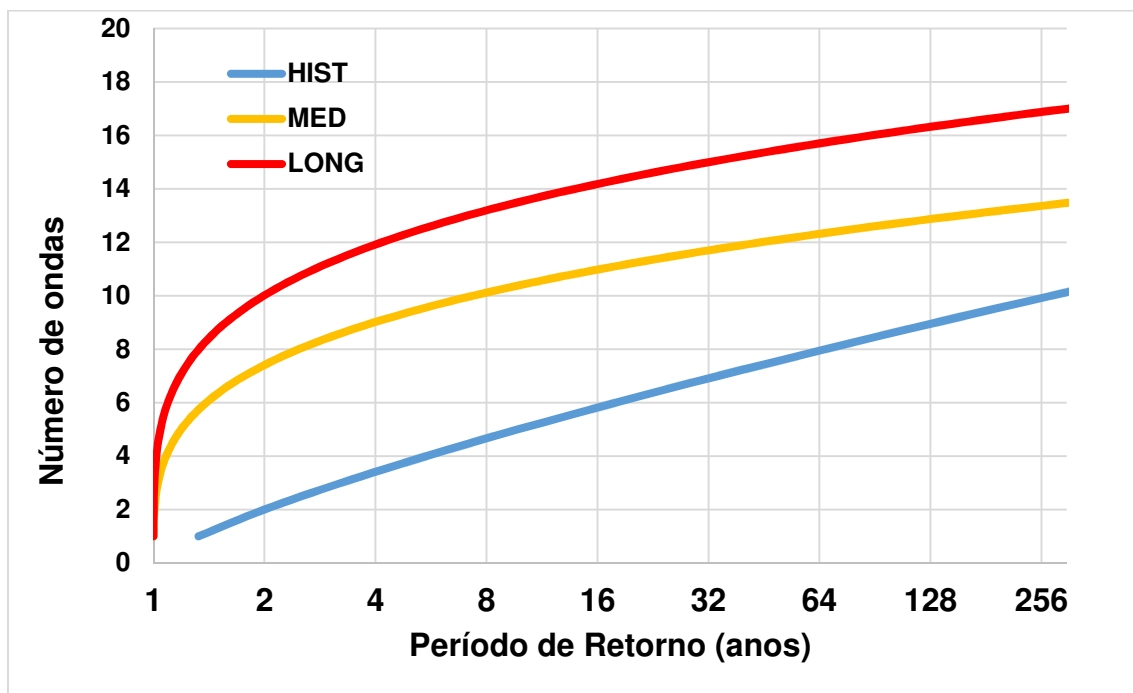


**Figura 51** – Funções de distribuição cumulativa da temperatura mínima, média das ondas de calor.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

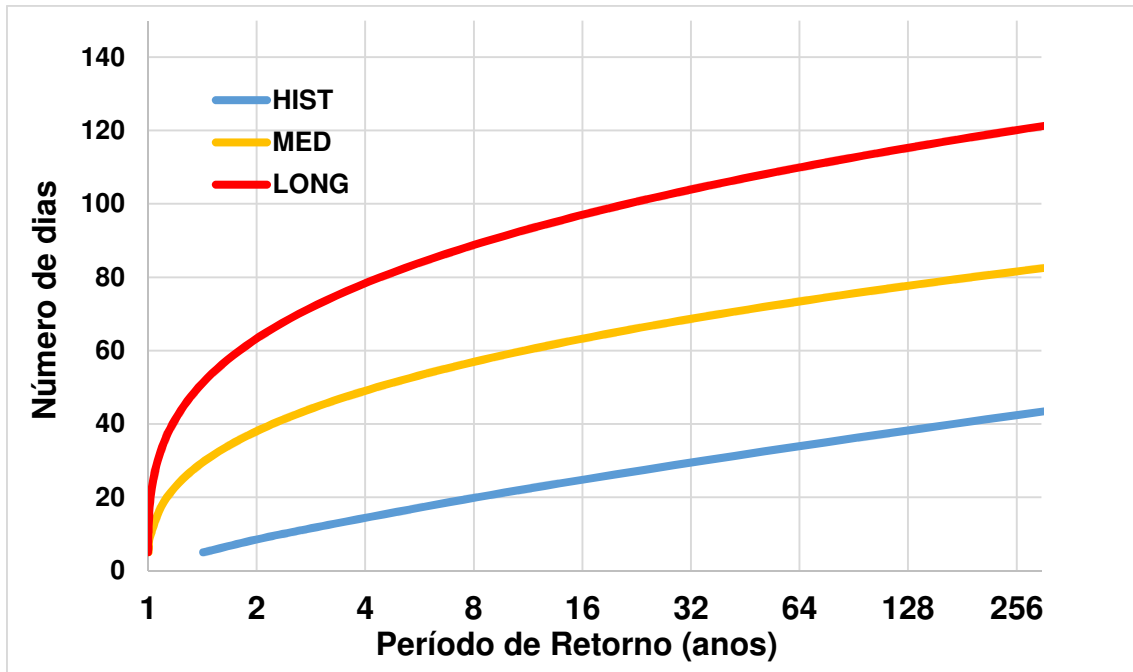
### 4.3.2.3. Períodos de retorno

Nesta secção são mostrados, nas Figuras 52 a 56, os períodos de retorno estimados para número de onda de calor, número de dias de onda de calor e propriedades das ondas de calor. Note-se que estes períodos de retorno são estimados sem considerar alteração climática. Por exemplo, um período de retorno de 100 anos identificado numa das figuras seguintes pressupõe que não haverá alteração climática em 100 anos. Desta forma, os períodos de retorno estimados devem ser considerados com cautela.

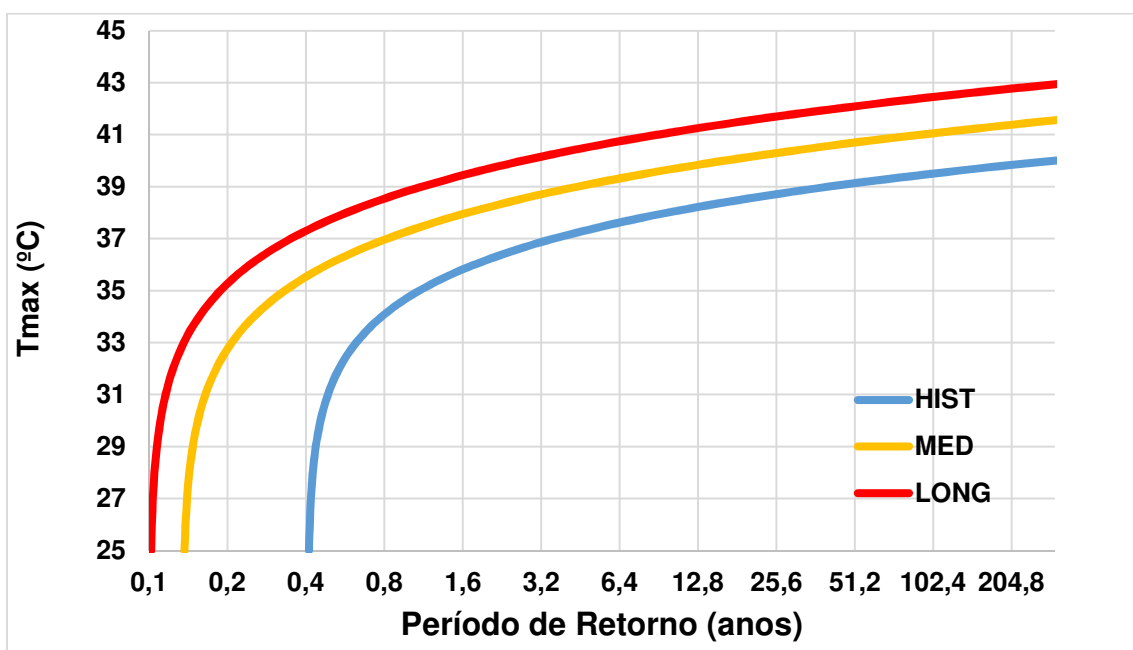


**Figura 52** – Períodos de retorno de número de onda de calor por ano para HIST, MED e LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

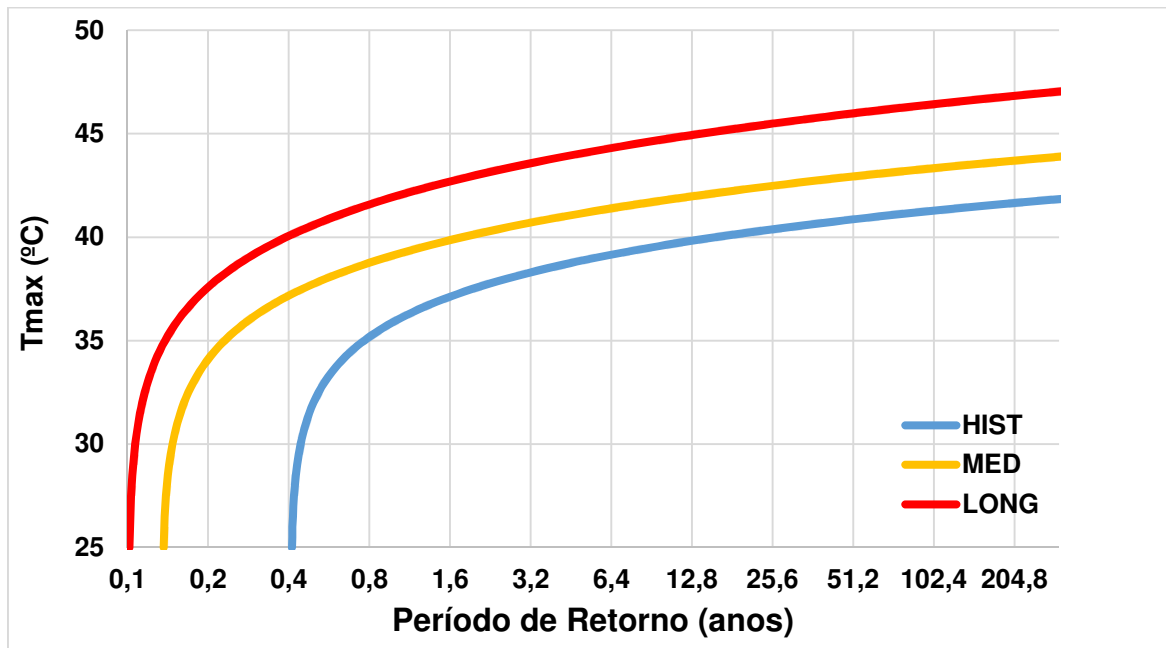


**Figura 53** – Períodos de retorno de número de dias de onda de calor por ano para HIST, MED e LONG.



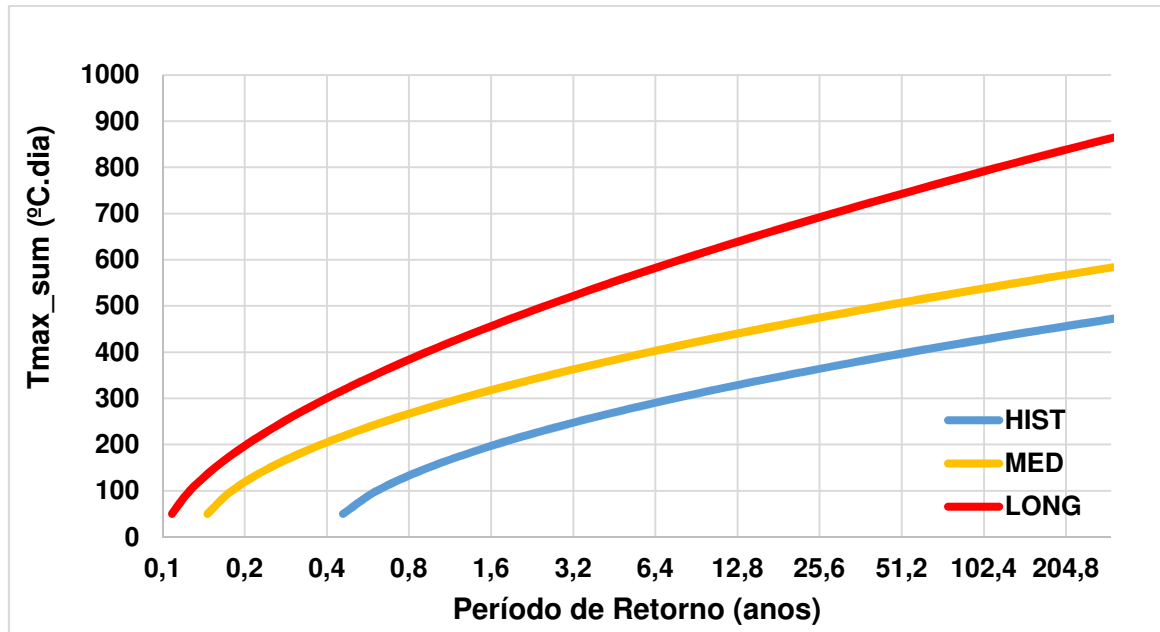
**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

**Figura 54** – Períodos de retorno de temperatura máxima média de uma onda de calor para HIST, MED e LONG.



**Figura 55** – Períodos de retorno de temperatura máxima diária máxima de uma onda de calor para HIST, MED e LONG.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

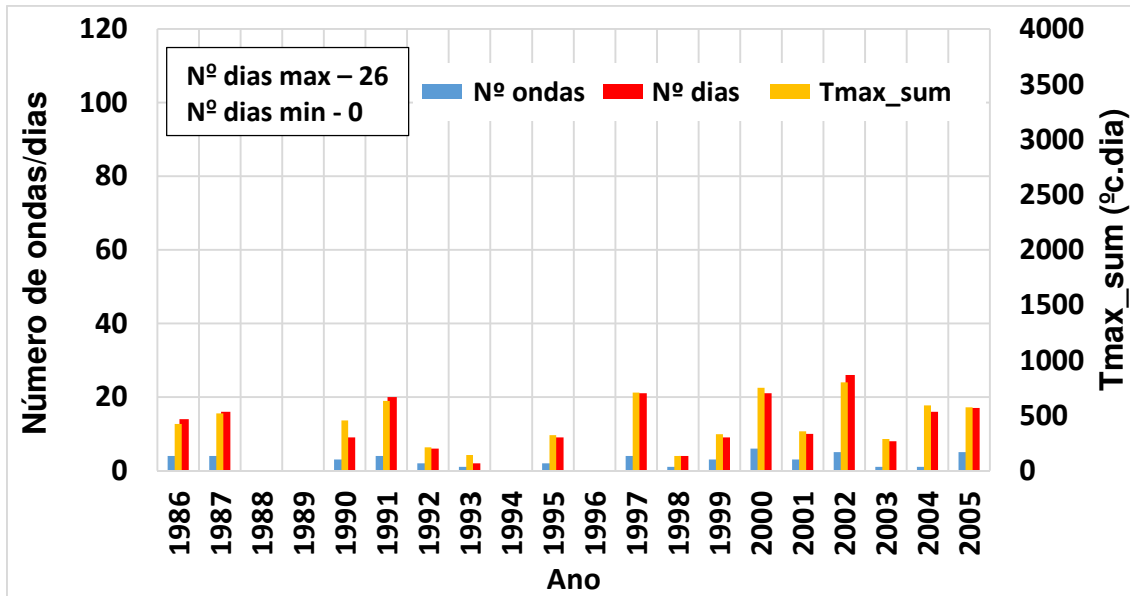


**Figura 56** – Períodos de retorno de Tmax\_sum de uma onda de calor para HIST, MED e LONG.

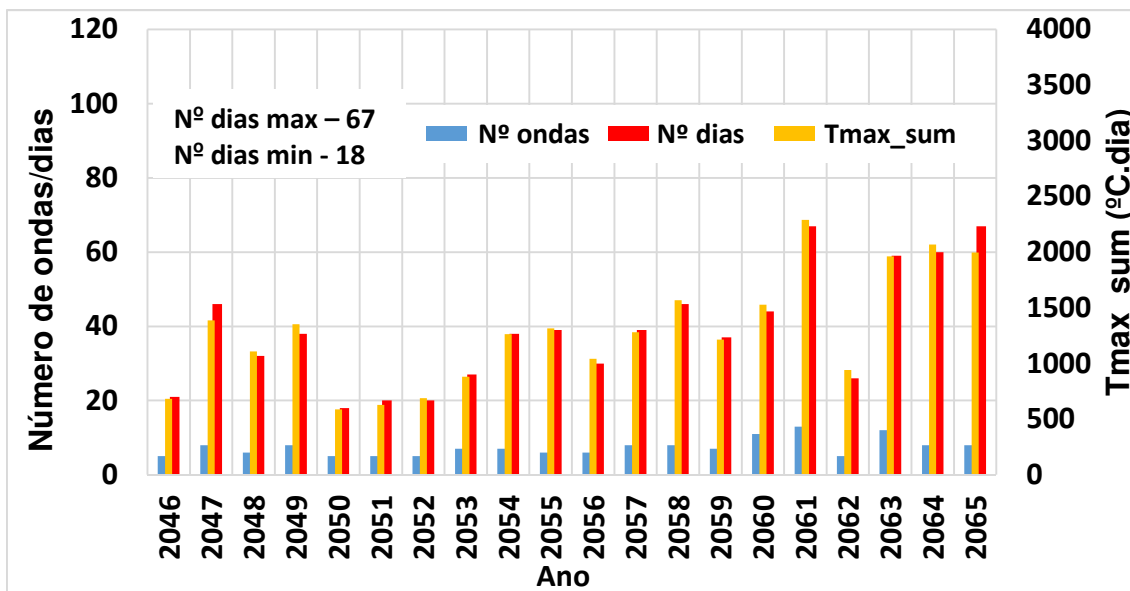
### 4.3.2.4. Variabilidade inter-anual

Neste relatório foram mostrados valores médios e as funções de distribuição acumulada de várias variáveis sem considerar a sua variabilidade temporal. Para ter uma ideia de como algumas das propriedades das ondas de calor variam de ano para ano, mostra-se nas Figuras 57, 58 e 59 séries temporais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax\_sum para os climas HIST, MED e LONG, respetivamente. Os anos mostrados no eixo horizontal são virtuais (.i.e. nada têm a ver com anos reais).

