

PAULO JORGE NOGUEIRA

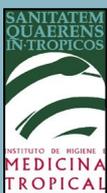
**ONDAS DE CALOR:
MODELOS DE MEDIÇÃO,
PREVISÃO E MONITORIZAÇÃO
DOS IMPACTOS NA SAÚDE**

Tese para prestação de provas de doutoramento

SAÚDE INTERNACIONAL

POLÍTICAS DE SAÚDE E DESENVOLVIMENTO

Lisboa 2011



INSTITUTO DE HIGIENE E MEDICINA TROPICAL

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



INSTITUTO DE HIGIENE E MEDICINA TROPICAL

Tese de Doutorado

**Ondas de calor: modelos de medição,
previsão e monitorização dos impactos
na Saúde**

ORIENTADOR

Professor Doutor Paulo Ferrinho

COMISSÃO TUTORIAL

Professor Doutor José Calheiros

Professora Doutora Luzia Gonçalves

Ramo: Saúde Internacional

Especialidade: Políticas de Saúde e Desenvolvimento

2011

Paulo Jorge da Silva Nogueira

Dissertação de candidatura ao grau de Doutor em
Saúde Internacional – Políticas de Saúde e
Desenvolvimento, apresentada no Instituto de
Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova
de Lisboa

À Olívia que me apoiou incondicionalmente e me deu forças nos momentos em que duvidei ou me senti sem rumo.

<Página em branco>

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE GERAL..... | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABELAS | xv |
| SIGLAS E ACRÓNIMOS..... | xix |
| AGRADECIMENTOS | xxiii |
| RESUMO | xxvii |
| SUMMARY | xxxvi |
| 1. ENQUADRAMENTO, DEFINIÇÃO DO PROBLEMA, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO | 1 |
| 1.1 Enquadramento | 3 |
| 1.2 Identificação do Problema | 5 |
| 1.3 Objectivos gerais e específicos do estudo | 6 |
| 1.4 Organização da tese..... | 13 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 17 |
| 2.1 Delineamento global dos estudos | 19 |
| 2.2 Fonte dos dados | 22 |
| 2.3 Métodos | 23 |
| 2.3.1. Modelação das temperaturas do ar por distrito de Portugal Continental..... | 27 |
| 2.3.2. Modelos de previsão de ondas de calor | 29 |
| 2.3.3. Construção de um Índice-ÍCARO Nacional, definição de um sistema de Vigilância de Ondas de Calor e do Índice-Alerta-ÍCARO..... | 45 |
| 2.3.4. Construção de um Sistema de Vigilância da Mortalidade | 46 |
| 2.3.5. Avaliação do Sistema de Vigilância e Monitorização das Ondas de Calor | 49 |
| 3. RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES..... | 55 |
| 3.1 Distribuições da temperatura do ar em Lisboa e em PORTUGAL..... | 57 |
| 3.1.1. Temperaturas de Lisboa | 57 |
| 3.1.2. Temperaturas de Portugal Continental..... | 60 |
| 3.1.3. Temperaturas por distrito | 61 |
| 3.1.4. Discussão e Conclusões | 66 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.2 | Previsão da mortalidade com base nas temperaturas do ar - Modelos para Lisboa..... | 69 |
| 3.2.1. | Ensaio de Limiares Fixos e Dinâmicos..... | 69 |
| 3.2.2. | O modelo Adoptado para o Sistema de Vigilância Português..... | 75 |
| 3.2.3. | A diferença entre as variáveis STA e STAG | 78 |
| 3.2.4. | Modelos para a mortalidade total do distrito de Lisboa | 79 |
| 3.2.5. | Modelos para a mortalidade dos indivíduos com 65 ou mais anos do distrito de Lisboa | 84 |
| 3.2.6. | Qualidade dos modelos nos meses de Maio e Setembro..... | 89 |
| 3.2.7. | Discussão e Conclusões | 92 |
| 3.3 | Modelos Regionais para a relação calor-mortalidade | 97 |
| 3.3.1. | Definição de Regiões..... | 97 |
| 3.3.2. | Temperaturas de referência por região | 106 |
| 3.3.3. | Modelos por região para o Total de Óbitos Diários | 108 |
| 3.3.4. | Modelos por região para os Óbitos Diários do grupo etário ≥ 75 anos | |
| | 137 | |
| 3.3.5. | Discussão e conclusões | 163 |
| 3.4 | Construção de um Índice-ÍCARO Nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor | 175 |
| 3.4.1. | Construção e definição do Índice-ÍCARO | 175 |
| 3.4.2. | Construção e definição do Sistema de Vigilância de Ondas de Calor (Sistema de Vigilância ÍCARO 1999 – versão original) | 182 |
| 3.4.3. | A experiência do Índice-ÍCARO 1999..... | 185 |
| 3.4.4. | Definição de um Índice-ÍCARO Nacional | 194 |
| 3.4.5. | Definição de um Índice de Alerta ÍCARO..... | 203 |
| 3.4.6. | Discussão e Conclusões | 220 |
| 3.5 | Construção de um Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade em Portugal..... | 223 |
| 3.5.1. | Introdução..... | 224 |
| 3.5.2. | Génese do sistema de vigilância diária da mortalidade - sistema VDM Original (2004-2007)..... | 225 |
| 3.5.3. | O novo sistema VDM (2007-actualidade)..... | 233 |
| 3.5.4. | Resultados..... | 235 |
| 3.5.5. | Discussão e Conclusões | 245 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.6 | Avaliação da Vigilância Nacional de Ondas de Calor | 249 |
| 3.6.1. | Introdução..... | 249 |
| 3.6.2. | Resultados..... | 250 |
| 3.6.3. | Estimativas de excesso de mortalidade - Método Directo Simples e Índice-ÍCARO Nacional | 252 |
| 3.6.4. | Estimativas de Excesso de mortalidade - Regressão cíclica | 260 |
| 3.6.5. | Relação entre as diferentes estimativas globais de excesso de mortalidade por período | 264 |
| 3.6.6. | Discussão e Resultados | 267 |
| 3.6.7. | Anexo | 271 |
| 4. | DISCUSSÃO E CONCLUSÕES GLOBAIS | 275 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 1: Fluxograma das actividades subjacentes ao trabalho apresentado nesta dissertação</i> | 21 |
| <i>Figura 2: Esquema síntese dos aspectos metodológicos dos estudos 1 a 3</i> | 25 |
| <i>Figura 3. Esquema síntese dos aspectos metodológicos dos estudos 4 a 6</i> | 26 |
| <i>Figura 4: Esquema da relação entre secções de resultados e as respectivas secções detalhadas de métodos relativos ao conjunto de estudos definidos</i> | 27 |
| <i>Figura 5: Distribuição dos valores dos limiares da temperatura para os 4 modelos</i> | 39 |
| <i>Figura 6. Percentil 97,5% (P97,5) da temperatura tri-horária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental</i> | 60 |
| <i>Figura 7. Percentil 97,5% (P97,5) da temperatura máxima diária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental</i> | 61 |
| <i>Figura 8. Modelação cúbica da evolução diária das temperaturas máximas de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental</i> | 62 |
| <i>Figura 9. Modelação cúbica da evolução diária das temperaturas máximas de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental (continuação)</i> | 63 |
| <i>Figura 10. Distribuição dos valores da temperatura máxima diária observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 1981 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura.</i> | 69 |
| <i>Figura 11. Distribuição dos valores da temperatura máxima observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 1991 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura.</i> | 71 |
| <i>Figura 12. Distribuição dos valores da temperatura máxima observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 2003 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura.</i> | 73 |
| <i>Figura 13. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa, nos períodos das grandes ondas de calor de 1981, 1991 e 2003.</i> | 81 |
| <i>Figura 14. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa para os indivíduos com 65 ou mais anos de idade, nos períodos das grandes ondas de calor de 1981, 1991 e 2003.</i> | 86 |
| <i>Figura 15. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa para os indivíduos com 65 ou mais anos de idade, no período de 1 de Junho a 22 de Agosto de 2003.</i> | 87 |
| <i>Figura 16: Dendograma da Temperatura Máxima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003</i> | 99 |
| <i>Figura 17: Dendograma da Temperatura Mínima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003</i> | 100 |

| | |
|---|------------|
| <i>Figura 18: Dendograma do número de óbitos por “todas as causas” dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003</i> | <i>101</i> |
| <i>Figura 19: Dendograma da Temperatura Máxima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003</i> | <i>102</i> |
| <i>Figura 20: Dendograma da Temperatura Mínima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003</i> | <i>103</i> |
| <i>Figura 21: Dendograma do número de óbitos dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003</i> | <i>104</i> |
| <i>Figura 22: Regiões definidas para construção dos modelos para vigilância e monitorização das ondas de calor</i> | <i>105</i> |
| <i>Figura 23: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>112</i> |
| <i>Figura 24: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003</i> | <i>112</i> |
| <i>Figura 25: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>121</i> |
| <i>Figura 26: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003</i> | <i>122</i> |
| <i>Figura 27: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>129</i> |
| <i>Figura 28: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003</i> | <i>129</i> |
| <i>Figura 29: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>135</i> |
| <i>Figura 30: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003</i> | <i>136</i> |
| <i>Figura 31: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>142</i> |
| <i>Figura 32: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>149</i> |
| <i>Figura 33: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>156</i> |
| <i>Figura 34: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003</i> | <i>163</i> |
| <i>Figura 35. Comparação da previsão do modelo ÍCARO 1999 com o Índice-ÍCARO real observado para o período da onda de calor de 1981.....</i> | <i>177</i> |