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

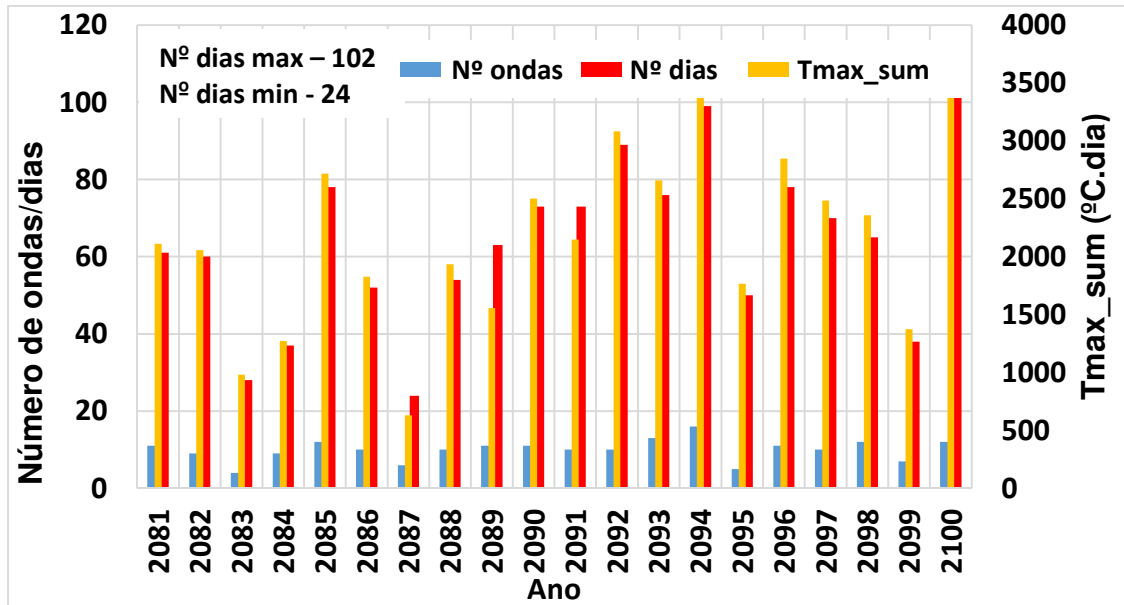


**Figura 57** – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax\_sum para HIST.



**Figura 58** – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax\_sum para MED.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura 59** – Séries temporais de valores anuais de número de onda de calor, número de dias de onda de calor e Tmax\_sum para LONG.

### 4.3.2.5. Comparação - Temperaturas em dias de onda de calor e em todos os dias de maio a outubro

Com objetivo de comparar condições térmicas das ondas de calor com aquelas que se observam em todos os dias, a Tabela 6 mostra valores médios de Tmax, Tmin e fator de recuperação para estes dois grupos de dados. Fator de recuperação das ondas de calor deve ser comparado com a amplitude térmica diária porque, de facto, representam a diferença média entre Tmax e Tmin. Pode observar-se que as ondas de calor representam, em média, aproximadamente 2-5°C superiores àqueles que se registam, em média em todos os dias de maio a outubro. Conclui-se ainda que, para os climas futuros, fator de recuperação diminui e amplitude térmica diária aumenta. Isto representa uma menor recuperação durante a noite face ao *stress* térmico experimentado durante o dia e que se agrava pelo facto das temperaturas serem superiores nos climas futuros relativamente a HIST.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Tabela 6** – Temperaturas máxima e mínima e fator de recuperação médios em dias de onda de calor em todos os dias de maio a outubro, para HIST, MED e LONG.

Comparação de temperaturas entre os dias de onda de calor e todos os dias de maio a outubro		HIST	MED	LONG
Ondas de calor	Fat. Rec (°C)	14,8	13,9	13,9
	Tmax (°C)	33,8	33,9	34,9
	Tmin (°C)	19,0	19,0	21,0
Todos os dias de maio a outubro	Ampl (°C)	10,7	11,1	11,5
	Tmax (°C)	26,2	28,4	30,5
	Tmin (°C)	15,5	17,3	19,0

### 4.3.2.6. Ondas de calor extremas

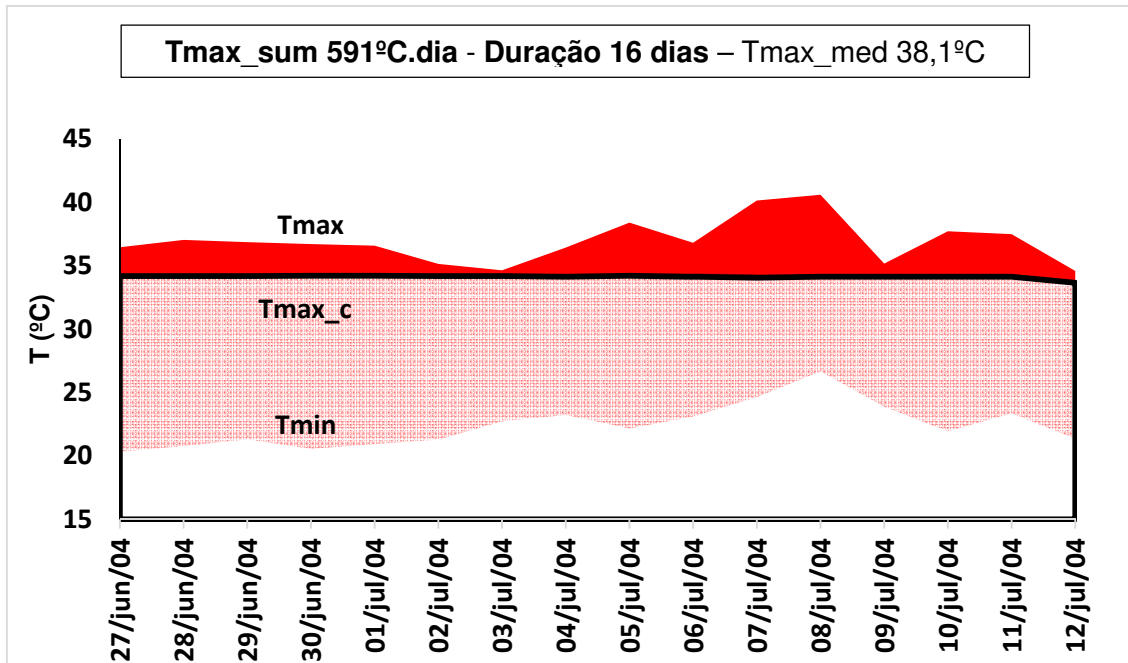
Para cada clima (HIST, MED e LONG) foram identificadas as ondas de calor extremas de acordo com os seguintes critérios:

- Onda de calor com maior temperatura máxima média.
- Onda de calor com maior Tmax\_sum.
- Onda de calor com maior duração.
- Onda de calor com maior temperatura máxima diária.

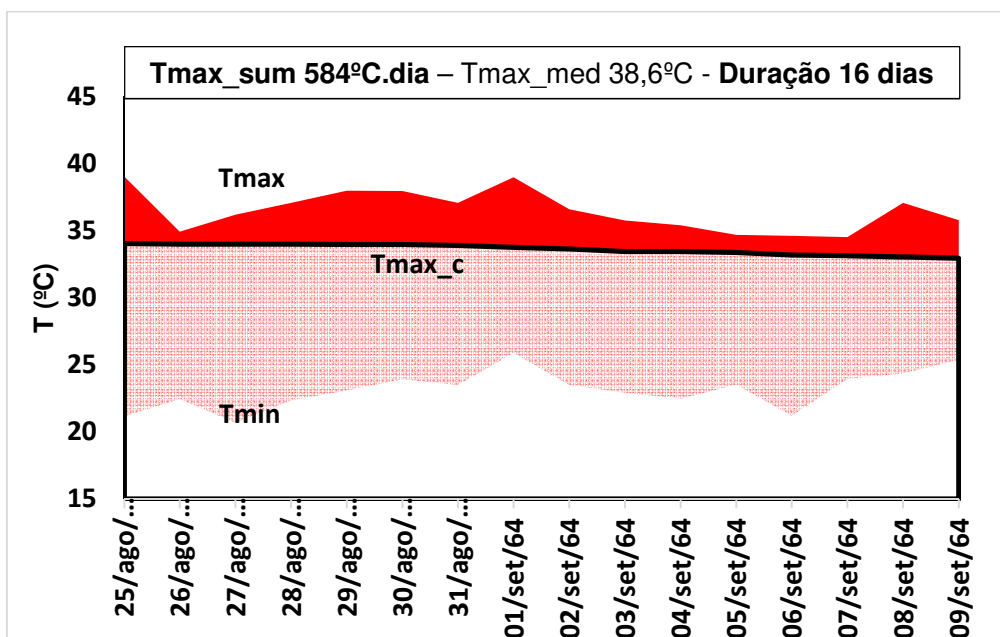
Estas ondas de calor extremas são mostradas nas figuras seguintes.



**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

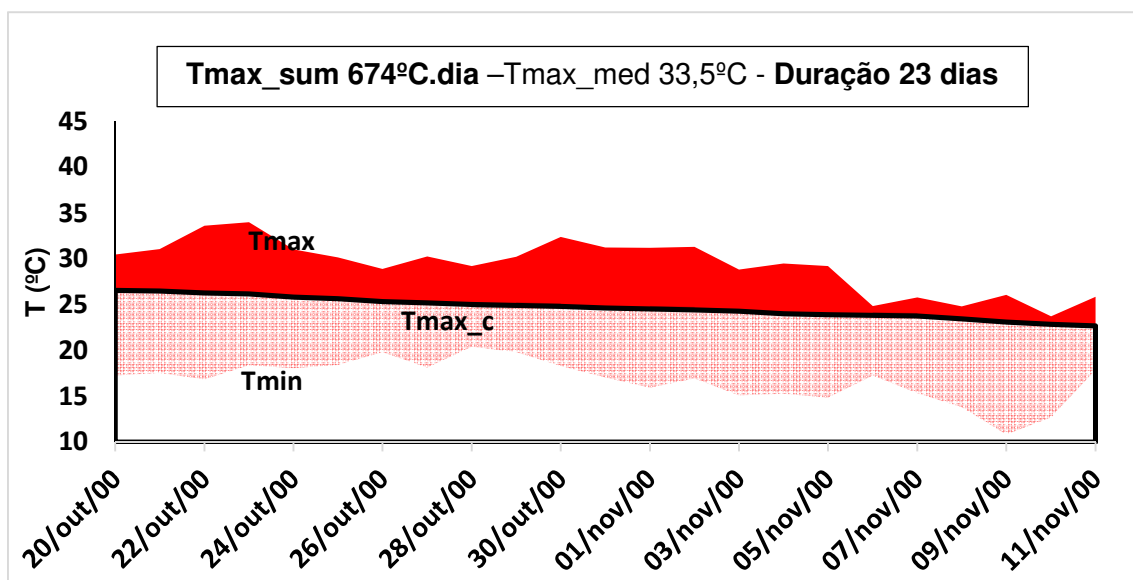


**Figura 60** – Onda de calor com Tmax\_sum e duração máximas em HIST. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.



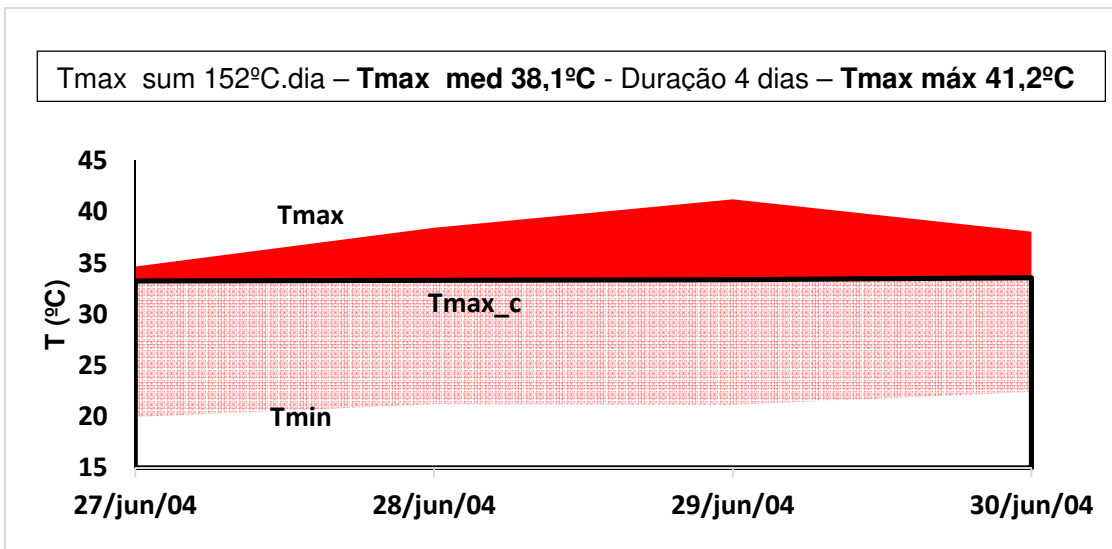
### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Figura 61** – Onda de calor com Tmax\_sum e duração máximas em MED. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.

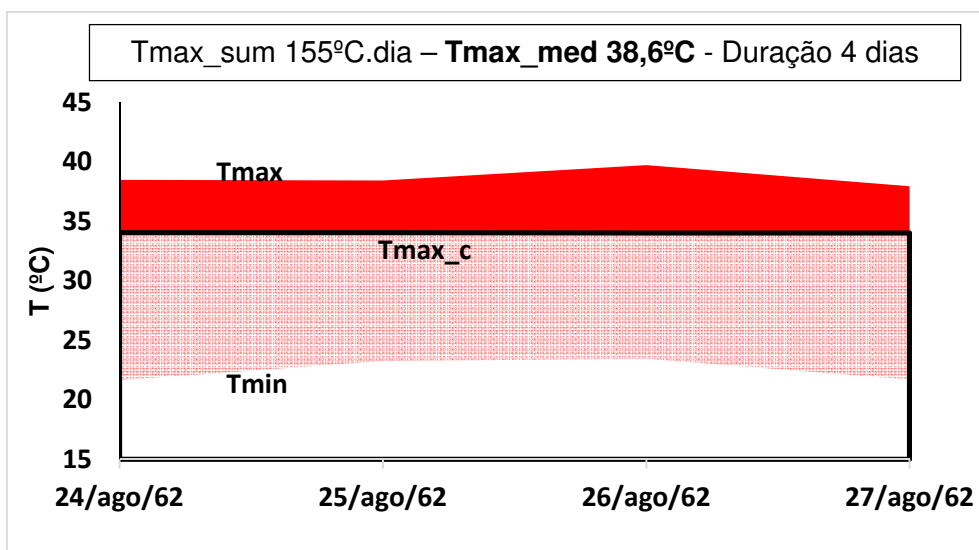


**Figura 62** – Onda de calor com Tmax\_sum e duração máximas em LONG. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

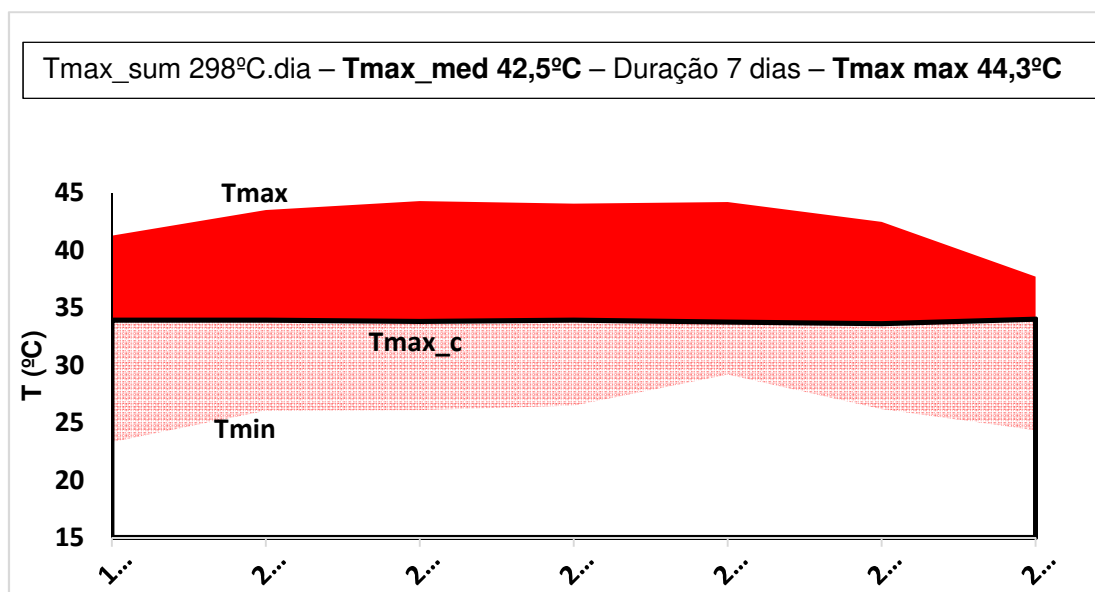


**Figura 63** – Onda de calor com temperatura máxima média máxima e temperatura máxima diária máxima em HIST. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração, temperatura máxima média e temperatura máxima máxima desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Figura 64** – Onda de calor com temperatura máxima média máxima em MED. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração e temperatura máxima média desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.



**Figura 65** – Onda de calor com temperatura máxima média e temperatura máxima diária em LONG. Mostra-se Tmax, Tmin e o valor crítico, Tmax\_c, que define uma onda de calor. No topo da figura são mostrados os valores de Tmax\_sum, duração, temperatura máxima média e temperatura máxima máxima desta onda de calor. Valores a negrito representam as variáveis consideradas na seleção desta onda de calor.

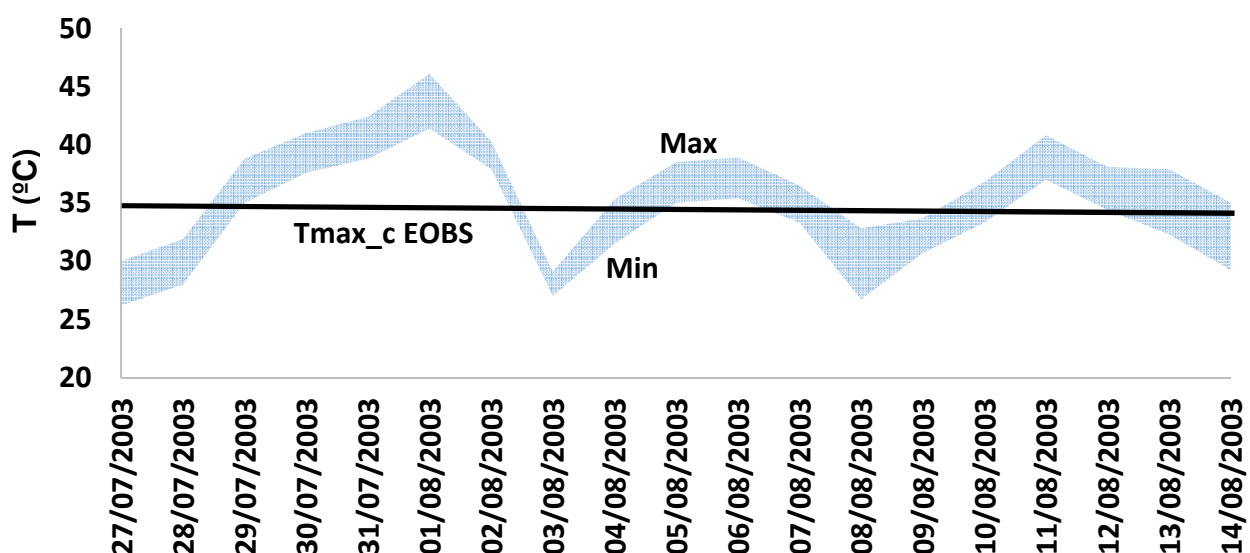
### A onda de calor de 2003 no município de Lisboa – Caso de estudo

A onda de calor de 2003 foi estudada utilizando dados de temperatura máxima e mínima registados em várias estações meteorológicas do IPMA localizadas no município de Lisboa (ver 2.3). Na aplicação do critério objetivo de identificação das ondas de calor foi utilizado o

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

valor de  $T_{max\_c}$  das EOBS. De acordo com este critério é identificada a onda de calor com início no dia 29 de Julho e fim no dia 2 de Agosto. Contudo, a análise seguinte considera também os dias 27 e 28 de Julho e de 3 a 14 de Agosto por terem registado temperaturas elevadas.

A Figura 66 mostra a temperatura máxima diária durante a onda de calor de 2003. O envelope mostra, para cada instante de tempo, o valor máximo e o valor mínimo de  $T_{max}$  registados de entre as 9 estações meteorológicas do IPMA no município de Lisboa (ver Tabela 2).



**Figura 66** – Temperatura máxima diária durante a onda de calor de 2003 no município de Lisboa.  $T_{max\_c}$  representa o valor de temperatura máxima acima do qual é identificada uma onda de calor se esse valor persistir durante, pelo menos, 3 dias. O ‘envelope’ mostra os valores máximos e mínimos registados, em cada instante, de entre as 9 estações meteorológicas do IPMA no município de Lisboa.

A Tabela 7 mostra estatísticas para algumas variáveis. O valor máximo de  $T_{max\_sum}$  registado foi de  $695^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$  na estação da Estefânia. Este valor não pode ser diretamente

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

comparado com aqueles derivados atrás para dados simulados HIST, MED e LONG, por consideram muitos mais dias do que aqueles identificados pelo critério de identificação de onda de calor. No entanto, os valores são elevados e mostram o *stress* térmico a que a população do município de Lisboa foi sujeita.

**Tabela 7** - Valores de temperatura e grandezas derivadas considerando 19 dias (de 27-07-2003 a 14-08-2003) de onda de calor. Valores médios e máximos referem-se às 9 estações. Na coluna da direita é identificada a estação que registou o valor máximo.

Tmax_sum média (°C.dia)	673	
Tmax_sum máxima (°C.dia)	695	Estefânia
Tmax_med média (°C)	35,4	
Tmax máxima média (°C)	43,5	
Tmax máxima (°C)	46,1	Cacém 01-08-2003
Fator de recuperação médio (°C)	13,7	
Fator de recuperação máximo (°C)	16,1	Benfica

Para se poder fazer uma comparação direta entre a onda de calor extrema de 2003 e as ondas de calor extremas identificadas nos dados simulados HIST, MED e LONG, a Tabela 8 mostra valores da onda de calor de 2003 considerando somente os 5 dias. Os valores de Tmax\_sum são muito inferiores embora os valores extremos de Temperatura máxima diária sejam elevados.

**Tabela 8** - Valores de temperatura e grandezas derivadas considerando somente os 5 dias (29-07-2003 a 02-08-2003) da onda de calor de acordo com o critério de identificação de onda de calor. Valores médios e máximos referem-se às 9 estações. Na coluna da direita é identificada a estação que registou o valor máximo.

Tmax_sum média (°C.dia)	200	
Tmax_sum máxima (°C.dia)	207	Estefânia
Tmax_med média (°C)	39,9	
Tmax máxima média (°C)	43,5	
Tmax máxima(°C)	46,1	Cacém 01-08-2003
Fator de recuperação médio (°C)	17,2	
Fator de recuperação máximo (°C)	20,6	Benfica

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

Deve ser realçado que, nesta análise, os valores de temperatura registados por estações meteorológicas incluem o efeito da ilha de calor urbano, enquanto aqueles obtidos nas simulações aqui consideradas não refletem a magnitude real da mesma. A caracterização e quantificação da ilha de calor urbano será realizada com recurso a modelos atmosféricos apropriados nas Fases seguintes deste projeto.

### 5. Conclusões

Resumem-se, de seguida, as principais conclusões deste relatório.

Climas:

HIST – 1986-2005; Clima atual de referência

MED – 2046-2065; Clima futuro a médio prazo; Cenário RCP8.5

LONG – 2081-2100; Clima futuro a longo prazo; Cenário RCP8.5

#### 5.1 Temperatura

- A temperatura média anual climatológica de Lisboa para o período 1999-2018 aumentou 1,9°C relativamente a 1855-1900 e 0,4°C relativamente a 1986-2005.
- A temperatura máxima diária média anual terá um aumento relativo a HIST de 1,6 °C no clima MED e 3,6°C no clima LONG.
- A temperatura mínima diária os valores são 1,6°C e 3,1°C, respetivamente, portanto, ligeiramente inferiores aos aumentos da temperatura máxima.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

- Julho regista os maiores aumentos com 2,6°C (Tmax) e 2,1°C (Tmin) para MED e 5,3°C (Tmax) e 4,2°C (Tmin) para LONG, respetivamente.
- A amplitude térmica diária média anual terá um aumento de 0,3°C e 0,5°C para MED e LONG, respetivamente
- Julho, Agosto, Setembro e Outubro registam os maiores aumentos de temperatura máxima, temperatura mínima diária e amplitude térmica diária.
- Os meses de Dezembro a Março registam os menores aumentos de temperatura máxima, temperatura mínima diária e amplitude térmica diária em ambos os climas futuros.

### 5.2 Ondas de Calor

Considera-se que as propriedades das ondas de calor que melhor quantificam a energia térmica associada às ondas de calor, relevantes para ao *stress térmico* são o número de dias de onda de calor e Tmax sum porque quantificam valores acumulados e não valores médios.

- O número de dias de onda de calor médio anual irá aumentar aproximadamente 4 e 6 vezes relativamente ao valor atual para os climas MED e LONG, respetivamente. Número de dias de onda de calor médio anual HIST = 10,7 dias; MED = 38,3 dias; LONG = 63,5 dias.
- O número de ondas de calor, a intensidade, duração, temperatura máxima média, temperatura máxima absoluta e a soma da temperatura máxima média das ondas de calor irão aumentar em MED e LONG relativamente a HIST.
- A média anual da soma da temperatura máxima das ondas de calor irá aumentar de 358°C.dia para 1270°C.dia em MED e 2078°C.dia em LONG.



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

- Os maiores aumentos de número de dias de onda de calor e Tmax\_sum ocorrem para os meses de Julho a Outubro, aumentando estes meses a sua contribuição relativa para as ondas de calor do período maio a outubro.
- Os meses extremos do período considerado (Maio a Outubro) e, portanto, os mais frios, em média, nomeadamente Maio e Outubro terão, em média e em MED e LONG, número de dias de onda de calor e Tmax\_sum muito superiores aqueles que se registam nos meses mais quentes (Julho e Agosto) atualmente (i.e. HIST).
- Ondas de calor extremas com temperatura máxima diária média superior ou igual a 40°C são somente observadas em LONG. Estas ondas representam 8% de número de dias de onda de calor e 10% de Tmax\_sum em LONG.

## 6. Referências

Amengual, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S., & Ramis, C. (2012). A Statistical Adjustment of Regional Climate Model Outputs to Local Scales: Application to Platja de Palma, Spain. *Journal of Climate*, 25, 939-957. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-10-05024.1>.

Bartolomeu, S., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. (2016). Recent trends of extreme precipitation indices in the Iberian Peninsula using observations and WRF model results. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.06.005>.

Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., (2000). CORINE Land Cover Technical Guide e Addendum 2000. Technical Report 40. European Environmental Agency, Copenhagen. <http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

Brands, S., Herrera, S., San-Martin, D., Gutierrez, J.M., 2011. Validation of the ENSEMBLES global climate models over southern Europe using probability density functions, from a downscaling perspective. *Clim. Res.* 48 (2–3), 145–161.

Brands, S., Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J.M., 2013. How well do CMIP5 Earth System Models simulate present climate conditions in Europe and Africa? *Clim. Dyn.* 41 (3–4), 803–817.

Carvalho, M. J., Melo-Gonçalves, P., Teixeira, J. C., & Rocha, A. (2016). Regionalization of Europe based on a K-Means Cluster Analysis of the climate change of temperatures and precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.05.001>.

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 137, 553e597. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>.

EMAAC (2017). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas*. Câmara Municipal de Lisboa. 237 páginas.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, 1–33.

Fonseca, D., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. (2016). Recent trends of extreme temperature indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.12.005>.

GHCM-M, 2018. Global Historical Climatology Network-Monthly (GHCM-M) Mean Temperature (Version 4) - Climate Algorithm Theoretical Basis Document, NOAA Climate Data Record Program CDRP-ATBD-0859 Rev. 1 (2018).

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572-597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>.

Giorgi F, Jones C, Asrar G. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull.* 58: 175–183.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Tank, A. M. G. K., Klok, E. J., Jones, P. D., & New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>.

IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation; A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2012; p. 582.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis,

Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. and Waterfield T. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Marta-Almeida, M., Teixeira, J. C., Carvalho, M. J., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. M. (2016). High resolution WRF climatic simulations for the Iberian Peninsula: Model validation. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.010>.

McGregor GR; Bessemoulin P, Ebi KL, Menne B (2015) Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development; World Meteorological Organization and World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2015.

Pereira, S. C., Marta-Almeida, M., Carvalho, A. C., & Rocha, A. (2017). Heat wave and cold spell changes in Iberia for a future climate scenario. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5192-5205. <https://doi.org/10.1002/joc.5158>.

Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., Baldasano, J.M. (2004). Using NOAA AVHRR and SPOT VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *Int. J. Remote Sens.* 25, 129e143. <http://dx.doi.org/10.1080/0143116031000115201>.

Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., Vogt, J. V. (2014). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(22), 500-512. <https://doi.org/10.1002/2014JD022098>.

Russo, S., Sillmann, J., & Sterl, A. (2017). Humid heat waves at different warming levels. *Scientific Reports*, 7, 7477. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07536-7>.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2473-2493. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G. Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Notes, NCAR/TN-475+STR.

Teixeira, J.C., Carvalho, A.C., Carvalho, M.J., Luna, T., Rocha, A.M., 2014. Sensitivity of the WRF model to the lower boundary in an extreme precipitation event-Madeira island case study. *Nat. Hazard Earth Sys* 14, 2009e2025. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-2009-2014>.

Viceto, C., Marta-Almeida, M., & Rocha, A. (2017). Future climate change of stability indices for the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4390-4408. <https://doi.org/10.1002/joc.5094>.

WMO (2015) Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events. TT-DEWCE WMO 4/14/2016. 61 pp.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

### **Siglas**

**Ampl** – Amplitude térmica diária. Tmax - Tmin

**BC** – Dados com correção de viés

**EOBS** – Base dados ‘observados’ em malha regular

**ERA** – Dados simulados pelo WRF com condições iniciais e forçamento das reanálises ERA-*interim* para o período histórico (1986-2005)

**HIST** – Dados simulados pelo modelo WRF com forçamento do modelo climático global MPI, para o período histórico

**IPMA** – Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

**LONG** - Dados simulados pelo modelo WRF com forçamento do modelo climático global MPI, para o período futuro a longo prazo (2081-2100) para o cenário RCP8.5

**MED** - Dados simulados pelo modelo WRF com forçamento do modelo climático global MPI, para o período futuro a médio prazo (2046-2065) para o cenário RCP8.5

**NC** – Dados sem correção de viés

**RCP8.5** – Cenário de emissões de gases com efeito de estufa do IPCC.

**Tmax** – Temperatura máxima diária

**Tmax\_c** – Temperatura máxima diária acima da qual é identificada uma onda de calor se persistir durante pelo menos três dias consecutivos.

**Tmax\_med** – Temperatura máxima média dos dias da onda de calor.

**Tmax\_sum** – Soma das temperaturas máximas diárias de todos os dias da onda de calor.

## **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

**Tmin** – Temperatura mínima diária.

**Tmin\_med** – Temperatura mínima média dos dias da onda de calor.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### Anexo I - Temperatura máxima e mínima diária e amplitude térmica diária, média mensal para HIST, MED e LONG

**Tabela A1.1** Temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) diária e amplitude térmica diária (AMPL), média mensal para HIST, MED e LONG. Unidades (°C).

Mês	HIST Tmax	HIST Tmin	HIST Ampl	MED Tmax	MED Tmin	MED Ampl	LONG Tmax	LONG TMin	LONG Ampl
Jan	15,1	8,6	6,5	16,8	10,1	6,7	17,7	10,8	6,9
Fev	15,4	8,3	7,1	17,0	9,5	7,5	17,8	10,8	7,1
Mar	17,7	8,9	8,8	19,0	10,2	8,8	20,5	11,5	9,1
Abr	19,3	10,0	9,3	21,2	11,4	9,8	21,5	12,0	9,5
Mai	22,0	12,1	9,9	24,1	13,3	10,8	25,0	14,6	10,4
Jun	26,9	15,6	11,3	27,6	16,6	11,0	30,3	18,6	11,8
Jul	28,3	17,1	11,2	31,0	19,2	11,8	33,7	21,3	12,4
Ago	29,0	17,5	11,5	31,6	19,6	12,0	33,2	21,2	12,0
Set	27,3	16,5	10,8	30,5	18,9	11,6	32,3	20,6	11,7
Out	23,6	14,3	9,3	25,8	16,2	9,6	28,3	17,9	10,5
Nov	19,2	11,2	8,0	20,8	12,8	8,0	22,9	14,8	8,2
Dez	16,4	9,4	6,9	17,8	10,8	7,0	19,7	12,4	7,3
<b>Ano</b>	<b>21,7</b>	<b>12,5</b>	<b>9,2</b>	<b>23,6</b>	<b>14,0</b>	<b>9,6</b>	<b>25,3</b>	<b>15,5</b>	<b>9,7</b>



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### Anexo 2 – Avaliação de incerteza

A incerteza dos resultados é avaliada comparando os dados simulados pelo modelo WRF com aqueles simulados por um conjunto de modelos semelhantes que participaram no programa EURO-CORDEX (Tabela A2.1).