| | |
|---|-----|
| Figura 36. Comparação da previsão do modelo ÍCARO 1999 com o Índice-ÍCARO real observado para o período da onda de calor de 1991..... | 178 |
| Figura 37. Relatório do índice-ÍCARO do dia 15 de Julho de 1999 | 184 |
| Figura 38. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de Portugal Continental de 1999 a 2003. | 185 |
| Figura 39. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de do distrito de Lisboa de 1999 a 2003. | 186 |
| Figura 40. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 1999 (detalhe)..... | 187 |
| Figura 41. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2000 (detalhe)..... | 188 |
| Figura 42. Reprodução do boletim Ícaro emitido no dia 15 de Julho de 2000 e Detalhe gráfico dos valores do índice previstos nesse dia | 189 |
| Figura 43. Representação em caixa-de-bigodes da distribuição da mortalidade diária em Portugal no Verão de 2000 | 189 |
| Figura 44. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2001 (detalhe). | 190 |
| Figura 45. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2002 (detalhe)..... | 191 |
| Figura 46. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2003 (detalhe)..... | 191 |
| Figura 47. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de Portugal Continental no período de vigilância do ano de 2003 (detalhe)..... | 192 |
| Figura 48. Relação entre mortalidade diária observada e índice-ÍCARO 1999 de 2000 a 2004, por mês..... | 197 |
| Figura 49. Relação entre mortalidade diária observada e índice-ÍCARO 2005 de 2000 a 2004, por mês..... | 198 |
| Figura 50. Relação entre mortalidade diária observada e a média aritmética dos índices-ÍCARO regionais de 2000 a 2004, por mês | 198 |
| Figura 51. Relação entre mortalidade diária observada e a média ponderada dos índices-ÍCARO regionais de 2000 a 2004, por mês | 199 |
| Figura 52. Índices-ÍCARO regionais e Nacional observados durante 2009..... | 211 |
| Figura 53. Índices-Alerta-ÍCARO regionais e nacional observados relativos ao ano de 2009 | 211 |
| Figura 54. Níveis de Alerta ÍCARO | 213 |
| Figura 55. Índices-ÍCARO regionais da época de vigilância de 2009 apresentados de forma cumulativa..... | 214 |
| Figura 56. Índices-Alerta-ÍCARO regionais relativos à época de vigilância de 2009 com a respectiva definição de níveis de alerta ÍCARO..... | 214 |
| Figura 57. Representação cumulativa da soma cumulativa dos 4 Índices-Alerta-ÍCARO regionais, relativa à época de vigilância de 2009 | 217 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 58. Representação cumulativa da soma cumulativa dos 4 Índices-Alerta-ÍCARO regionais e do índice-Alerta-ÍCARO nacional, relativa à época de vigilância de 2009</i> | 218 |
| <i>Figura 59: Sistema VDM original 2004-2007</i> | 226 |
| <i>Figura 60: Evolução da informação gráfica e quantitativa do sistema VDM original</i> | 230 |
| <i>Figura 61: Vigilância Diária da Mortalidade em 2004 (detalhe)</i> | 231 |
| <i>Figura 62: Vigilância Diária da Mortalidade em 2005 (detalhe)</i> | 231 |
| <i>Figura 63: Vigilância Diária da Mortalidade em 2006 (detalhe)</i> | 232 |
| <i>Figura 64: o novo sistema VDM 2007-actualidade</i> | 234 |
| <i>Figura 65: Dados de mortalidade diários observados e registados pelo Novo sistema VDM (azul) e Índice ICARO (vermelho). As barras verdes correspondem aos períodos de epidemia de gripe e barras amarelas, aos períodos de calor.</i> | 235 |
| <i>Figura 66. Distribuição da prontidão e atraso da inclusão de dados no sistema VDM (em dias) a partir das datas de ocorrência da morte, do seu registo e envio para o sistema, segundo o dia da semana (Dados de 5 de Junho de 2007 a 4 de Junho de 2009)</i> | 237 |
| <i>Figura 67. Distribuição da prontidão e atraso da inclusão de dados no sistema VDM (em dias) a partir das datas de ocorrência da morte, do seu registo e envio para o sistema, segundo o mês da ocorrência do óbito (Dados de 5 de Junho de 2007 a 4 de Junho de 2009)</i> | 239 |
| <i>Figura 68. Representações gráficas dos dados de Mortalidade VDM diários e ajuste dos modelos de regressão cíclica (Janeiro 2007 a Junho 2009) para efeitos de detecção de períodos com excesso de mortalidade, sem definição a priori de eventos, para o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 aos 84 anos e por duas grandes regiões</i> | 240 |
| <i>Figura 69. Representações gráficas dos dados de Mortalidade VDM semanais e ajuste dos modelos de regressão cíclica (Janeiro 2007 a Junho 2009) para efeitos de detecção de períodos com excesso de mortalidade, sem definição a priori de eventos, para o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 ou mais anos e por duas grandes regiões</i> | 241 |
| <i>Figura 70. Ajustamento de modelos de regressão cíclica aos dados de Mortalidade diários (VDM), com períodos de eventos definidos (respectivos dados omitidos no ajuste do modelo), por total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 aos 84 anos e por duas grandes regiões (Janeiro 2007 a Junho 2009)</i> | 243 |
| <i>Figura 71. Ajustamento de modelos de regressão cíclica aos dados de Mortalidade diários (VDM), agregados por semana, com períodos de eventos definidos (respectivos dados omitidos no ajuste do modelo), por o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75+ anos e por duas grandes regiões (Janeiro 2007 a Junho 2009)</i> | 244 |
| <i>Figura 72. Evolução da mortalidade diária, linha de base e respectivo limite superior de 95% de confiança, períodos de calor, períodos de actividade gripal e índice ÍCARO nacional (2007-2009)</i> | 250 |

| | |
|--|------------|
| <i>Figura 73. Matriz de diagramas de dispersão entre estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso predito pelo Índice-ÍCARO Nacional</i> | <i>266</i> |
| <i>Figura 74. Mortalidade por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>271</i> |
| <i>Figura 75. Mortalidade Masculina por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>271</i> |
| <i>Figura 76. Mortalidade Feminina por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>271</i> |
| <i>Figura 77. Mortalidade no grupo etário 0-44 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>272</i> |
| <i>Figura 78. Mortalidade no grupo etário 45-64 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>272</i> |
| <i>Figura 79. Mortalidade no grupo etário 65-74 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>272</i> |
| <i>Figura 80. Mortalidade no grupo etário 75-84 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>272</i> |
| <i>Figura 81. Mortalidade no grupo etário 85+ por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>273</i> |
| <i>Figura 82. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Norte entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>273</i> |
| <i>Figura 83. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Centro entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>273</i> |
| <i>Figura 84. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região de Lisboa entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>273</i> |
| <i>Figura 85. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Alentejo entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)</i> | <i>274</i> |

Figura 86. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Algarve entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)274