**Tabela A2.1 - Modelos EURO-CORDEX. Modelo global forçador (GCM) e modelo regional (RCM)**

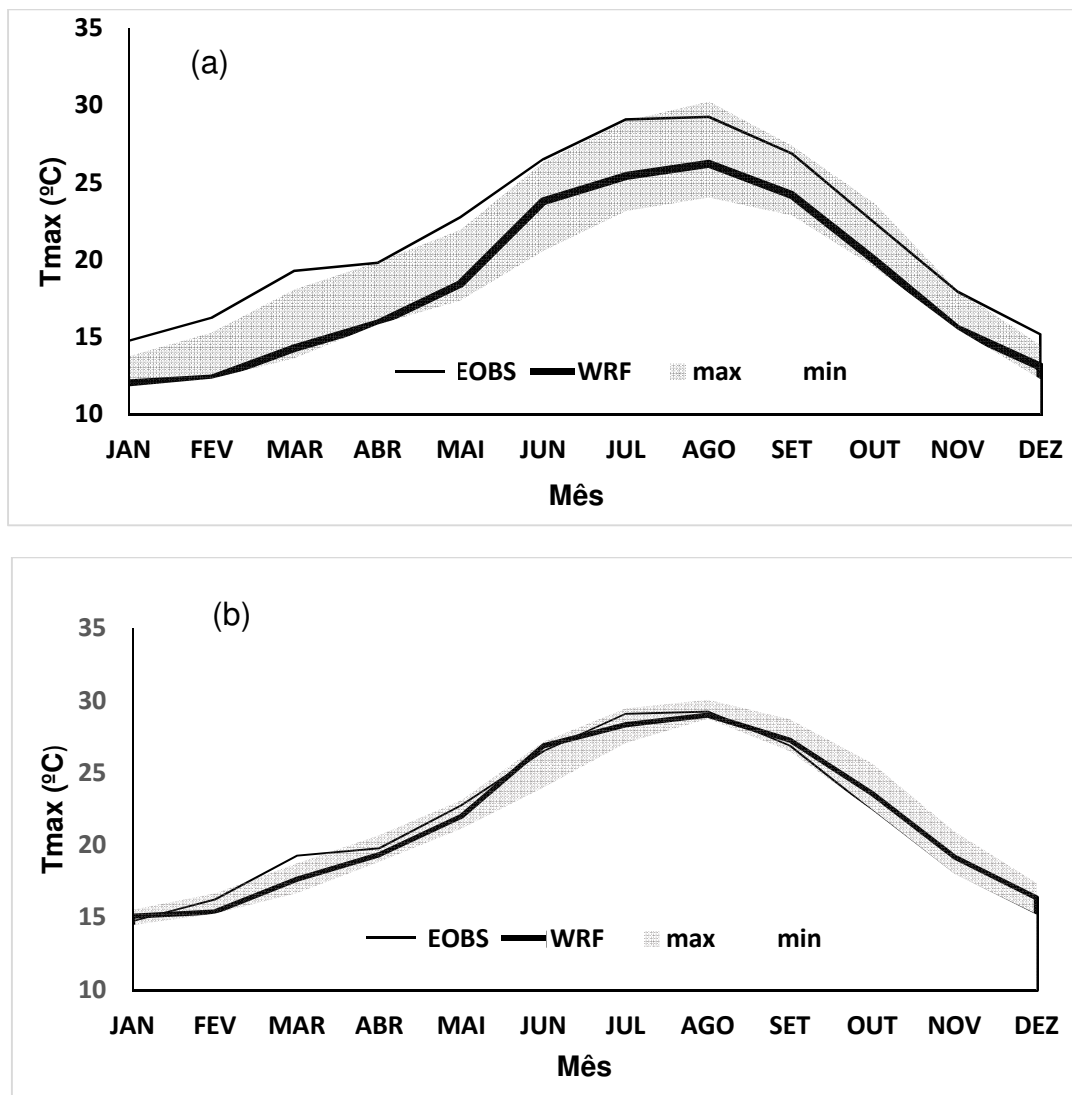
Nome	GCM	RCM
mod1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4-8-17
mod2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN53
mod3	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	SMHI-RCA4
mod4	ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM4-8-17
mod5	ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
mod6	ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
mod7	ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4
mod8	ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
mod11	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS-WRF331F
mod12	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4
mod17	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17
mod18	MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009
mod19	MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4
mod21	NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5
mod23	NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA4

As Figuras seguintes mostram as temperaturas simuladas pelo modelo WRF e aquelas simuladas pelos modelos EURO-CORDEX.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

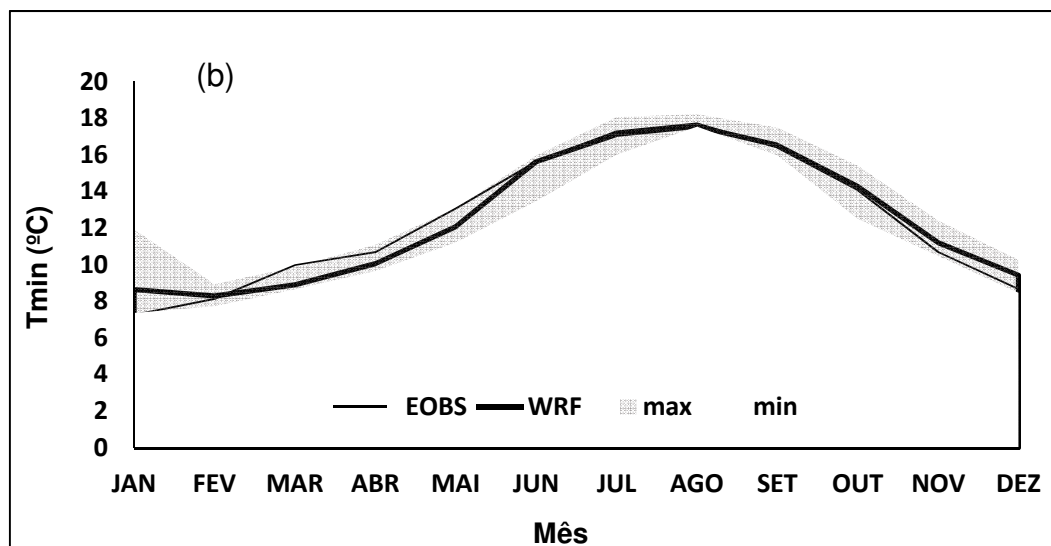
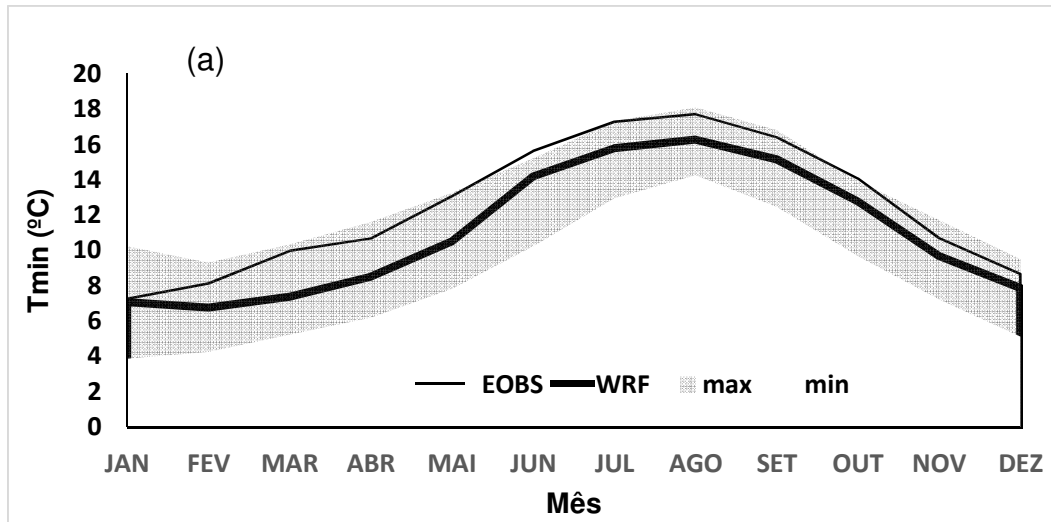
### A2.1 Clima atual recente: 1986-2005

#### A2.1.1 Temperatura



**Figura A2. 1** – (a) Temperatura máxima diária média mensal para as EOBS, e WRF HIST NC. O ‘envelope’ mostra os valores máximos e mínimos dos modelos CORDEX HIST NC. (b) Temperatura máxima diária média mensal para HIST BC para o WRF (linha grossa) e para a média (linha fina), o máximo e mínimo (‘envelope’) dos modelos CORDEX.

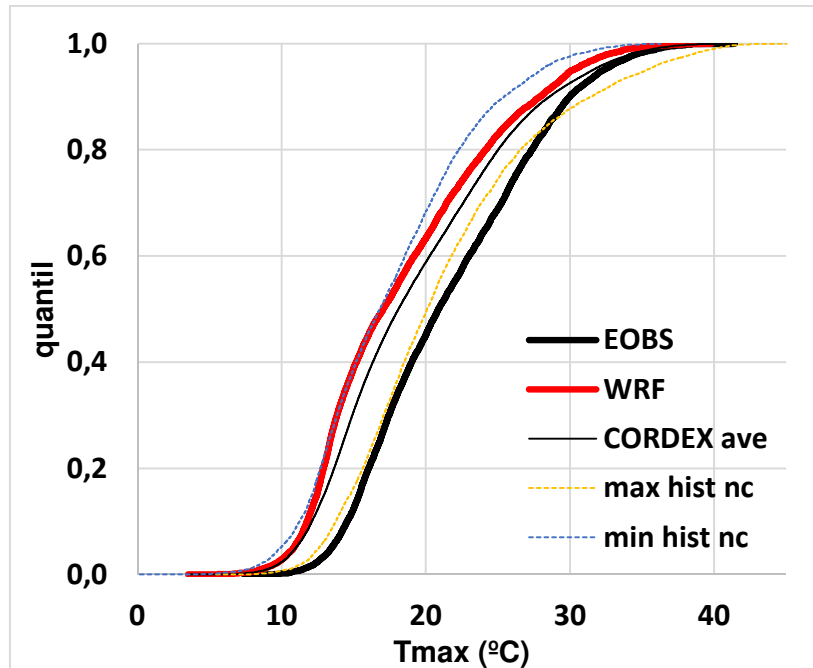
## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



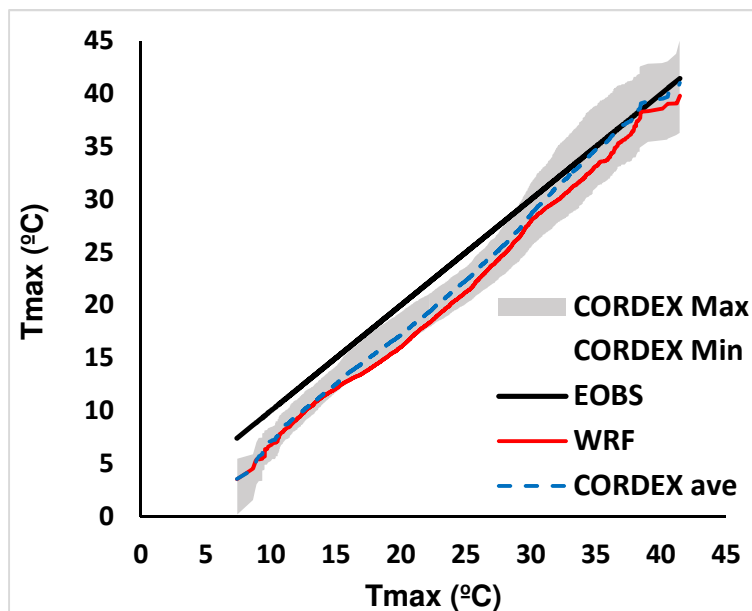
**Figura A2. 2** – (a) Temperatura mínima diária média mensal para as EOBs, e WRF HIST NC. O 'envelope' mostra os valores máximos e mínimos dos modelos CORDEX HIST NC. (b) Temperatura mínima diária média mensal para HIST BC para o WRF (linha grossa) e para a média (linha fina), o máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.

### A2.1.2 Funções de distribuição acumulada

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



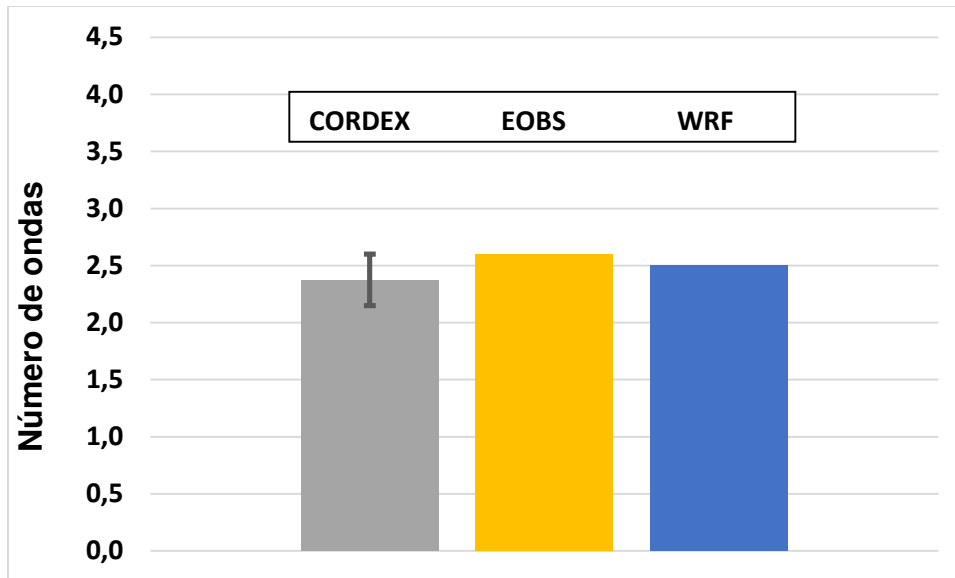
**Figura A2. 3** – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima diária para as E OBS, WRF e média, máximo e mínimo dos modelos CORDEX para HIST NC.



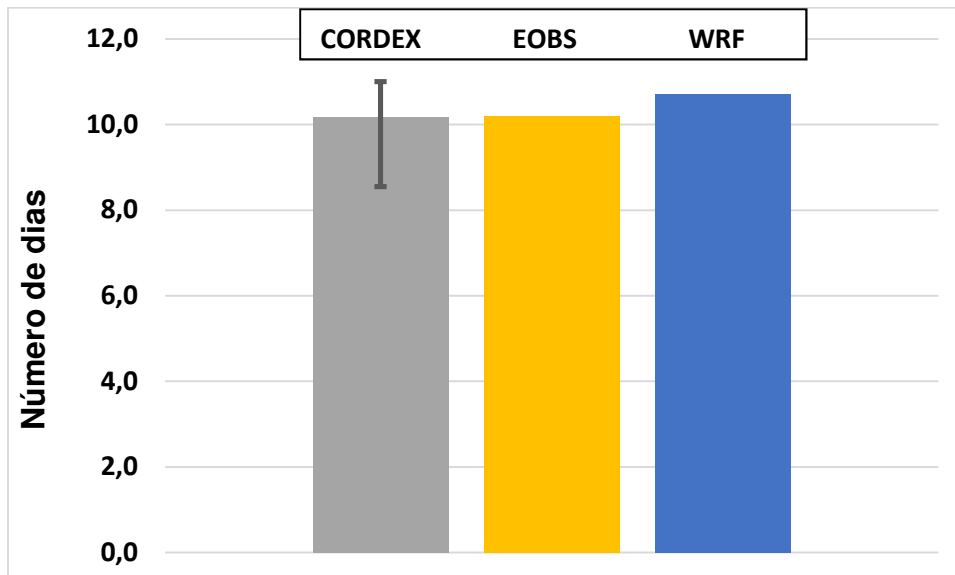
**Figura A2. 4** – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima diária para o WRF e média, máximo e mínimo dos modelos CORDEX (eixo vertical) HIST NC e E OBS (eixo horizontal).