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|------------|
| <i>Tabela 1. Esquematização das opções feitas para a realização e teste dos modelos regionais.</i> | <i>44</i> |
| <i>Tabela 2. Períodos de actividade gripal potencialmente associadas ao excesso de mortalidade</i> | <i>47</i> |
| <i>Tabela 3. Períodos de calor potencialmente associados a excesso de mortalidade</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabela 4. Resumo da distribuição das temperaturas do ar por semana em Lisboa (1981 to</i> <i>2000)</i> | <i>58</i> |
| <i>Tabela 5. Estimativas dos limiares teóricos da temperatura do ar em Lisboa</i> | <i>59</i> |
| <i>Tabela 6. Estimação dos parâmetros do modelo cúbico do limite superior do intervalo de</i> <i>confiança de 95% para a temperatura máxima diária por distrito e no total dos</i> <i>distritos</i> | <i>65</i> |
| <i>Tabela 7. Resultados do ajustamento do modelo Ícaro, construído em 1999.</i> | <i>76</i> |
| <i>Tabela 8. Avaliação do modelo ÍCARO que suporta o sistema de vigilância, implementado em</i> <i>1999, para o total de óbitos nos meses de Junho a Agosto.</i> | <i>77</i> |
| <i>Tabela 9. Avaliação do modelo ÍCARO que suporta o sistema de vigilância, implementado em</i> <i>1999, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro.</i> | <i>77</i> |
| <i>Tabela 10. Exemplo de diferença entre as variáveis de sobre carga térmica $STA_t(\tau)$ e $STAG_t(\tau)$</i> <i>)</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabela 11. Resultados do ajustamento dos modelos aos dados de 1981, 1991 e 2003: estimativas</i> <i>dos parâmetros para a mortalidade diária total, com Sobrecarga Térmica</i> <i>Acumulada Generalizada.</i> | <i>79</i> |
| <i>Tabela 12. Avaliação dos modelos, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro,</i> <i>considerando o Limiar de valor 71,5</i> | <i>82</i> |
| <i>Tabela 13. Avaliação dos modelos, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro,</i> <i>considerando o limiar de valor 88</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabela 14. Resultados do ajustamento dos modelos aos dados de 1981, 1991 e 2003:</i> <i>estimativas dos parâmetros para óbitos de indivíduos com idade ≥ 65 anos, com</i> <i>Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada</i> | <i>84</i> |
| <i>Tabela 15. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos,</i> <i>considerando os meses de Maio a Setembro e o Limiar de valor 56,5</i> | <i>88</i> |
| <i>Tabela 16. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos,</i> <i>considerando os meses de Maio a Setembro e o Limiar de valor 73</i> | <i>89</i> |
| <i>Tabela 17. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos,</i> <i>considerando apenas os meses de Maio e Setembro e o Limiar de valor 55</i> | <i>90</i> |
| <i>Tabela 18. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos,</i> <i>considerando apenas os meses de Maio e Setembro e o Limiar de valor 70.</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabela 19. Correlações do total de óbitos por grupo (região) com a temperatura máxima e</i> <i>mínima do ar, nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003</i> | <i>107</i> |

| | |
|---|-----|
| Tabela 20. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo I e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 110 |
| Tabela 21. Avaliação da qualidade do ajustamento para os Modelos do Grupo I, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 111 |
| Tabela 22. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 117 |
| Tabela 23. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação) | 118 |
| Tabela 24. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo II, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 119 |
| Tabela 25. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 125 |
| Tabela 26. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação) | 126 |
| Tabela 27. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo III, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 127 |
| Tabela 28. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo IV e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 133 |
| Tabela 29. Avaliação da qualidade do ajustamento para os Modelos do Grupo IV, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 134 |
| Tabela 30. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo I e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 140 |
| Tabela 31. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo I, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 141 |
| Tabela 32. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 146 |
| Tabela 33. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)..... | 147 |
| Tabela 34. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo II, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 148 |
| Tabela 35. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 153 |
| Tabela 36. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)..... | 154 |
| Tabela 37. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo III, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 155 |
| Tabela 38. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo IV e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} | 160 |
| Tabela 39. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo IV, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos | 162 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 40. Resumo das características dos modelos regionais testados para a mortalidade total (todos os grupos etários) | 171 |
| Tabela 41. Resumo das características dos modelos regionais testados para a mortalidade total (Grupo etário 75 ou mais anos)..... | 172 |
| Tabela 42. Parâmetros de avaliação da relação entre mortalidade diária observada e propostas para índices-ÍCARO nacional, considerando limiares de mortalidade em Portugal Continental de 285 e 300 óbitos | 200 |
| Tabela 43. Estatísticas descritivas da mortalidade esperada na ausência de calor segundo os grupos de distritos, para Portugal Continental e para Portugal..... | 203 |
| Tabela 44. Variação da mortalidade diária esperada na ausência de calor (intervalo de confiança) e respectivos limites de índice-ÍCARO (intervalo de 95% dos valores mais frequentes e intervalo de confiança a 95%) por grupos de distritos, Portugal Continental e Portugal..... | 204 |
| Tabela 45. Definição de limiares de alarme para um qualquer índice-ÍCARO por grupos de distritos, Portugal Continental e Portugal..... | 204 |
| Tabela 46. Comparação dos limites e variações dos índices-ÍCARO observados e os respectivos valores teóricos (usando a distribuição de Poisson e aproximação à distribuição normal) | 208 |
| Tabela 47. Índices-Alerta-ÍCARO relativos à época de Vigilância ÍCARO de 2009, e respectivas estimativas de excesso de mortalidade usando a propriedade 6 (enunciada na página 211)..... | 219 |
| Tabela 48. Número de óbitos registados no Sistema VDM partir de 2006 até Junho de 2009: total, por sexo, por faixa etária e por região de registo da morte. | 236 |
| Tabela 49. Períodos de calor identificados | 251 |
| Tabela 50. Períodos de calor e estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples e excesso predito pelo Índice-ÍCARO Nacional | 252 |
| Tabela 51. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo o sexo | 254 |
| Tabela 52. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo o grupo etário | 256 |
| Tabela 53. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo a Região (de registo do óbito)..... | 258 |
| Tabela 54. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor ... | 261 |
| Tabela 55. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor segundo o sexo | 262 |
| Tabela 56. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor segundo o grupo etário | 263 |
| Tabela 57. Períodos de calor e estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso predito pelo Índice-ÍCARO Nacional..... | 264 |

Tabela 58. Matriz de correlações entre estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso previsto pelo Índice-ÍCARO Nacional 265

SIGLAS E ACRÓNIMOS

CRC - Conservatórias do Registo Civil

DGS - Direcção Geral da Saúde.

EXC - Excesso de calor (temperatura observada no dia t - temperatura limiar do dia t). Variável criada para modelar o risco de impacto do calor na mortalidade.

ILI - Influenza Like Illness.

IM - Instituto de Meteorologia.

Índice do tipo ÍCARO - índice resultante da aplicação do conceito índice-ÍCARO.

Índice-Alerta-ÍCARO - índice do tipo-ÍCARO definido de forma independente do número médio de óbitos a que se refere.

Índice-ÍCARO - que relacionava mortalidade prevista com impacto de calor com mortalidade esperada sem impacto de calor [(mortalidade observada durante a ocorrência de calor / mortalidade esperada no mesmo período na ausência da ocorrência de calor) - 1]

INE - Instituto Nacional de Estatística

INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge

IRN - Instituto dos Registos e Notariado

ITIJ - Instituto das Tecnologias de Informação na Justiça

Limiar I - limiar de temperatura (32°C) fixo usado nos modelos-ÍCARO para o distrito de Lisboa.

Limiar II - Limiar de temperatura que combina duas temperaturas (32°C e 35°C) por partes. Limiar usado nos modelos-ÍCARO para o distrito de Lisboa.

Limiar III - Limiar de temperatura que combina três segmentos de recta que aproximam o comportamento habitual da temperaturas durante o Verão. Limiar usado nos modelos-ÍCARO para o distrito de Lisboa.

Limiar IV - Limiar de temperatura que combina três segmentos de recta sem decréscimo) adapta as ideias do Limiar II e III em simultâneo). Limiar usado nos modelos-ÍCARO para o distrito de Lisboa.

Modelo R I - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981, 1991 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada generalizada (STAG), considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R II - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de STAG, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R III - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981, 1991 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de STA e STAG, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R IV - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis STA e STAG, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R V - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de STA e STAG, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), do distrito mais representativo de cada região definido como o distrito cuja temperatura apresentava a melhor correlação com as dos restantes distrito do grupo

Modelo R VI - Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis STA, STAG e EXC considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

NUTS - Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal (Numenclature of Territorial Units for statistics)

PASW Statistics - Predictive Analytics SoftWare Statistics (nome do pacote estatístico SPSS na versão 18)

Plataforma R - R é um ambiente de software aberto para análises estatísticas e gráficos (www.r-project.org)

RR - Rate ratio (razão de taxas).

Sistema VDM - o mesmo que VDM

SPSS - Statistical Package for Social Sciences

Tau1 - Indica o Limiar I.

Tau2 - Indica o Limiar II.

Tau3 - Indica o Limiar III.

Tau4 - Indica o Limiar IV.

Tmax - Temperatura máxima.

<Página em branco>

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de um grande número de pessoas às quais estou eternamente grato e reconheço que palavras algumas serão suficientes para reconhecer o seu contributo para o meu chegar a bom porto.

O meu agradecimento ao meu orientador Professor Doutor Paulo Ferrinho é incomensurável. Estou grato por me ter simplificado o caminho e dado sempre um resposta pronta em tudo o que se relacionou com este trabalho.

Ao Professor Doutor José Pereira Miguel, presidente do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, I.P. (INSA), agradeço o apoio quer como funcionário do INSA (que fui até Maio de 2010), quer como colaborador e assistente da Faculdade de Medicina de Lisboa.

Estou para sempre agradecido ao Dr. José Carlos Marinho Falcão, meu mestre desde a primeira hora. Foi uma honra e um privilégio ter trabalhado consigo 16 anos, na maior parte dos quais pensámos, reflectimos e trabalhámos na temática desta dissertação. Este tema foi-me apresentado por si e será sempre nosso. Gosto de pensar que esta tese também é sua, sei que tem código genético seu e quero acreditar que tem alguma da elegância daquela que teria se tivesse por si sido feita e defendida.

Estou grato ao Dr. Carlos Matias Dias que me concedeu oportunidade de trabalhar nesta dissertação quando era membro da sua equipa no Departamento de Epidemiologia do INSA. O Estudo 6 desta dissertação contou com a sua indelével colaboração. Um eterno bem-haja.

Ao Dr. Baltazar Nunes estou também imensamente agradecido. Também dele é esta dissertação, na verdade creio que não é possível discernir onde começam e acabam as minhas e as suas ideias no trabalho desta dissertação fruto dos anos que trabalhámos lado a lado. Creio que existirá justeza em dizer que foram aqui exploradas ideias nossas apenas maioritariamente, quiçá, executadas por mim.

À Dra. Eleonora Paixão agradeço muito do trabalho que desenvolveu ao longo dos anos no âmbito do Projecto ÍCARO. Os estudos 2 e 3 desta dissertação contaram com muito do seu trabalho, estou grato pelo seu profissionalismo e feliz por ter podido contar com a sua inesgotável capacidade de trabalho.

Estou profundamente agradecido à Dra. Ausenda Machado com quem foi um privilégio trabalhar ao longo de vários anos. Estou particularmente agradecido pelo apoio na realização do Estudo 5.

Ao Dr. Emanuel Rodrigues agradeço ter sido meu companheiro de muitos empreendimentos científicos que muitas alegrias nos deram. Na recta final desta dissertação estou imensamente grato pelo excelente apoio que deu na concretização do estudo 5.

Ao Dr. Luís Sousa agradeço ter-se sempre entendido comigo desde que fui ter com ele com aquele estranho problema de base de dados que pôs a certa altura em causa o sistema de vigilância ÍCARO, descrito no estudo 5. Desde então fui sempre um privilegiado por ter facilitado o meu trabalho na obtenção dos dados o que muito beneficiou o trabalho aqui apresentado.

Estou grato a todos os elementos do Departamento de Epidemiologia do INSA. A todos sem excepção por me terem acompanhado e ajudado mesmo quando já não me podiam ouvir mais falar de ondas de calor.

À Dra. Sofia Amador agradeço o apoio bibliográfico. Durante anos estive atenta a tudo o que se foi publicando sobre ondas de calor e fazendo chegar-me.

Este trabalho beneficiou de uma colaboração estreita que existiu desde 1998 entre o INSA e o Instituto de Meteorologia. Sem o apoio e a colaboração de muitos profissionais do IM este trabalho não poderia ter o fôlego que tem. Estou muito agradecido à Dra. Teresa Abrantes, à Dra. Clara de Freitas, à Dra. Fátima Espírito Santo, ao Professor Pedro Viterbo e ao Dr. Adérito Serão.

À Professora Doutora Luzia Gonçalves agradeço o privilégio de ter feito parte da minha comissão tutorial e todo o apoio que me deu. Tenho que agradecer desmedidamente o hercúleo trabalho que teve com a leitura da primeira versão pretensamente completa desta dissertação.

Ao Professor Doutor José Calheiros agradeço o privilégio de ter feito parte da minha comissão tutorial, todo o apoio que me deu e o ter-me incentivado, em todos os momentos, para levar esta dissertação até à sua conclusão.

Ao meu amigo Dr. José Luís Sapateiro agradeço todo o incondicional apoio. Não esquecerei nunca a sua vontade e capacidade de ajudar. Obrigado pela leitura que fez deste trabalho numa fase ainda precoce e por isso particularmente penosa, foi uma ajuda muito importante. Espero ter capacidade de retribuir a alguém da mesma forma quando tiver a sua idade.

Agradeço também o companheirismo, apoio e incentivo dos COPINS (COmunidade Prática de Investigação em Saúde) sem os quais o meu caminho teria sido muito mais difícil.

<Página em branco>

RESUMO

Introdução: A ocorrência de ondas de calor, que se verifica com alguma frequência em Portugal Continental, é reconhecida como um problema de saúde pública. É sabido que as ondas de calor têm um grande impacto em Portugal em termos de mortalidade, estando por esclarecer de forma conclusiva o que se passa em termos de morbilidade. Muitos estudos apontam as consequências das ondas de calor e um número razoável aponta medidas a tomar no caso de ocorrência de ondas de calor de forma a minorar os seus efeitos. No entanto, a quantidade de estudos que propõem metodologias concretas, como modelos de previsão e sistemas de vigilância validados para as ondas de calor, é escassa o que limita a definição de políticas e de estratégias de intervenção.

Objectivos: O presente trabalho destinou-se a: definir e construir modelos da relação entre a ocorrência de diferentes níveis de calor e o respectivo impacto em termos de mortalidade; propor e testar metodologias de medição do impacto de ondas de calor na mortalidade; estabelecida capacidade de previsão e de mensuração dos impactos, a procurar o estabelecimento e a definição de um esquema de vigilância nacional dos períodos de excesso de calor e de mecanismos de vigilância da mortalidade de forma a permitir desenvolver respostas adequadas ao desafio de saúde pública que é o fenómeno das ondas de calor.

Material e Métodos: Para este trabalho foram usados números diários observados de mortalidade e de condições climáticas. Os dados de mortalidade tiveram duas fontes: a base de dados de mortalidade do Instituto Nacional de Estatística (INE), e dados de registos de óbito feito pelas Conservatórias do Registo Civil (CRC) do Instituto dos Registos e Notariado (IRN), geridos pelo Instituto das Tecnologias de Informação na Justiça (ITIJ). Para o efeito, foram considerados dados de mortalidade diária por “todas as causas” desde 1981 até à actualidade. Os dados de condições ambientais foram disponibilizados pelo Instituto de Meteorologia, consistindo em dados de temperaturas, mínimas, máximas e médias diárias e, ainda, temperaturas tri-horárias, de 1981 até à actualidade.

Para alcançar os objectivos estabelecidos delineou-se um conjunto de seis estudos sequenciais:

1. Estudo da distribuição das temperaturas do ar do distrito de Lisboa e em Portugal Continental;
2. Construção de modelos de previsão de mortalidade para o Distrito de Lisboa com base nas temperaturas do ar;
3. Construção de modelos regionais de previsão da mortalidade associada ao calor;
4. Construção de um índice-ÍCARO nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor;
5. Construção de um sistema de vigilância diária da mortalidade em Portugal; e,
6. Avaliação da vigilância nacional de ondas de calor.

No que respeita a métodos: procedeu-se ao estudo da distribuição das temperaturas ao longo do período de Maio a Setembro e no espaço geográfico de Portugal continental (estudo 1); definiram-se novas propostas para a medição do impacto das ondas de calor na mortalidade e na morbidade (estudos 2, 3 e 6); elaboraram-se novos Modelos de Regressão Linear Múltipla, usando o pacote estatístico SPSS/PASW Statistics (versões 15 a 18) e a plataforma R (estudos 2 e 3); e implementaram-se Sistemas de Vigilância de Ondas de Calor (integrando os modelos de previsão regionais obtidos, definições e propriedades de índices definidos) (estudo 4) e de mortalidade a nível nacional (estudo 6); a avaliação do sistema de vigilância de ondas de calor nacional foi feita usando os dados de mortalidade de 2007 a 2009 (estudo 6), consistindo na análise detalhada dos períodos de calor identificados pelo sistema de vigilância de ondas de calor no Verão do ano de 2009, no cálculo dos respectivos excessos de mortalidade usando o sistema de vigilância diário da mortalidade portuguesa e na discussão das múltiplas estimativas de excesso de mortalidade obtidas.

Resultados:

Do trabalho desenvolvido os principais resultados foram a obtenção de modelos de previsão da mortalidade associada à ocorrência de calor para o distrito de Lisboa, por regiões (conjuntos de distritos) e para as respectivas populações

mais idosas com boas características estatísticas – bons níveis de ajustamento aos dados subjacentes –, e boas qualidades de identificação de níveis moderados e muito elevados de mortalidade no conjunto de 23 anos (1981 a 2003, 8399 dias), donde se destacam elevados valores de especificidade; valores de sensibilidade que podem ser considerados óptimos; e valores muito elevados de probabilidade correcta de decisão, isto é, com probabilidade de afirmar correctamente que um dia é, ou não é, um dia com excesso de mortalidade, na ordem dos 99,5%.