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

**A2.1.3 Ondas de calor**

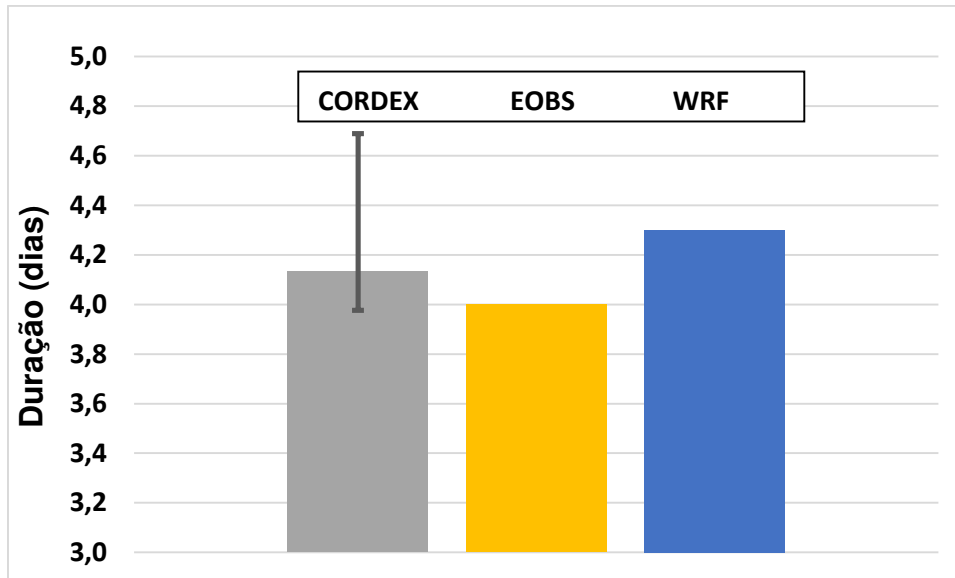


**Figura A2. 5** – Número de ondas de calor médio anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

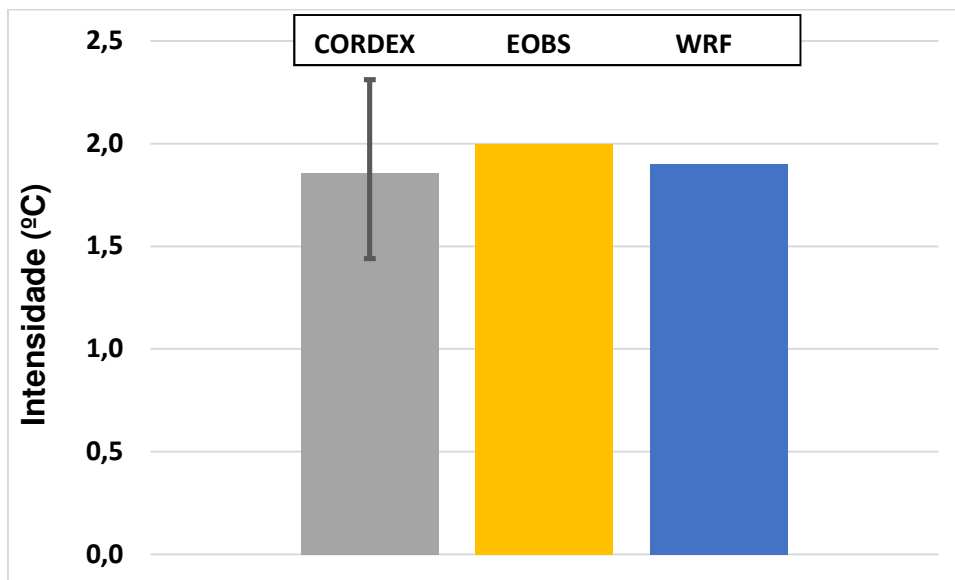


**Figura A2. 6** – Número de dias de onda de calor médio anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

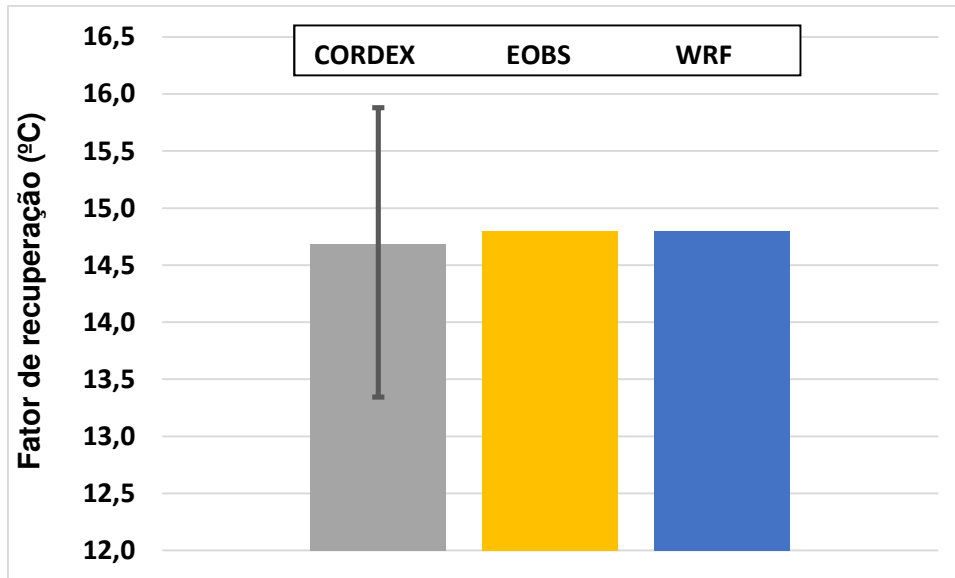


**Figura A2. 7**– Duração média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

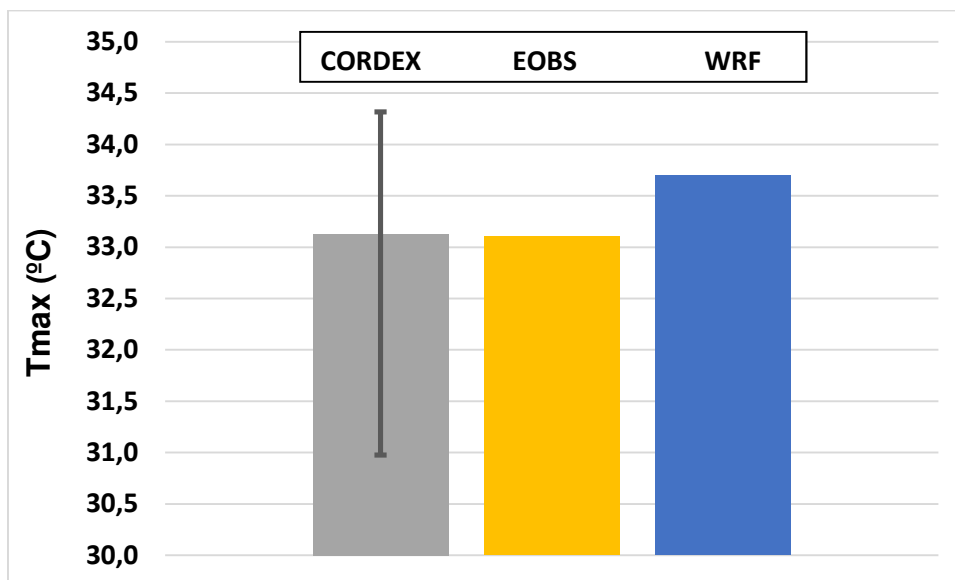


**Figura A2. 8** – Intensidade média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

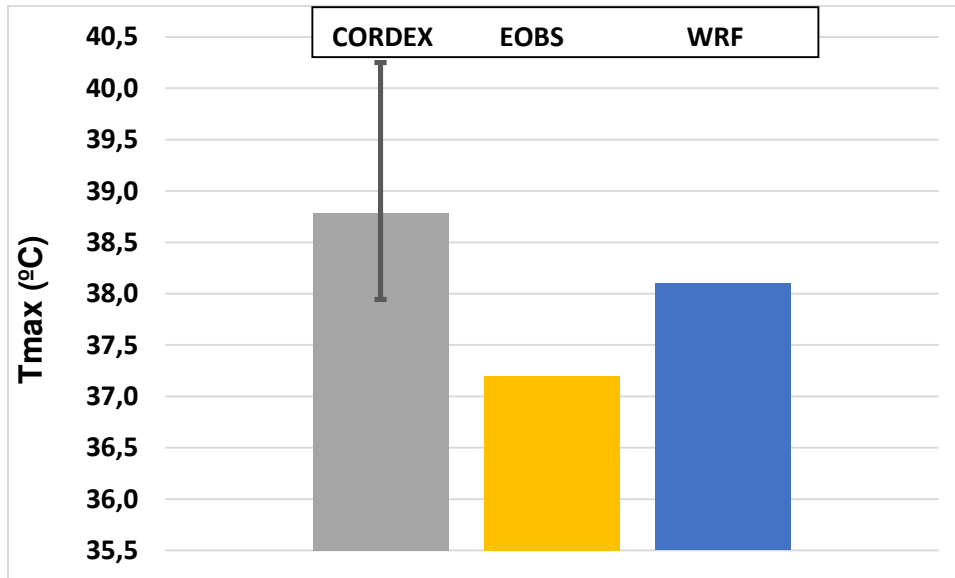


**Figura A2. 9** – Fator de recuperação médio das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

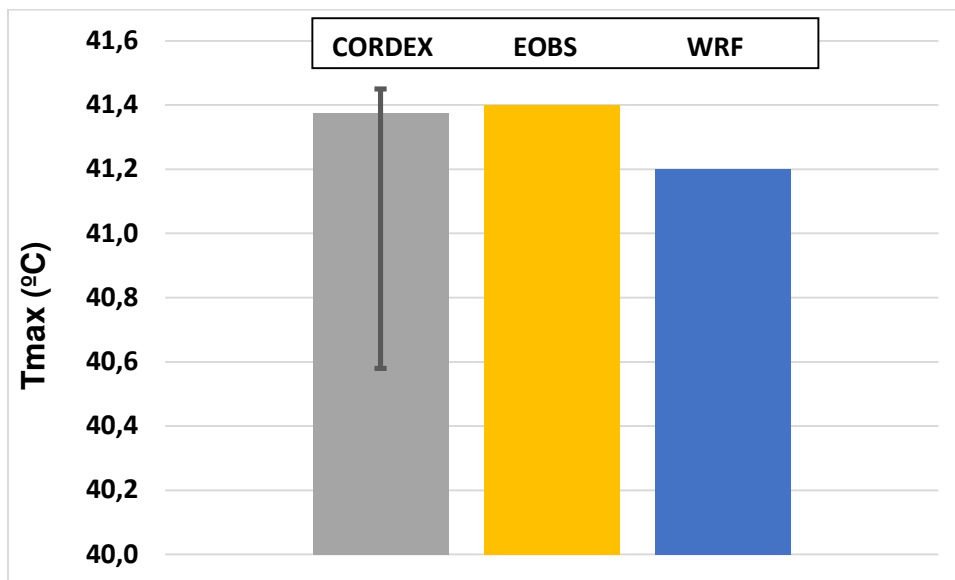


**Figura A2. 10** – Temperatura máxima média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



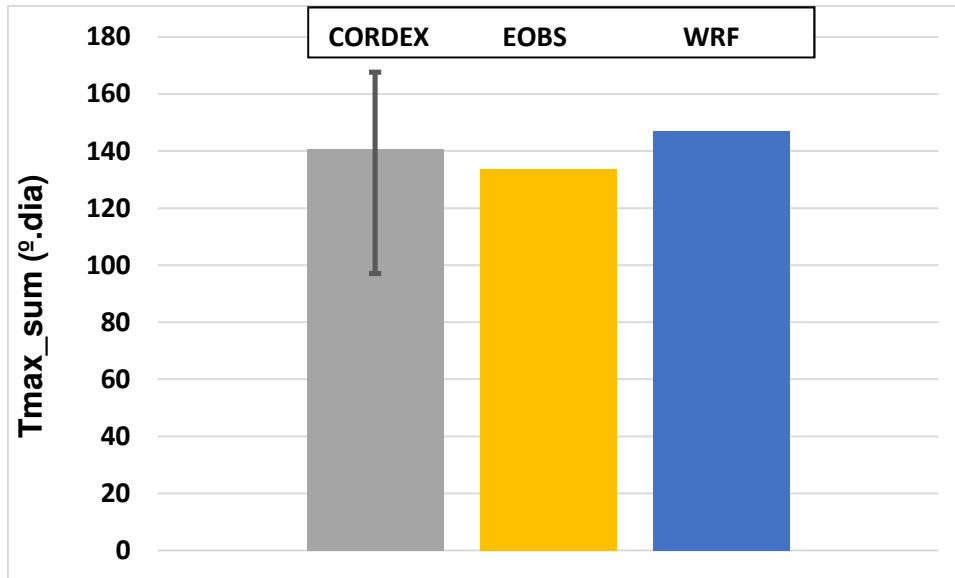
**Figura A2. 11** – Temperatura máxima média, máxima das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.



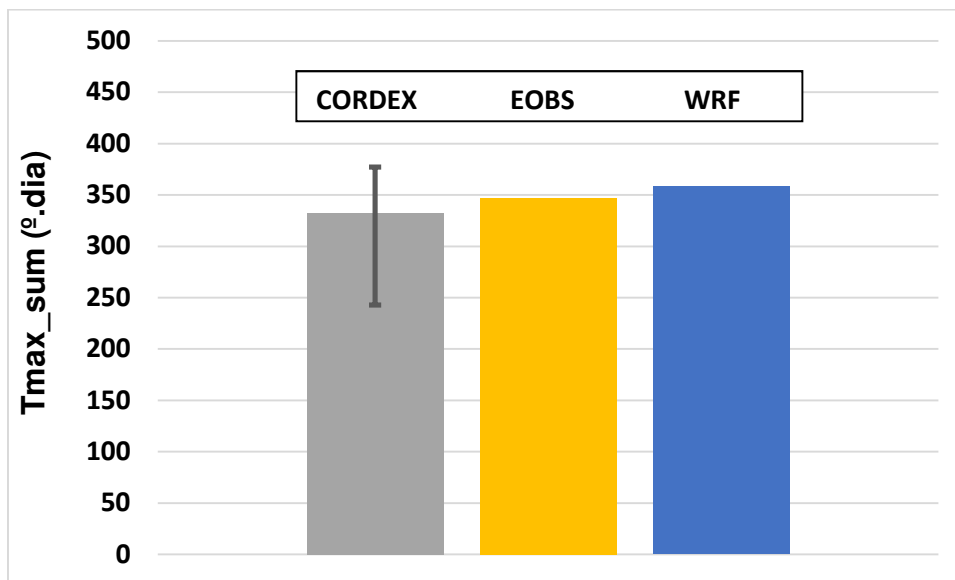
**Figura A2. 12** – Temperatura máxima diária máxima em dia de onda de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.



**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura A2. 13** – Tmax\_sum média das ondas de calor para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

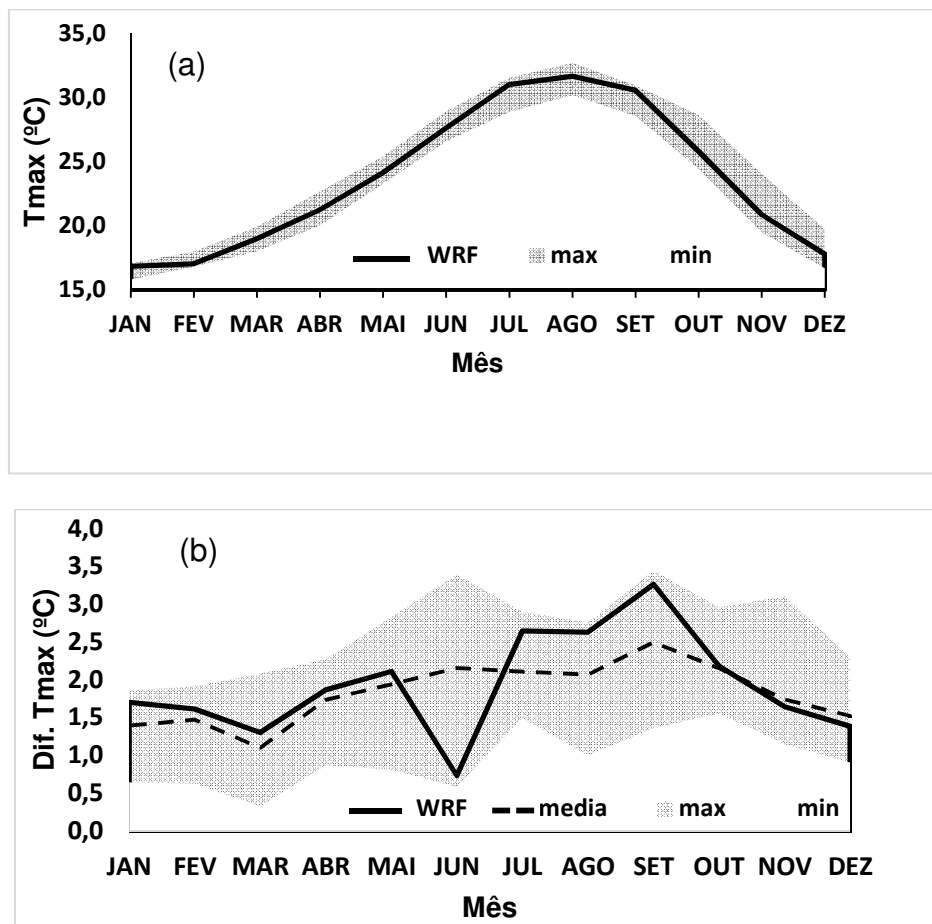


**Figura A2. 14** – Tmax\_sum média anual para as EOBS, WRF e média, máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### A2.2 Alteração climática – cenários futuros

#### A2.2.1 Temperatura



**Figura A2. 15** – (a) Temperatura máxima diária média mensal para MED BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura máxima diária média mensal para MED BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (linha tracejada) e máximo e mínimo (‘envelope’) dos modelos CORDEX.

Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

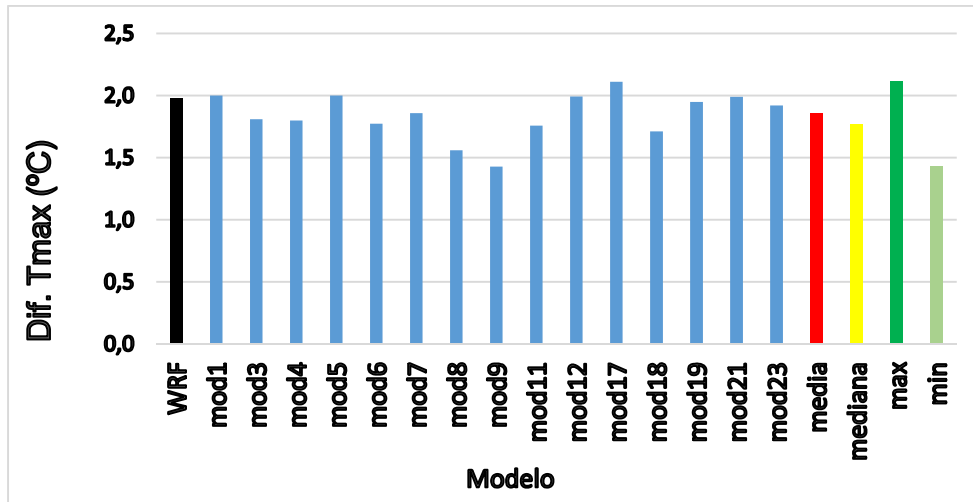


Figura A2. 16 – Diferença da temperatura máxima média anual MED-HIST para o WRF e modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.

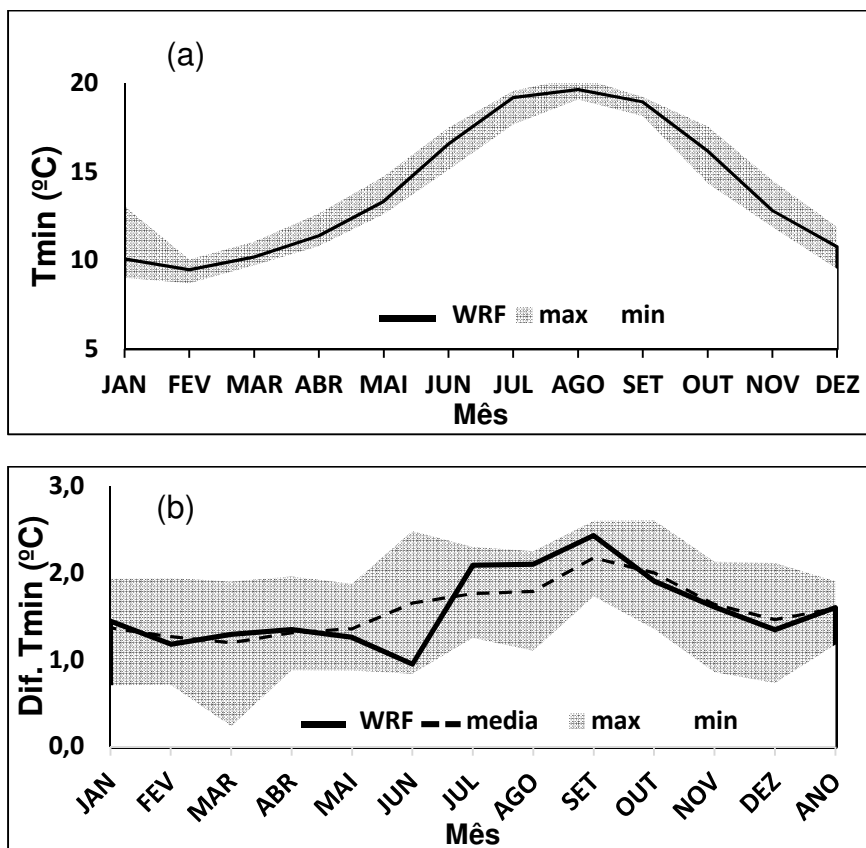
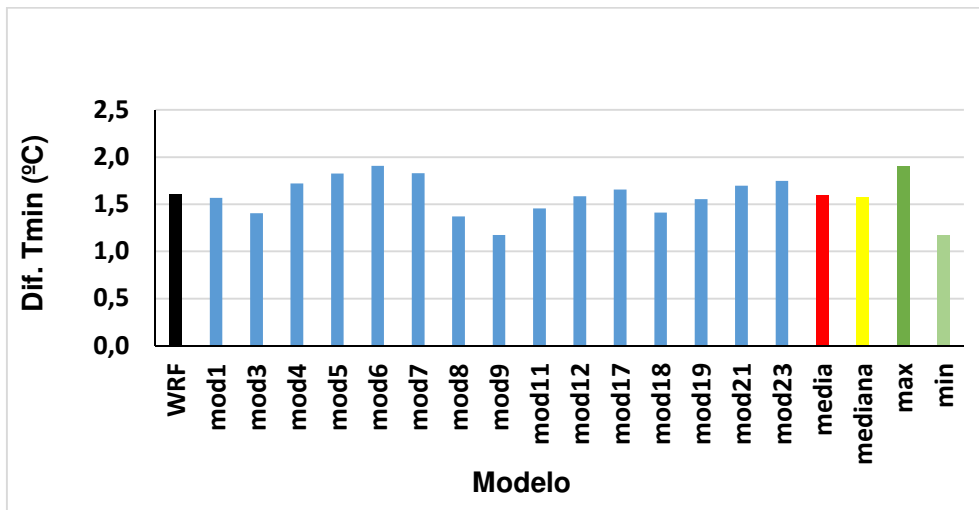


Figura A2. 17 – (a) Temperatura mínima diária média mensal para MED BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da

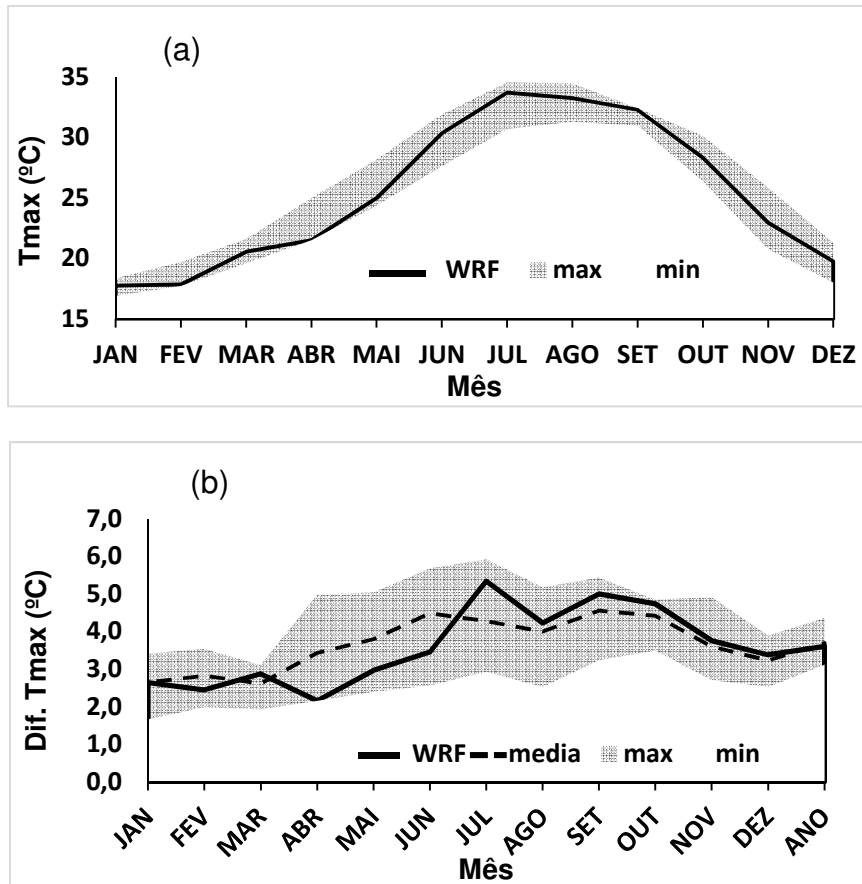
### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

temperatura mínima diária média mensal para MED BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.



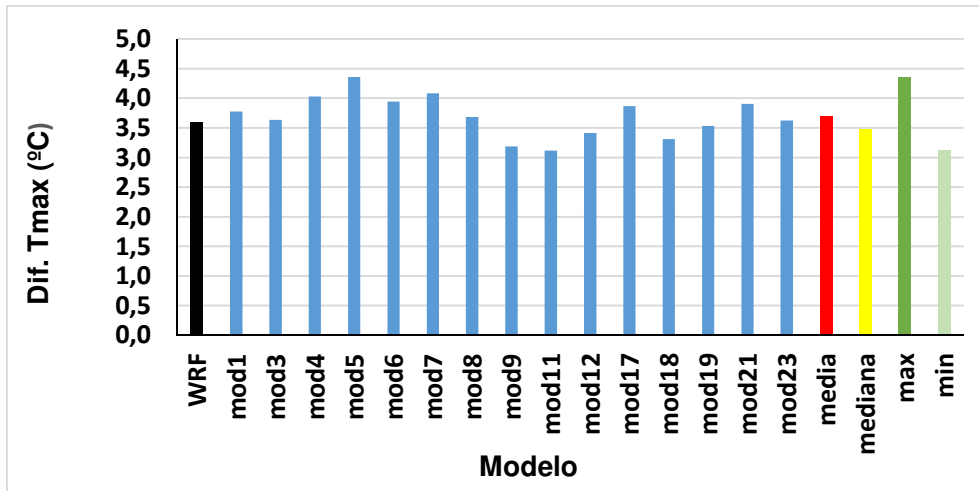
**Figura A2. 18** – Diferença da temperatura mínima média anual MED-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



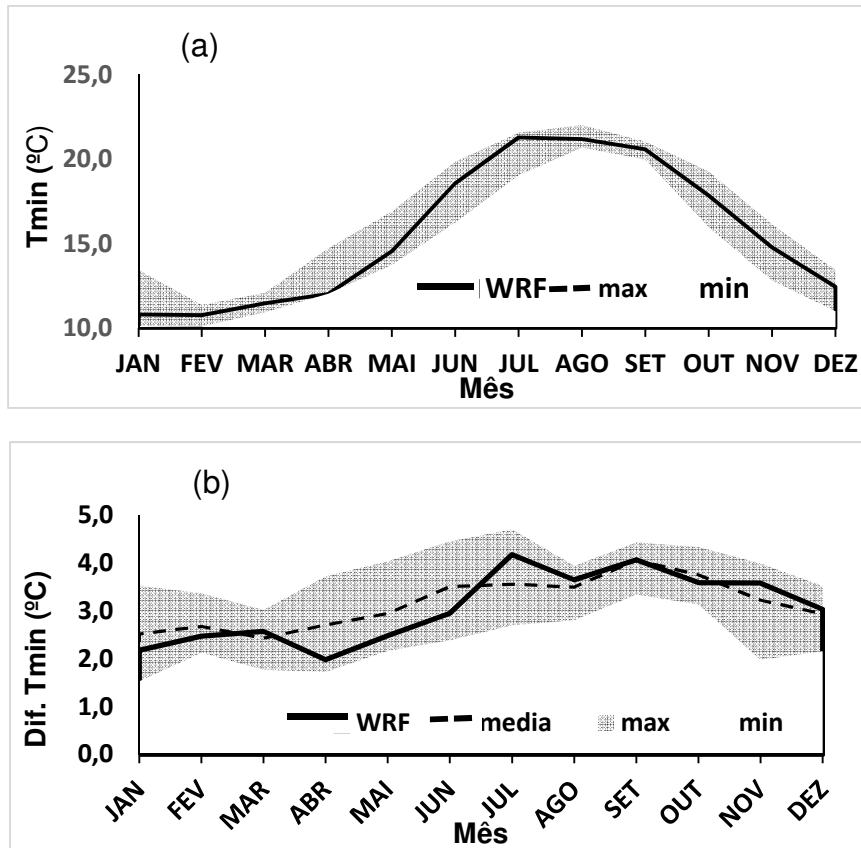
**Figura A2. 19** – (a) Temperatura máxima diária média mensal para LONG BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura máxima diária média mensal para LONG BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



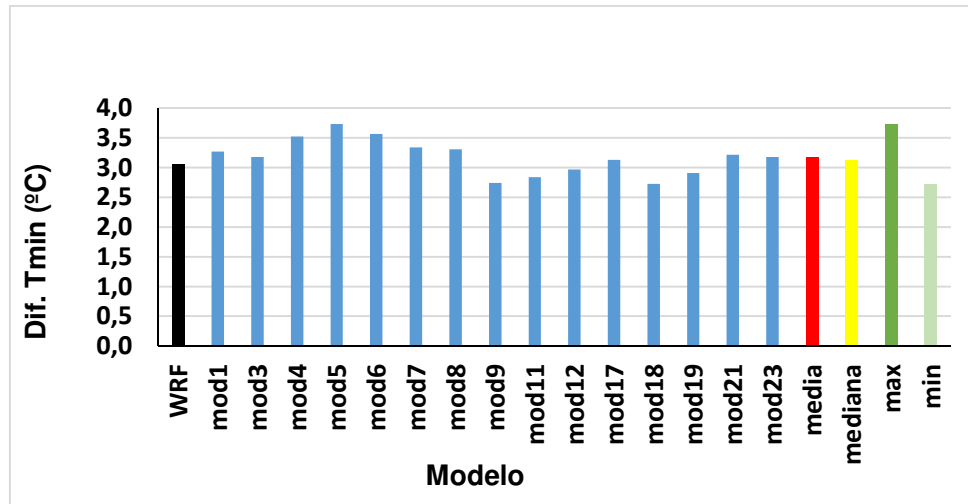
**Figura A2. 20** – Diferença da temperatura máxima média anual LONG-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



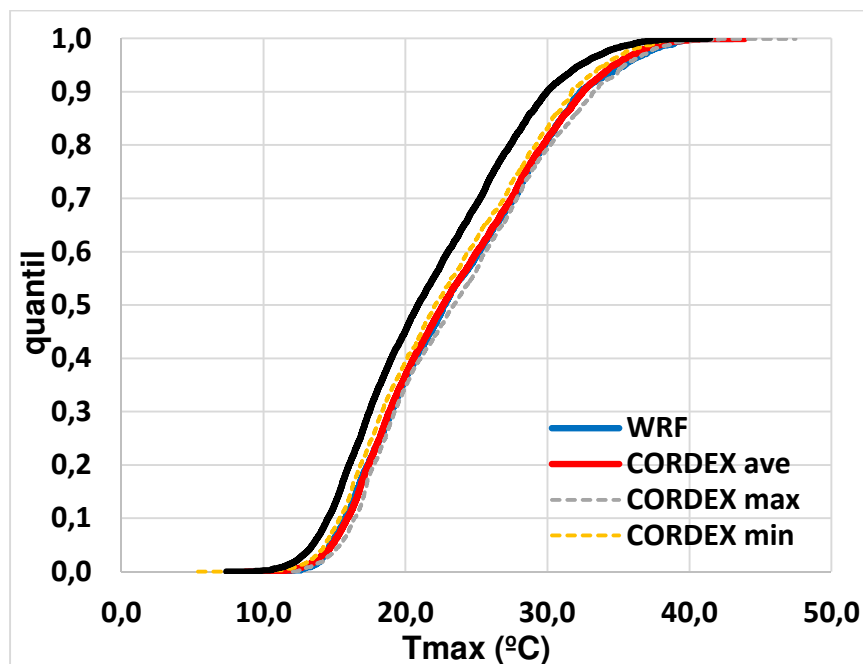
**Figura A2. 21** – (a) Temperatura mínima diária média mensal para LONG BC para o WRF e máximo e mínimo dos modelos CORDEX e (b) Anomalias, relativas a HIST, da temperatura mínima diária média mensal para LONG BC, para o WRF (linha a cheio) e modelos CORDEX média (tracejado) e máximo e mínimo ('envelope') dos modelos CORDEX.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura A2. 22** – Diferença da temperatura mínima média anual LONG-HIST para o WRF, modelos CORDEX e respetiva média, mediana, máximo e mínimo.