Foram feitos contributos, muito específicos, para a modelação dos impactos das ondas de calor na mortalidade: a definição da variável *Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada* (STAG) com *limiar dinâmico de temperatura* resultou particularmente bem para a previsão da mortalidade associada ao calor na região de Lisboa, estabelecendo uma ponte entre uma hipótese de adaptação gradual das populações ao aumento progressivo das temperaturas ao longo do Verão e as referências na literatura que indicam maiores impactos de ondas de calor de acordo com a sua precocidade no Verão; o estabelecimento de modelos de previsão regionais trouxe também conhecimentos adicionais importantes como a definição clara de que o uso das temperaturas de todos os distritos da região é preferível a uma única temperatura de referência, que o uso de múltiplos limiares fixos de temperatura por região é uma solução exequível, que as variáveis sobrecarga térmica acumulada (generalizada e não generalizada) demonstram importância também ao nível regional; verificou-se ainda que a definição de modelos para a mortalidade do grupo etário dos 75 ou mais anos, não indicou diferenças substanciais para o racional obtido para a mortalidade total, observou-se que os modelos tenderam a ser um pouco mais explicativos, ligeiramente menos complexos, com eventuais necessidades de diferentes limiares de temperatura, mas globalmente com a mesma capacidade de assinalar correctamente um dia de Verão como sendo ou não um dia de onda de calor.

Foi demonstrada a possibilidade de estabelecer um sistema de vigilância de ondas de calor de âmbito nacional, com base em modelos de previsão estabelecidos para quatro regiões (conjuntos de distritos contíguos) definidas com base nas proximidades estatísticas das temperaturas máximas e mínimas dos distritos e nos respectivos números de óbitos por “todas as causas”, e num

único índice que sumariza os resultados dos diferentes modelos de previsão para as regiões.

Cada um dos estudos levado a cabo respondeu a um conjunto de objectivos específicos cujos resultados foram sumariamente os seguintes:

Estudo 1 - Estudo da distribuição das temperaturas do ar do distrito de Lisboa e em Portugal Continental

- Foram definidos limiares teóricos para as temperaturas do ar cuja média aritmética nas semanas de 18 a 40 do ano civil rondou os 31°C.
- As temperaturas de Verão têm um padrão bem definido ao longo das semanas. As temperaturas aumentam até por volta das semanas 30-32 e voltam a decrescer posteriormente ao longo do término do período de Verão.
- Com base na distribuição geográfica (por distritos) dos percentis de 97,5% das temperaturas por distrito verificou-se que no Verão (de Maio a Setembro) Portugal apresenta um gradiente Norte-Sul, com Sul a tender ser mais quente (com a zona costeira do Algarve a escapar a esta tendência), e um gradiente Litoral-Interior, onde o litoral tende a ser mais “fresco” que o Interior.
- As temperaturas de todos os distritos de Portugal Continental demonstraram ser matematicamente modeláveis da mesma forma.

Estudo 2 - Construção de modelos de previsão de mortalidade para o Distrito de Lisboa com base nas temperaturas do ar

- Foram apresentadas e discutidas quatro propostas de limiares, construídos com base nas temperaturas do ar de Lisboa, para o estabelecimento de níveis de risco de impacto o calor na mortalidade. Estas propostas introduziram o aspecto novo de considerar limiares dinâmicos (com variação ao longo de período de tempo entre Maio e Setembro).
- Foram estudadas as propriedades do modelo para relação calor-mortalidade previamente estabelecido em Portugal. A adaptação deste modelo para a metodologia adoptada nesta dissertação mostrou que o

modelo já dispunha de boas propriedades estatísticas com um R^2 -ajustado de 50,8%, porém sem normalidade dos resíduos (diferença entre valores de mortalidade observada e prevista pelo modelo).

- Mostrou-se a diferença conceptual entre a nova variável STAG e a variável Sobrecarga Térmica Acumulada (STA) que já existia anteriormente.
- Foram estabelecidos, usando Regressão linear múltipla, quatro modelos que incluíram limiares de temperatura fixos (modelo I) e dinâmicos (modelos II a IV), incluíram as variáveis STA e STAG para a mortalidade “todas as causas” de toda a população (todas as idades).
- Foram estabelecidos, de igual modo, quatro modelos similares para a mortalidade “todas as causas” da população com 65 ou mais anos de idade que mostraram ter as mesma características e ligeiramente melhores valores de ajustamento aos dados.
- Foram também investigados os mesmos modelos restringindo os dados aos meses de Maio e Setembro na procura de identificar pistas que indicassem o melhor limiar dinâmico. Verificou-se que mesmo na ausência dos meses com as grandes ondas de calor e os respectivos impactos na mortalidade as mesmas características emergiam nesta abordagem.
- Verificou-se que os modelos apresentaram coeficientes de ajustamento entre 50% (limiar fixo) e 68,9% (limiares dinâmicos).
- Os modelos com limiar dinâmico com crescimento gradual no princípio do Verão começando nos 29°C e aumentando semanalmente 1°C até atingir 35°C (modelo IV) mostraram ter o melhor ajustamento. Este facto é compatível com uma adaptação a curto-prazo dos indivíduos à evolução de aumento das temperaturas ao longo do Verão.
- O modelo IV mostrou ter elevados valores de especificidade (acima de 99%), elevados valores preditivos negativos (acima de 99%) e elevada probabilidade correcta de indicação de excesso de mortalidade apenas com base nas temperaturas do ar (99,7%).

Estudo 3 - Construção de modelos regionais de previsão da mortalidade associada ao calor

- Com base nas temperaturas máximas e mínimas do ar e da mortalidade “todas as causas” por distrito foram estabelecidas quatro regiões (conjuntos de distritos contíguos) homogêneas.
- Foi definida uma temperatura de referência para cada região consistindo esta na temperatura do distrito que apresentava melhor correlação com as temperaturas de todos os restantes distritos do grupo.
- Foram estudados seis modelos para cada região para a mortalidade “todas as causas” de todos os grupos etários. E, foram estudados os mesmos seis modelos para cada região para a mortalidade “todas as causas” de todos dos indivíduos com 75 ou mais anos de idade. Globalmente observou-se:
 - Todos os modelos obtidos se constituíram válidos para a relação entre ocorrência de calor e a mortalidade;
 - O modelo regional que ensaiava o uso da temperatura do ar de apenas um dos distritos (temperatura referência) – modelo R V - mostrou ser o menos adequado;
 - Os melhores modelos regionais obtidos incluíram sempre as temperaturas da maioria ou de todos os distritos da respectiva região;
 - Todos os modelos incluíram as variáveis STA e STAG do próprio dia e do dia anterior;
 - Todos os modelos incluíram os limiares fixos de 32°C e 35°C;
 - Todos os modelos apresentaram valores elevados de especificidade;
 - Todos os modelos apresentaram ótimos valores de sensibilidade;
 - Todos os modelos revelaram muito bons valores de decisão correcta (acima de 99%) com o modelo R I – modelo que incluiu informação das grandes ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, dois limiares fixos de temperatura 32°C e 35°C, as temperaturas de todos os distritos e as variáveis STA, STAG e EXC (excesso de temperatura do dia) – a deter maioritariamente os valores das estatísticas de avaliação dos modelos mais elevados.

Estudo 4 - Construção de um índice-ÍCARO nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor

- Foi formalmente definido o conceito de Índice-ÍCARO (definição que já existia e que relacionava mortalidade prevista com impacto de calor com mortalidade esperada sem impacto de calor) e obtidas formalmente, pela primeira vez, um conjunto das respectivas propriedades.
- Definiu-se um sistema de vigilância de ondas de calor e discutiram-se os aspectos positivos e negativos de um sistema baseado apenas numa cidade (Lisboa) com base na experiência empírica de 1999 a 2003.
- Para estabelecer um sistema de vigilância de períodos de calor verdadeiramente nacional fazendo uso dos modelos de previsão regionais obtidos procurou-se a definição de um Índice-ÍCARO nacional que sintetizasse o verdadeiro risco nacional de observar impacto na mortalidade devido à ocorrência de calor. Este índice-ÍCARO nacional foi estabelecido como a média ponderada dos quatro índices-ÍCARO regionais com as ponderações feitas usando a população residente de cada região.
- Foi definido um enquadramento genérico de interpretação dos índices do tipo-ÍCARO de forma a permitir uma interpretação uniformizada do potencial de risco associado à ocorrência de calor, entre todos os actores envolvidos na vigilância de ondas de calor, a que se chamou Índice Alerta-ÍCARO. Também se fez uma sistematização formal das respectivas propriedades. Este novo enquadramento uniforme de interpretação dos índices-ÍCARO relativos ao risco de mortalidade associado à ocorrência de calor, revelou-se de grande utilidade, tendo sido adoptado no documento do Plano de Contingência de Ondas de Calor de 2010 na definição dos respectivos níveis de alerta num período de tempo de menos de um mês (entre a sua primeira apresentação em contexto do lançamento da componente técnica da vigilância das ondas de calor e publicação do documento por parte da Direcção Geral da Saúde).

Estudo 5 - Construção de um sistema de vigilância diária da mortalidade em Portugal

- Foi descrito e apresentado o sistema de vigilância diária da mortalidade Portuguesa (VDM), e mostradas as respectivas potencialidades, em particular no que respeita à sua capacidade de detecção e confirmação de fenómenos com impacto na mortalidade diária e semanal, onde se incluem as ocorrências de calor elevado ou ondas de calor.

Estudo 6 - Avaliação da vigilância nacional de ondas de calor.