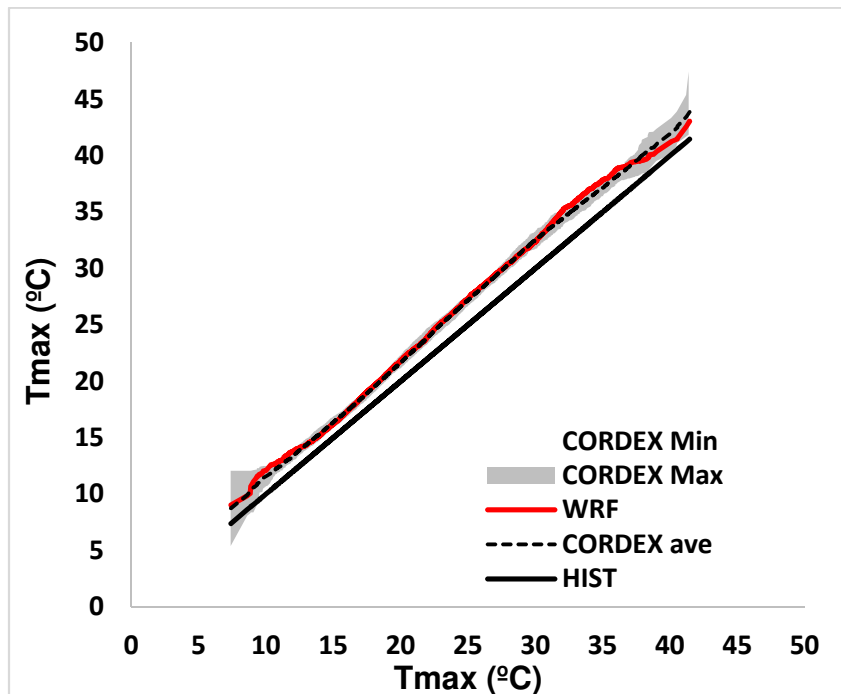
### A2.2.2 Funções de distribuição acumulada



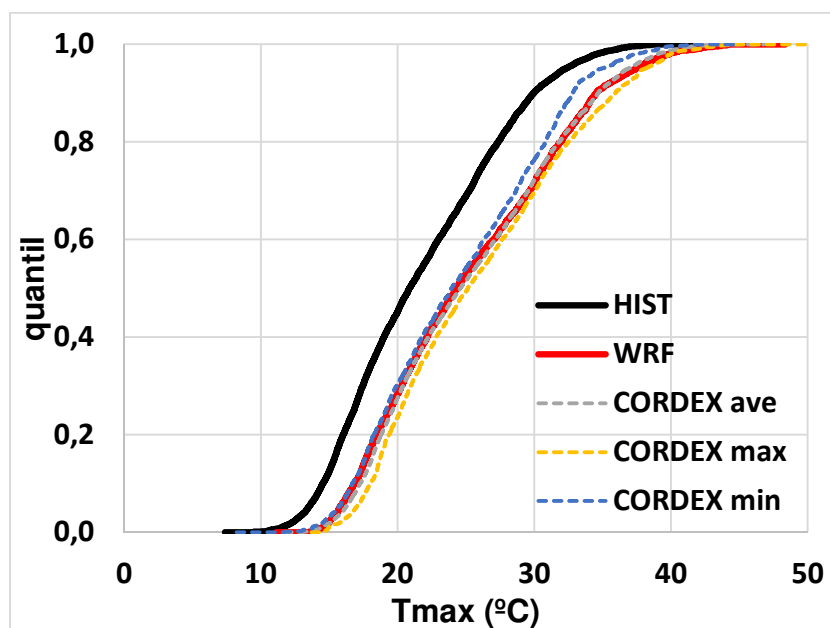
**Figura A2. 23** – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima corrigida para WRF HIST, WRF MED e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX MED.



Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

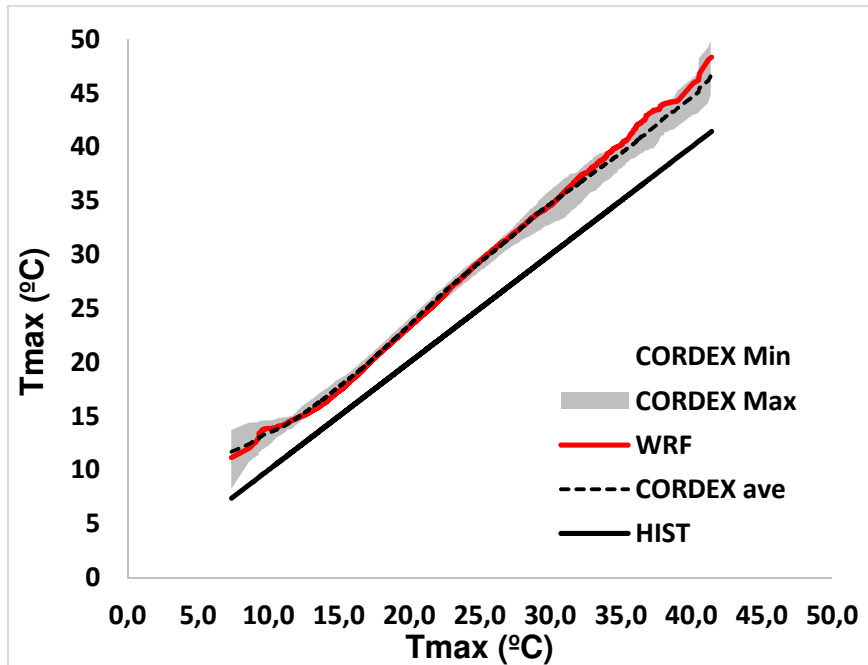


**Figura A2. 24** – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima corrigida para a WRF HIST (eixo horizontal) e WRF MED e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX MED (eixo vertical).



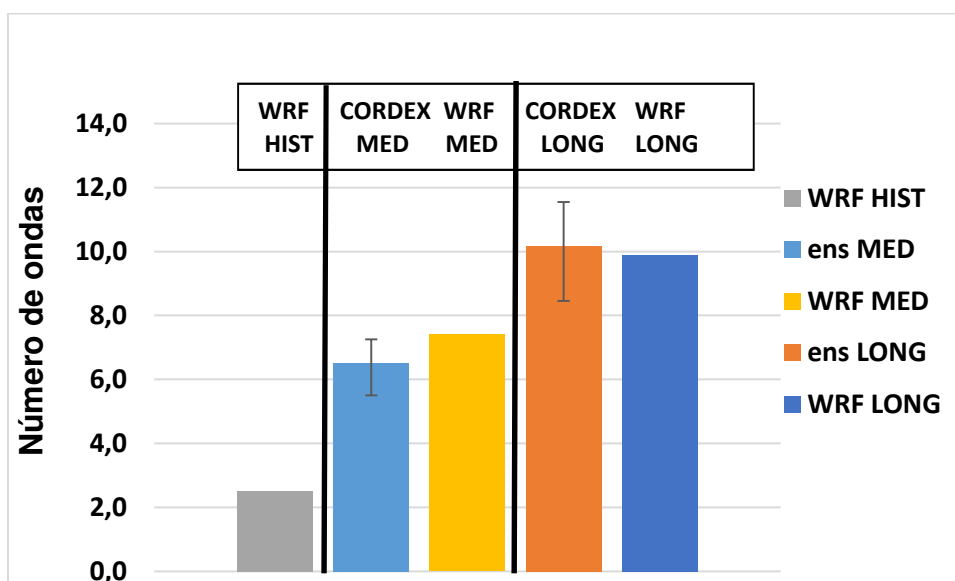
**Figura A2. 25** – Funções de distribuição acumulada da temperatura máxima corrigida para WRF HIST, WRF LONG e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX LONG.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



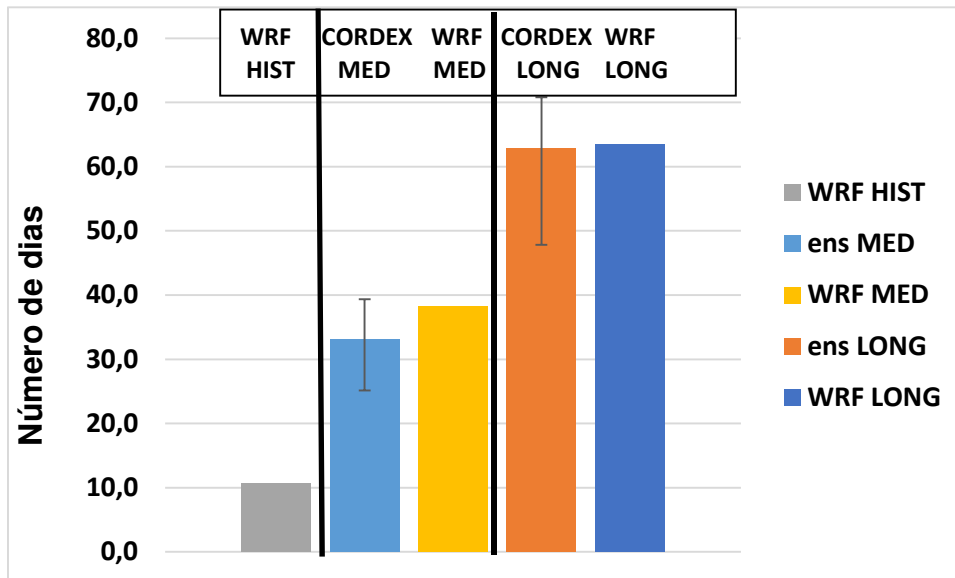
**Figura A2. 26** – Gráfico quantil-quantil da temperatura máxima corrigida para a WRF HIST (eixo horizontal) e WRF LONG e média, máximo e mínimo dos modelos EURO-CORDEX LONG (eixo vertical).

**A2.2.3 Ondas de calor**

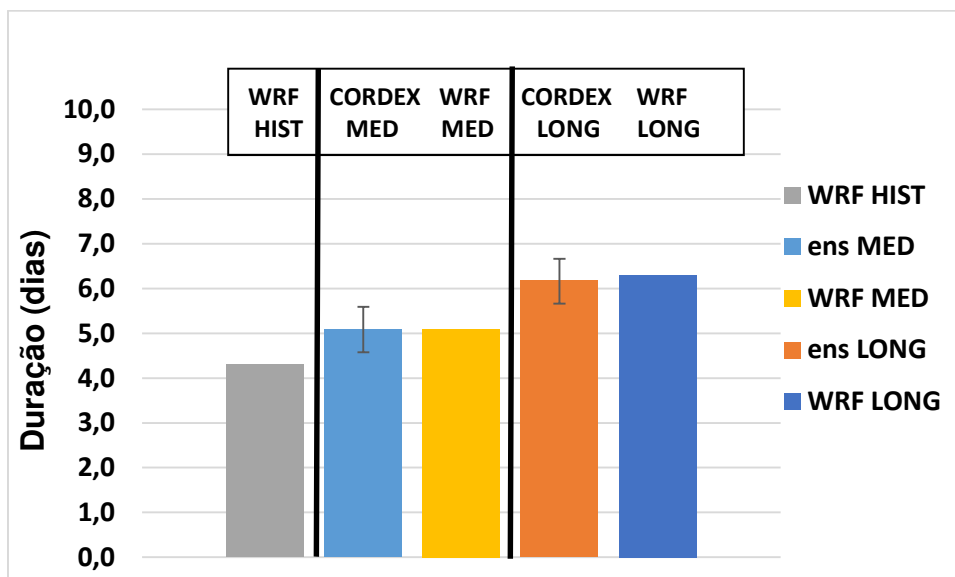


**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

**Figura A2. 27** – Número de ondas de calor médio anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

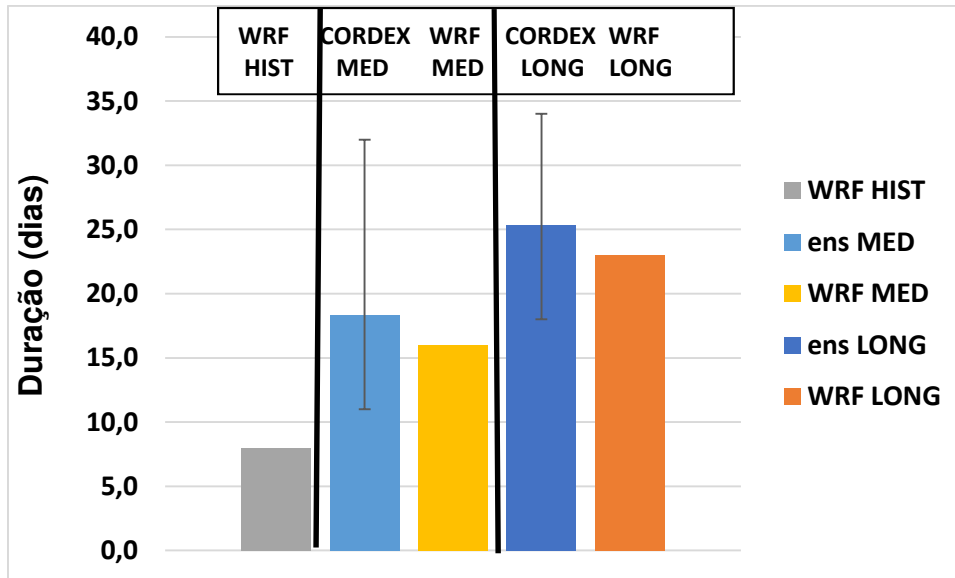


**Figura A2. 28** – Número de dias de onda de calor médio anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

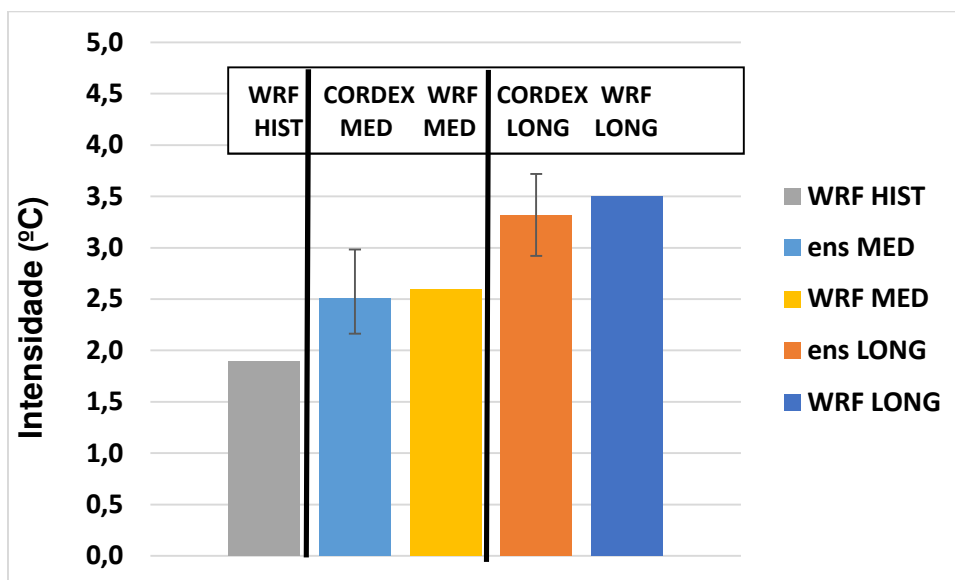


**Figura A2. 29** - Duração média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

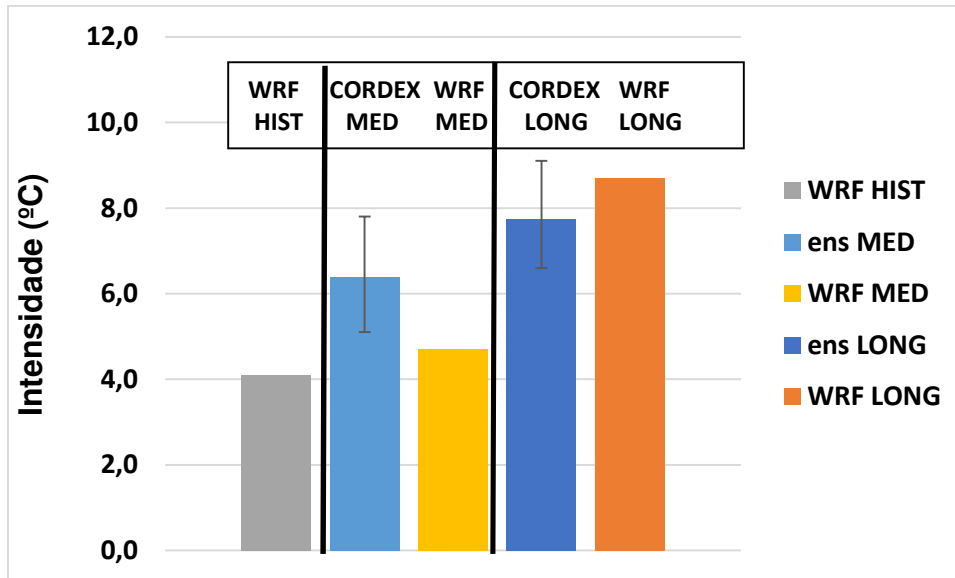


**Figura A2. 30** – Duração máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

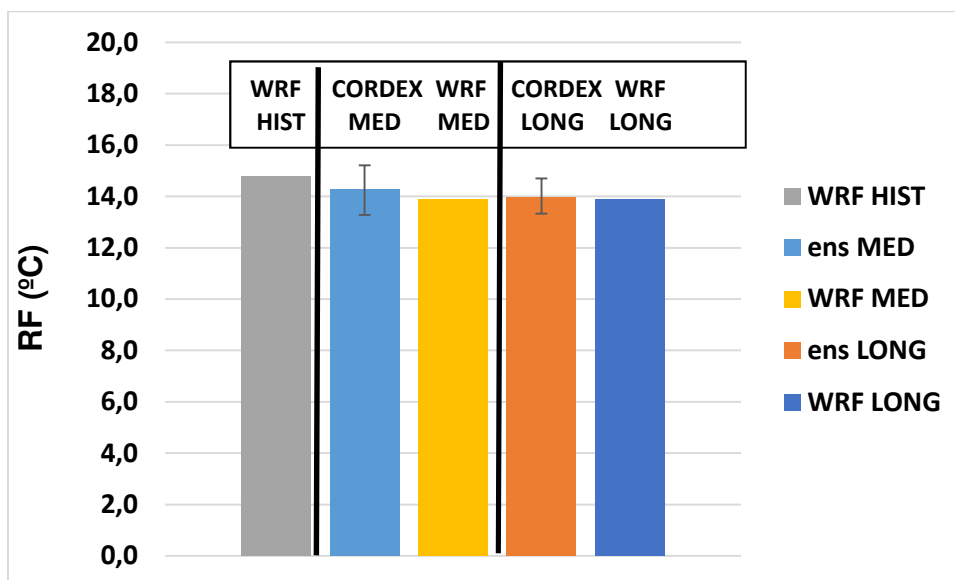


**Figura A2. 31** – Intensidade média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**



**Figura A2. 32** – Intensidade máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.



**Figura A2. 33** – Fator de recuperação médio das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

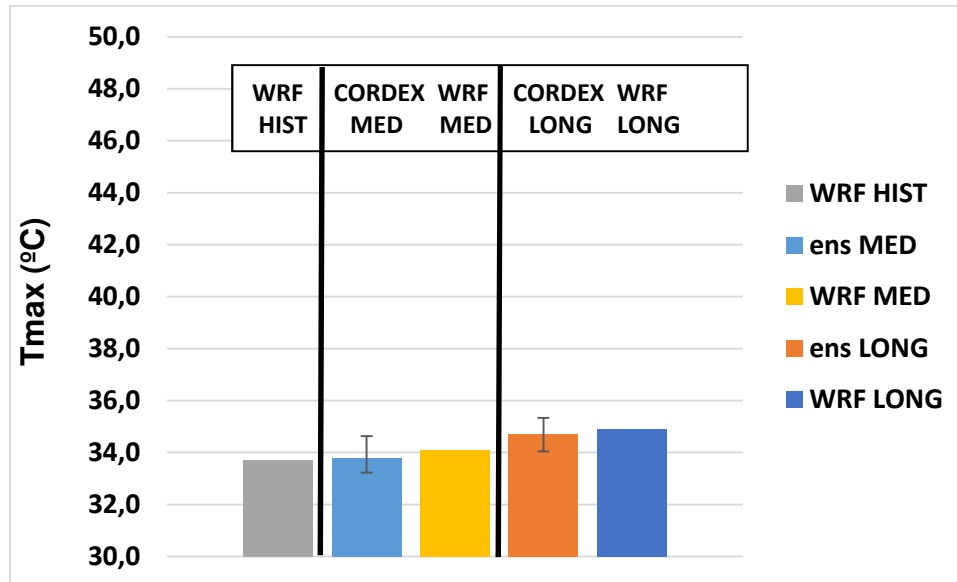


Figura A2. 34 – Temperatura máxima média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