- Foi feita a avaliação do teste dos modelos estabelecidos, levada a cabo de 2006 a 2009, através da vigilância das ondas de calor (sistema de vigilância ÍCARO), para tal contando com a informação do sistema de vigilância diária da mortalidade (VDM). A avaliação dos modelos e dos respectivos Índices-ÍCARO cingiu-se ao ano de 2009 por haver necessidade de dispor de dados de mortalidade de referência que também foram gerados pelo sistema VDM. Assim, verificou-se:
 - Os modelos e os respectivos índices identificam períodos de calor associados à existência de mortalidade para além da esperada;
 - O sistema de vigilância de períodos de calor com potenciais impactos na saúde humana, apoiado nos modelos desenvolvidos, permite identificar impactos na mortalidade de todas as magnitudes (desde apenas de cerca de uma dezena de óbitos até às centenas ou milhares), com capacidade de revelar as heterogeneidades das ondas de calor ou das regiões onde elas ocorrem, e mostrou-se particularmente sensível a detectar situações limiares de ocorrência de calor, capacidade que não estava anteriormente demonstrada;
 - A magnitude do excesso de mortalidade associada ao calor definida *a priori* pelos índices-ÍCARO mostrou-se associada à dos respectivos excessos definidos *a posteriori* por outras metodologias;
 - Foram usados dois métodos para determinar excessos de mortalidade: um método de comparação directa da mortalidade de períodos homólogos e equivalentes, e outro usando regressão cíclica – verificando-se que o primeiro gerou sempre estimativas, e estas foram sempre consistentes, enquanto o método de regressão apresentou

fragilidades quando o número médio de óbitos diários em análise foi baixo, mas resultados particularmente robustos quando apreciada a mortalidade total;

- Os resultados de excesso de mortalidade identificados no ano de 2009, ano cujo Verão foi percebido como moderado, mostraram-se relevantes do ponto de vista da saúde pública, o que aconselha que a tomada de medidas apropriadas para mitigação dos efeitos nefastos do calor não deve esperar por grandes períodos de calor.

Conclusões: Os modelos de previsão desenvolvidos e estudados nesta dissertação mostraram-se consistentes e evidenciaram capacidade de previsão, consubstanciada na identificação de pequenos impactos na mortalidade da população devidos à ocorrência de calor (capacidade não previamente identificada noutros trabalhos), permitindo estabelecer um sistema de vigilância de períodos de calor com potencial nefasto na saúde da população portuguesa de verdadeiro âmbito nacional, e havendo, em consequência, motivado e incentivado já a criação de um sistema de vigilância da mortalidade com grande potencial de observação atempada dos fenómenos que a afectam e o desenvolvimento inerente da sua investigação.

Assim, os resultados desta dissertação, que consistiram em modelos adequados de previsão, em índices que permitem melhor comunicação e percepção do risco, no estabelecimento amplo e global de vigilância de ondas de calor ao nível nacional e na existência complementar de um sistema rápido de vigilância da mortalidade constituem contributos importantes para o conhecimento dos impactos da ocorrência de calor na saúde humana que podem contribuir para a melhor definição das respectivas políticas de saúde.

Palavras-chave: Ondas de calor, modelos, previsão, vigilância, mortalidade, políticas de saúde

SUMMARY

Introduction: The occurrence of heat waves, which happen with some frequency in mainland Portugal, is recognized as a public health problem. It is known that heat waves have a big impact in Portugal in terms of mortality, being unclearly conclusive what is happening in terms of morbidity. Many studies show the effects of heat waves and a reasonable number points out which measures to take in case of occurrence in order to mitigate their effects. However, the amount of studies that have proposed specific methodologies, such as predictive models and validated surveillance systems for heat waves, is scarce limiting the definition of policies and of intervention strategies.

Objectives: the present work was designed to: define and build models for the relationship between the occurrence of different levels of heat and their impact on mortality; to propose and test methodologies for measuring the impact of heat waves on mortality; after having prediction and measurement of impacts capacity, to seek the establishment and the definition of a national surveillance scheme for periods of excessive heat and mortality surveillance mechanisms to enable developing appropriate responses to public health challenge that is the phenomenon of heat waves.

Methods: For this work we used daily numbers of observed mortality and weather conditions. Mortality data had two sources: the mortality database from the National Statistics Institute (Statistics Portugal), and data from death registrations made by the Civil Registry Office (CRO) of the Institute of Registration and Notary (IRN), managed by Institute of Information Technologies in Justice (ITIJ). Thus, daily mortality data for "all causes" since 1981 until the present were considered. Data on environmental conditions were provided by the Meteorological Institute, consisting of temperature data, minimum, maximum and average daily and also three-hourly temperatures from 1981 to the present.

To achieve the objectives a set of six sequential studies was designed:

1. Study of the distribution of air temperatures of the Lisbon district and of Portugal Mainland;

2. Construction of predictive models of mortality for the District of Lisbon based on air temperatures;
3. Construction of regional predictive models for heat associated mortality;
4. Construction of a national ICARO-index and definition of a national heat waves surveillance system;
5. Construction of a daily mortality surveillance system in Portugal; and,
6. Evaluation of the implemented national heat waves surveillance system.

In what regards methods: was performed the study of the distribution of temperatures over the time period from May to September and in the geographical area of mainland Portugal (study 1), new proposals to measure the impact of heat waves in mortality and morbidity were defined (studies 2, 3 and 6), new Multiple Linear Regression models were elaborated using the SPSS/SPSS Statistics (Versions 15 to 18) and R-project platform (studies 2 and 3); and national level Surveillance Systems for Heat Waves (integrating regional forecasting models obtained, definitions and properties of the indexes defined) (study 4) and for mortality (study 6) were implemented, the evaluation of the national heat waves surveillance system was performed using mortality data from 2007 to 2009 (study 6), consisting of the detailed analysis of the periods of heat identified by the system during the summer of 2009, in the calculation of their excess mortalities using the Portuguese daily mortality surveillance system of and in the discussion of multiple obtained excess mortality estimates.

Results:

From the developed work the main results were the definition of heat related mortality predictive models for the district of Lisbon, by regions (clusters of districts) and for their older populations with good statistical characteristics - good levels of goodness of fit to data - and good identification of moderate to very high mortality levels in the range of 23 years (1981 to 2003, 8399 days), where high specificity, optimal sensitivity, and very high probability of correct decision (i.e. likelihood of correctly saying that a day is or is not a day with excess mortality was around 99.5%) values were obtained.

Very specific contributions were made, for modeling heat waves' impacts on mortality: the definition of variable *Generalized Accumulated Thermal*

Overcharge (GATO) with dynamic temperature threshold resulted particularly well for predicting the heat-related mortality in the region Lisbon, establishing a bridge between the hypothesis of gradual adaptation of populations to the steady increase in temperatures throughout the summer and the references in the literature that indicate major impacts of heat waves in early summer; the definition of regional prediction models also brought some additional important knowledge as was the clearly defining that the use of temperatures of all districts of the region is preferable to a single reference temperature, that the use of multiple fixed temperature thresholds for the region is a feasible solution, that accumulated thermal overcharge variables (generalized and non-generalized) show significance at regional level too; it was found that the definition of models for the mortality of the age group of 75 or more years, indicated no substantial differences for the ratios obtained for total mortality, it was observed that the models tended to be a little more explanatory, slightly less complex, with possible needs for different temperature thresholds, but overall the same ability to properly mark a day of summer as being or not a heat wave day.

The possibility of establishing a surveillance system for heat waves nationwide was demonstrated, based on prediction models established for four regions (sets of contiguous districts) based on statistical proximities of maximum and minimum temperatures in the respective districts and of numbers of “all causes” deaths, and in a single index that summarizes the results of different forecasting models for the regions.

Each of the studies conducted answered a specific set of objectives whose results were, briefly, as follows:

Study 1 - Study of the distribution of air temperatures of the Lisbon district and of Portugal Mainland

- Theoretical air temperatures thresholds were defined, arithmetic mean for weeks 18 to 40 of the calendar year was around 31°C.
- Summer temperatures have a well-defined pattern along the summer weeks. Temperatures increase until around weeks 30-32 and decrease over the summer end period.

- Based on the geographic distribution (by districts) percentiles of 97.5% of the temperatures by district showed that in summer (May to September) Portugal has a North-South gradient, where South tend to be hotter (with the Algarve's coastline escaping this trend), and a gradient Coast-Interior, where the shore tends to be fresher than the Interior.
- It was proved that air temperature's evolutions of all Portuguese districts are mathematically modeled in the same manner.

Study 2 - Construction of mortality predictive models for the District of Lisbon based on air temperatures

- Were presented and discussed four thresholds proposals for the definition of risk levels of heat impact on mortality, constructed with the air temperatures of Lisbon. These proposals have introduced the new feature of considering dynamic thresholds (changing over the time period between May and September).
- The properties of the model for heat-mortality relationship previously established in Portugal were studied. The adaptation of this model for the methodology adopted in this dissertation showed that the model already had good statistical properties with an R^2 -adjusted of 50.8%, but without normality of residuals (difference between values observed mortality and predicted by the model).
- The conceptual difference between the new variable GATO and the variable Accumulated Thermal Overcharge (ATO) that previously existed was shown.
- Using multiple linear regression four models were defined that included temperature thresholds both fixed (Model I) and dynamic (Models II to IV), included the variables for the ATO and GATO for "all causes" mortality of the entire population (all ages).
- Similarly, four models for "all causes" mortality of the population aged 65 years or more that showed to have the same features and slightly better fit to data.
- Were also investigated the same models restricting the data to the months of May and September in the quest to identify clues that indicated the best dynamic threshold. It was found that even in the

absence of the months with the major heat waves and their impacts on mortality the same characteristics emerged in this approach.

- It was found that models had adjustment coefficients from 50% (fixed threshold) to 68.9% (dynamic thresholds).
- Models with dynamic threshold with gradual growth in early summer, starting at 29°C and increasing 1°C per week until reaching 35°C (model IV) proved to have the best fit. This is consistent with a short-term adaptation of individuals to the evolution of increase in temperatures over the summer
- Model IV showed high specificity values (above 99%), high negative predictive values (above 99%) and high probability of correct indication of excess mortality based only on air temperatures (99.7%).

Study 3 - Construction of regional predictive models for heat associated mortality

- Based on the maximum and minimum air temperatures and "all causes" mortality by the district four homogeneous regions (sets of contiguous districts) were established.
- A reference air temperature for each region was defined, consisting of district air temperature that had the best correlation with the temperatures of all other districts of the group.
- For each region, six models for "all causes" mortality of all age groups were studied. And, the same six models, for each region, for "all causes" mortality of all individuals with 75 or more years old were also studied.

Overall it was observed:

- All the models obtained were valid for the relationship between the occurrence of heat and mortality;
- The regional model that explored the use of air temperature of only one of the districts (reference temperature) – model R V - proved to be the least appropriate;
- The best regional models obtained included always the temperatures of most or all districts in their region;
- All models included variables ATO and GATO of the day and of the previous day;

- All the models included the fixed thresholds of 32°C and 35°C;
- All the models showed high levels of specificity;
- All the models showed excellent sensitivity;
- All the models showed very good values of correct decision (above 99%) with the model R I - which included information from large waves of heat, 1981, 1991 and 2003, two fixed thresholds temperatures 32°C and 35°C, temperatures of all districts and the variables ATO, GATO and EXC (excessive daytime temperature) – having the higher values of the majority of the evaluation defined statistics.

Study 4 - Construction of a national ICARO-index and definition of a national heat waves surveillance system

- The concept of ICARO-Index (definition that already existed and related predicted mortality with impact of heat with expected mortality without no impact of heat) was formally defined and a set of its properties was formally obtained for the first time.
- A definition of heat waves surveillance system was proposed and a discussion on the positive and negative aspects of a system based only in one city (Lisbon) was discussed supported on empirical experience from 1999 to 2003.
- To establish a truly national surveillance system of heat periods by using the regional predictive models obtained, the definition of a national-ICARO index that summarizes the real risk of observing national impact on mortality due to the occurrence of heat was sought. This ICARO-Index was established as the national weighted average of the four regional ÍCARO-indices, weights being the resident population of each region.
- A generic framework for interpreting the contents of the ICARO-type indices was defined to allow a uniform interpretation of the potential risk associated with the occurrence of heat between all actors involved in the monitoring of heat waves, which was called ICARO-Alert-Index. A formal systematization of its properties was also made. This new framework for uniform interpretation of the indices ICARO-related mortality risk associated with the occurrence of heat, has proved invaluable, having

been adopted in the document of the Contingency Plan for Heat Waves of 2010 in defining the respective levels of alert a period of less than one month (between its first presentation in the context of the launch of the technical surveillance of heat waves and publication of the document by the Directorate General of Health).

Study 5 - Construction of a daily mortality surveillance system in Portugal

- A surveillance system for daily Portuguese mortality (VDM) was described and presented, and its potential features were displayed, particularly regarding capabilities to detect and confirm the phenomena that have an impact on mortality either at daily and weekly levels, which include the occurrences high heat or heat waves.

Study 6 - Evaluation of the implemented national heat waves surveillance system.

- The evaluation of the established models test, conducted from 2006 to 2009, through the heat waves surveillance system (ICARO surveillance system) was performed, using information of the daily mortality surveillance system (VDM). The evaluation of models and their ICARO-indices was circumscribed to the year of 2009 because there was need for mortality reference data that were also generated by the VDM system. Thus, it was verified that:
 - Models and the respective indices identify periods of heat associated with the existence of mortality beyond the expected;
 - the monitoring system of hot periods with potential impacts on human health, supported by the models developed, identifies impacts on mortality of all magnitudes (from about a dozen deaths to hundreds or thousands), capable of revealing the heterogeneity of heat waves or regions where they occur, and was particularly sensitive to detect thresholds situations of occurrence of heat, capacity that was not previously demonstrated;

- The magnitude of excess mortality associated with heat defined *a priori* by ICARO-indices was associated with their excesses defined by other methodologies *a posteriori*;
- Two methods were used to determine excess mortality: a method of direct comparison of the mortality of identical and equivalent periods, and another using a cyclical regression - noting that the first generated always estimates, and these were always consistent, while the regression method showed weaknesses when the average number of daily deaths in analysis was low, but results were particularly robust when analyzing total mortality;
- The results of excess mortality identified in 2009, a year whose summer was perceived as moderate, were relevant from the public health standpoint, which advises that the taking of appropriate measures to mitigate the adverse effects of heat must not wait for long periods of heat.

Conclusions: The models developed and studied in this work were consistent and showed prediction capability identifying small impacts on population mortality due to the occurrence of heat (capacity not previously identified in other studies), allowing the establishment of a monitoring system for periods of potentially harmful heat in population's health of true national scope, having already motivated and encouraged the creation of a mortality surveillance system with great potential for timely observation of phenomena that affect it and that promotes their research.

Thus, the results of this work, which consisted of appropriate forecasting models, in indices that allow better communication and perception of risk, in establishing broad and global surveillance of heat waves at national level and the existence of a complementary system of rapid mortality surveillance are important contributions to the knowledge of the impacts of heat occurrence on human health that can contribute to a better definition of the respective health policies.

Keywords: Heat waves, models, prediction, surveillance, mortality, health policy

**1. ENQUADRAMENTO, DEFINIÇÃO DO
PROBLEMA, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DO
ESTUDO**

<Página em branco>

1.1 Enquadramento

A ocorrência de ondas de calor é hoje reconhecida como um problema de saúde pública (1-5), dado ser um fenómeno causalmente associado a excesso de mortalidade potencialmente evitável (6-13). Bem presente na memória está a onda de calor ocorrida na Europa no Verão de 2003, cujo impacto foi inicialmente estimado na ordem das 30 000 mortes para além do esperado (14), para se fixar mais recentemente numa estimativa de 70 000 mortes em excesso (15).

Estão largamente demonstrados os impactos das ondas de calor em termos de mortalidade humana e são reconhecidos alguns impactos na morbilidade e, conseqüentemente, impactos nos serviços de prestação de cuidados quando estas ocorrem.

Teoriza-se que a ocorrência destes episódios, em conjunto com as condições em que ocorrem, terá impactos ainda mais abrangentes em diversos sectores da actividade humana, para além da saúde, como: na agricultura e criação de animais, na construção, nos transportes, e na robustez das infra-estruturas (4).

Estão descritos na literatura inúmeros episódios de ondas de calor distribuídos ao longo de, praticamente, todo o globo terrestre. Portugal não é excepção e existem alguns indícios de que na cidade de Lisboa terão esporadicamente ocorrido episódios de excesso de calor, com prováveis reflexos na saúde da respectiva população, pelo menos ao longo de todo o século XX. Em 1988, Falcão, Castro e Falcão estudaram o impacto da onda de calor de Junho de 1981 na mortalidade da população do distrito de Lisboa (16).

De facto, em Portugal foram já identificados, no período de 1980 a 2004, múltiplos episódios de ondas de calor de várias amplitudes, nomeadamente:

1. Episódios de calor com forte impacto na mortalidade – grandes ondas de calor¹ – em Junho de 1981, Julho 1991 e Julho/Agosto de 2003. O respectivo excesso de mortalidade estimado a nível nacional (Portugal Continental) cifra-se em cerca de 1900 (17), 1000 (18) e 2000 (19, 20) mortes, respectivamente.

¹ Não existe uma definição consensual. No contexto português aqui subjacente podem ser considerados dois critérios: a duração do período de calor; e o impacto na mortalidade. Os grandes episódios de ondas de calor bem descritos em Portugal (Junho 1981, Julho 1991 e Julho-Agosto 2003) tiveram duração superior a 8 dias consecutivos e mais de 1000 óbitos em excesso como impacto estimado.