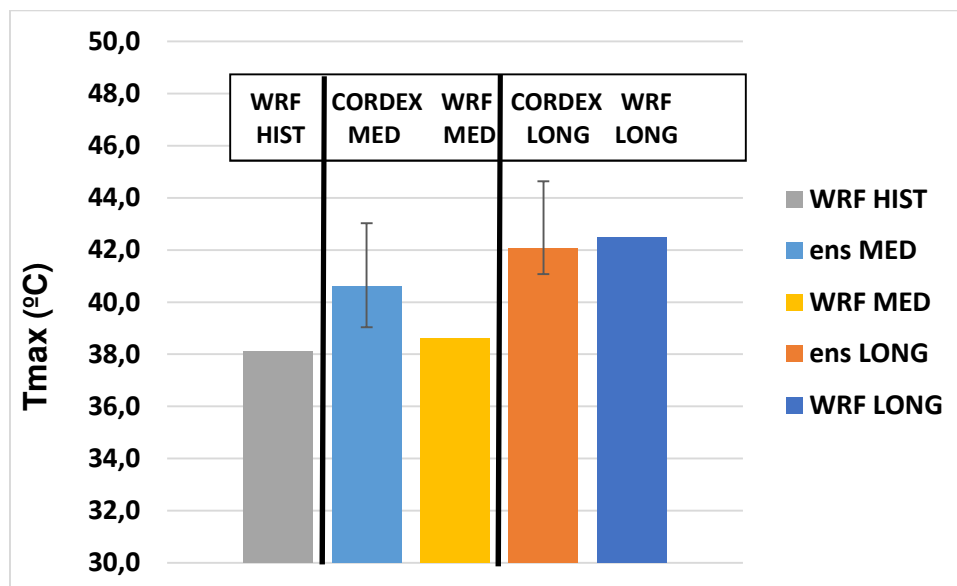
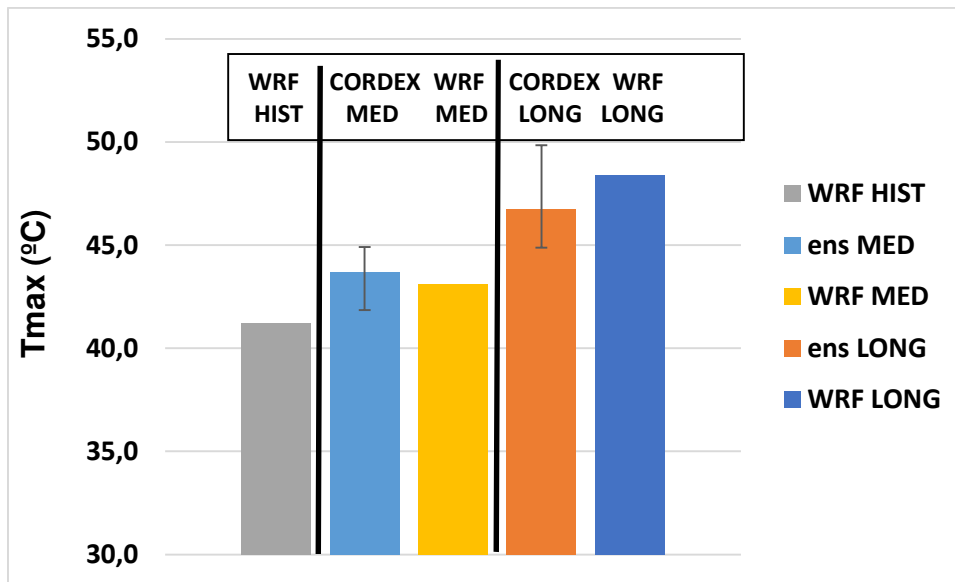
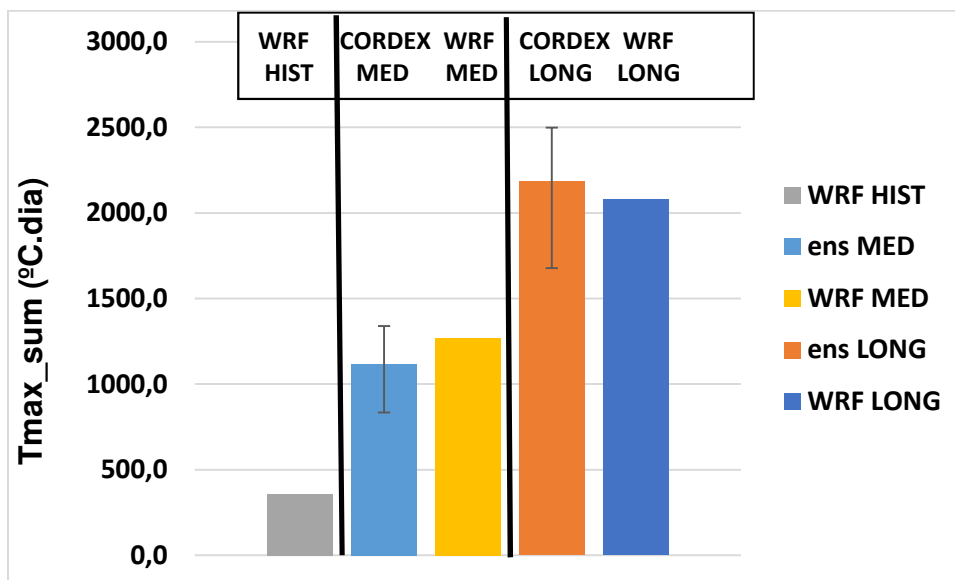


Figura A2. 35 – Temperatura máxima média máxima das OC para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

**Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

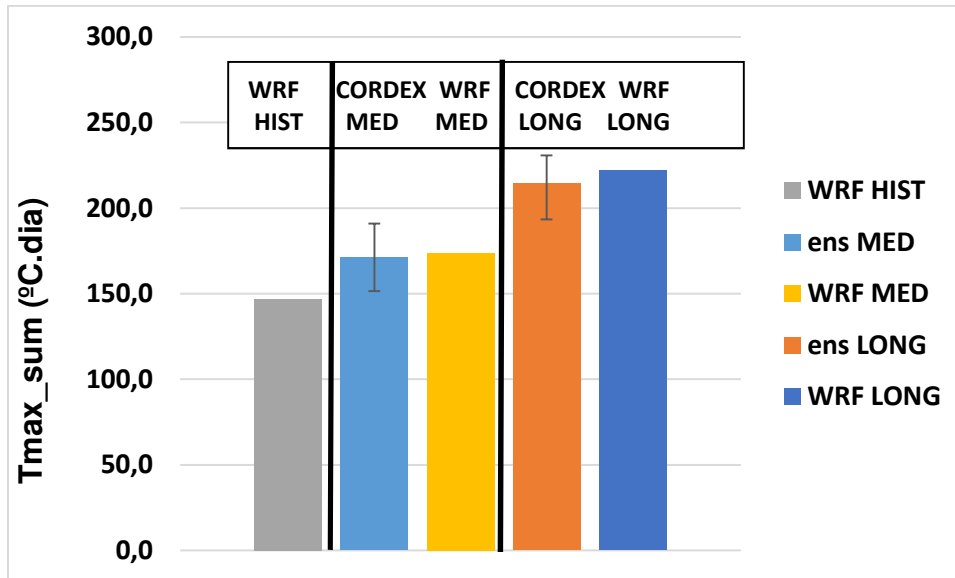


**Figura A2. 36** – Temperatura máxima absoluta em dia de onda de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

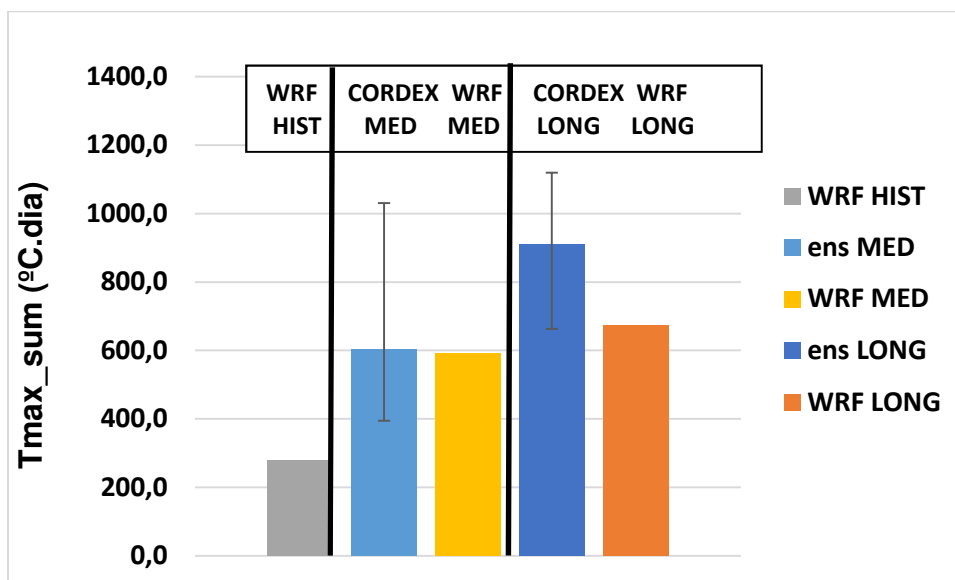


**Figura A2. 37** – Tmax\_sum média anual para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.

### Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro



**Figura A2. 38** – Tmax\_sum média das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.



**Figura A2. 39** – Tmax\_sum máxima das ondas de calor para WRF HIST, MED e LONG e média (ens), máximo e mínimo (barra vertical) dos modelos CORDEX HIST BC.



## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

### **Anexo 3 – Comparação de resultados com o relatório do EMAAC (2017)**

Com o objetivo de enquadrar os resultados aqui apresentados com aqueles referidos no relatório da EMAAC (2017), a Tabela A3.1 mostra valores médios de algumas variáveis, para o clima de referência (1986-2005 neste estudo e 1971-2000 no EMACC) para o cenário RCP8.5. As variáveis derivadas da temperatura são assim definidas:

**Número de dias de verão** – Número de dias em que a temperatura máxima diária é igual ou superior a 25°C.

**Número de dias muito quentes** – Número de dias em que a temperatura máxima diária é igual ou superior a 35°C.

**Número de noites tropicais** – Número de dias em que a temperatura mínima diária é igual ou superior a 20°C.

Note-se que os períodos usados para calcular as respetivas médias são diferentes nos dois relatórios, sendo parcialmente comuns para o período de 1986-2000. Por isso, os resultados não devem ser rigorosamente comparados.

O modelo WRF não corrigido e os modelos utilizados no EMAAC apresentam um viés frio entre -3,1°C e -2,0°C. Como consequência, os números de dias de verão, muito quentes e de noites tropicais apresentam diferenças negativas relativamente às EOBS. Como resultado da correção de viés, os dados corrigidos do WRF não apresentam diferenças relativamente às EOBS.

## Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro

**Tabela A3.1** – Comparação de variáveis de temperatura apresentadas neste relatório e no EMAAC (2017) para a temperatura média anual e números médios anuais de dias de verão, dias muito quentes e noites tropicais. Os valores relativos a este relatório referem-se ao período de 1986-2005. Os valores do EMAAC referem-se ao período 1971-2000. Os valores entre parêntesis representam anomalias relativas às EOBS. NC e BC referem-se a dados não corrigidos e corrigidos, respetivamente.

Variável	Este relatório			EMAAC	
	EOBS	WRF NC	WRF BC	mod1	mod2
<b>Temperatura média anual</b>	17,1	14,7 (-2,4)	17,1 (0,0)	15,1 (-2,0)	14,0 (-3,1)
<b>Número de dias de verão (Tmax ≥ 25°C)</b>	122	69 (-53)	122 (0)	92 (-30)	63 (-59)
<b>Número de dias muito quentes (Tmax ≥ 35°C)</b>	8,0	2,9 (-5,1)	8,0 (0)	8,5 (+0,5)	2,0 (-6,0)
<b>Número de noites tropicais (Tmin ≥ 20°C)</b>	14,0	7,1 (-6,9)	14 (0)	3,5 (-10,5)	0,8 (-13,2)

A Tabela A3.2 mostra os valores das mesmas variáveis e modelos da Tabela A3.1, projetados para os climas futuros, nomeadamente, 2046-2065 e 2081-2100 deste estudo e 2041-2070 e 2071-2100 do EMAAC, para o cenário RCP8.5. Note-se que os períodos não são os mesmos mas sobrepõem-se parcialmente.

Os valores absolutos das variáveis apresentadas são subestimadas nos modelos 1 e 2 do EMAAC relativamente às EOBS e WRF corrigido, pelo facto de os mesmos não terem sido submetidos a correção de viés. Isto acontece sobretudo para o modelo 2. No entanto, a alteração climática das mesmas variáveis simulada por estes modelos apresenta diferenças menores quando comparadas com o WRF e EOBS. De um modo geral, o

### **Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na AML – clima atual e futuro**

---

número de dias de verão, o número de dias muito quentes, o número de noites tropicais e o número de dias de onda de calor são fortemente subestimados no EMAAC.

Variável	Este relatório			EMAAC					
	WRF 1986-2005	WRF 2046-2065	WRF 2081-2100	mod1 1971-2000	mod1 2041-2070	mod1 2071-2100	mod2 1971-2000	mod2 2041-2070	mod2 2071-2100
<b>Temperatura média anual (°C)</b>	17,1	18,9 (+1,8)	20,4 (+3,3)	15,1	17,5 (+2,4)	19,1 (+4,0)	14,0	15,6 (+1,6)	17,1 (+3,1)
<b>Número de dias de verão</b>	122	156 (+34)	180 (+58)	92	135 (+43)	161 (+69)	63	97 (+34)	125 (+62)
<b>Número de dias muito quentes</b>	8	24 (+16)	38 (+30)	9	18 (+9)	33 (+24)	2	7 (+5)	14 (+12)
<b>Número de noites tropicais</b>	14	47 (+33)	86 (+72)	4	26 (+22)	66(+62)	1	4 (+3)	19 (+18)
<b>Número de ondas de calor</b>	3	8 (+5)	10 (+7)	1	4 (+3)	4 (+3)	1	4 (+3)	4 (+3)
<b>Número de dias de onda de calor</b>	11	38 (+27)	64 (+53)	5	28 (+23)	37(+32)	7	28 (+21)	32 (+25)
<b>Duração média das ondas de calor (dias)</b>	4	5 (+1)	6 (+2)	8	8 (0)	10(+2)	8	8 (0)	9(+1)

Tabela A3.2 – Comparação de variáveis apresentadas neste relatório e no EMAAC (2017) para a temperatura média anual e números médios anuais de dias de verão, dias muito quentes e noites tropicais. Os valores relativos a este relatório referem-se aos períodos de 2046-2065 e 2081-2100. Os valores do EMAAC referem-se aos períodos 2041-2070 e 2071-2100. Os valores entre parêntesis representam anomalias relativas ao clima de referência de cada estudo, nomeadamente, 1986-2005 neste estudo e 1971-2000 no EMAAC.