2. Alguns episódios de calor com menores repercussões na mortalidade – a que chamamos pequenas e moderadas ondas de calor – foram identificados embora não de forma sistemática (18, 21). Existem igualmente estudos de ocorrências a nível local, especificamente na região do Algarve, abrangendo o período de 27/07 a 4/08/2004, com uma estimativa de 80 óbitos em excesso(22). Torna-se, todavia, indispensável proceder a um estudo mais sistemático e que sejam claramente definidos os conceitos de pequenas e grandes ondas de calor.

Em termos genéricos de saúde, são apontadas como condições de vulnerabilidade a idade avançada, limitações cognitivas, o sofrer de doenças, o consumo de alguns medicamentos, o nível de hidratação, o isolamento e as condições da habitação (23-25). Em termos de mortalidade, é consensual que são sobretudo os idosos que sofrem os impactos mais avultados. Ninguém está a salvo de sofrer os efeitos nefastos das ocorrências de calor excessivo. De facto, existem casos de episódios severos de calor onde todos os grupos etários são comprovadamente afectados, como foi o caso da onda de calor de Junho de 1981 em Portugal (17).

Vários estudos indicam que o risco de sofrer os efeitos de ondas de calor é semelhante nos homens e nas mulheres (25). Porém a onda de calor de 2003, mostrou um maior impacto na mortalidade feminina (20, 26-28).

O impacto das temperaturas excessivas de Verão na mortalidade ocorre com pequena discrepância temporal, verificando-se, em regra, o pico máximo de mortalidade um dia depois do pico máximo de temperatura, existindo, de modo geral, um desfasamento entre a ocorrência de calor e a respectiva mortalidade que se situa entre um e dois dias (28, 29).

A investigação do fenómeno da ocorrência de ondas de calor apresenta alguns problemas, incluindo, desde logo, a própria definição básica do que é uma onda de calor com efeitos na saúde humana, não existindo uma definição consensual na literatura (14).

As definições mais comumente usadas baseiam-se em limiares de temperatura.

Existem na literatura, há já algum tempo, várias referências a impactos na mortalidade com temperatura do ar acima dos 32°C (90°F) durante alguns dias consecutivos (30, 31). Surgem também definições de entidades oficiais: no

Canadá – temperaturas acima dos 32°C e em mais de 3 dias consecutivos (4); e nos Estados Unidos da América – temperaturas acima dos 32°C e em mais de 2 dias consecutivos (32-34).

A relação entre a temperatura e a mortalidade humana está descrita genericamente como tendo uma forma em U, V, ou J (35-37). Esta descrição enquadra-se noutras descrições que caracterizam a relação calor-mortalidade como sendo não linear (38, 39). A noção de não-linearidade resulta de evidências surgidas em modelos estabelecidos para várias cidades, que indicam limiares de temperaturas do ar a partir dos quais a mortalidade dispara. Esses limiares variam de cidade para cidade. Na Europa estão definidos gradientes Norte-Sul e Oeste-Este para a definição destas temperaturas limiares (25).

A temática desta dissertação centra-se na construção de modelos de medição, previsão e monitorização do impacto das ocorrências de períodos e ondas de calor na mortalidade humana e não em todos os aspectos epidemiológicos envolvidos na ocorrência do calor e dos seus impactos. É por isso que este enquadramento se foca nos aspectos que são fundamentais para a construção dos modelos de previsão de ondas de calor e, obviamente, nas evidências do elevado impacto na mortalidade da ocorrência das ondas de calor. Opta-se assim por fazer uma discussão de resultados em cada capítulo/estudo e por concluir com um capítulo de discussão e conclusões global onde se abordam criticamente, com apoio bibliográfico, todos os resultados alcançados para os modelos de previsão.

1.2 Identificação do Problema

O problema das ondas de calor é relevante em Portugal, pois ocorrem com uma frequência considerável², gerando avultados danos em termos de saúde. Essa relevância traduz-se particularmente no acréscimo da mortalidade, onde os impactos são substanciais (2-4, 40, 41).

A mortalidade atribuível a ondas de calor é um problema de saúde pública que exige acção, de forma a evitar a ocorrência da mortalidade evitável.

² No passado recente, em Portugal é possível identificar períodos de calor com impacto na mortalidade quase todos os anos.

Assim, a literatura específica para este problema sugere que existe uma relação próxima entre a ocorrência de calor extremo e impactos na saúde, sobretudo na mortalidade. Coloca-se então o desafio de definir métodos objectivos para medir os impactos das ondas de calor na mortalidade, e de estabelecer modelos matemáticos e estatísticos das respectivas relações, de modo a caminhar no sentido de fazer a melhor previsão dos eventos nefastos que são as ondas de calor. É também um grande desafio a criação de mecanismos de monitorização da mortalidade que permitam confirmar de forma tão precoce quanto possível as previsões dos modelos e que apoiem a decisão, por parte dos intervenientes que têm essa missão de intervir, para que se consiga a rápida acção no âmbito da saúde pública e, assim, se obtenham ganhos consideráveis em saúde e vidas humanas.

1.3 Objectivos gerais e específicos do estudo

Os **objectivos gerais** deste trabalho foram,

- a) **definir modelos** da relação entre a ocorrência de diferentes níveis de calor e o respectivo impacto em termos de mortalidade;
- b) **Construir esses modelos de modo a** permitir **prever**, através deles, com a maior precisão possível, a natureza e dimensão potencial dos respectivos impactos na saúde das populações em causa;
- c) **definir métodos de medição do impacto de ondas de calor** na saúde e exemplificá-las;
- d) **preconizar e/ou estabelecer**, nessa base **mecanismos de monitorização** tanto das ondas de calor como dos respectivos impactos.

Com a finalidade de obtenção do conhecimento necessário para cumprir os objectivos gerais definiram-se seis estudos sequenciais:

1. Descrever a distribuição das temperaturas do ar do distrito de Lisboa e em Portugal Continental;

2. Construir modelos de previsão de mortalidade para o distrito de Lisboa com base nas temperaturas do ar;
3. Construir modelos regionais de previsão da mortalidade associada ao calor;
4. Construir um índice-ÍCARO nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor;
5. Construir um sistema de vigilância diária da mortalidade em Portugal;
6. Avaliar a vigilância nacional de ondas de calor.

Os respectivos **objectivos específicos** foram os seguintes (de acordo com cada um dos estudos):

1. Distribuições da temperatura do ar em Lisboa e em Portugal

(*secção 3.1*, página 57)

Objectivo Principal

- Obter as distribuições das temperaturas em Lisboa e Portugal de forma a estabelecer o conhecimento necessário para definir “ondas de calor” e para obter limiares de temperatura que permitam estabelecer modelos de previsão de mortalidade associada ao calor.

Objectivos Específicos

- Caracterizar a distribuição das temperaturas do ar tri-horárias do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;
- Caracterizar a distribuição da temperatura do ar média diária do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;
- Caracterizar a distribuição da temperatura do ar máxima diária do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;
- Definir os limites teóricos da variação das temperaturas do ar tri-horárias do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;

- Definir os limites teóricos da variação da temperatura do ar média diária do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;
- Estabelecer os limites teóricos da variação da temperatura do ar máxima diária do distrito de Lisboa por semana no período de Maio a Setembro;
- Caracterizar a distribuição geográfica (por distritos) das temperaturas tri-horárias elevadas (percentil 97,5%) durante o Verão em Portugal;
- Caracterizar a distribuição geográfica (por distritos) da temperatura máxima diária elevada (percentil 97,5%) durante o Verão em Portugal;
- Modelar a evolução diária das temperaturas máximas limiares por distrito de forma a estabelecer critérios de vigilância de ondas de calor diário a nível distrital;
- Definir os limites limiares de temperaturas máximas de Verão por distrito;
- Caracterizar os conjuntos de distritos de acordo com diferentes limiares superiores de temperaturas de Verão.

2. Previsão da mortalidade com base nas temperaturas do ar – Modelos para Lisboa (secção 3.2, página 69)

Objectivos Principais

- Escolher o modelo de regressão linear múltipla para a mortalidade que permita a melhor vigilância das ondas de calor no distrito de Lisboa;
- Desenvolver o conhecimento sobre o mecanismo subjacente à relação calor-mortalidade.

Objectivos específicos

- Definir diferentes limiares fixos e dinâmicos de temperaturas do ar com base na literatura científica e nas distribuições observadas das temperaturas do ar;
- Experimentar e testar de limiares fixos e dinâmicos para modelar a mortalidade (total - “todas as causas” e todas as idades) associada à ocorrência de períodos de calor e avaliar a respectiva capacidade de determinação de excesso de mortalidade;
- Descrever o episódio da onda de calor de Junho de 1981 em termos de mortalidade (total) e limiares de temperatura;
- Descrever o episódio da onda de calor de Julho de 1991 em termos de mortalidade (total) e limiares de temperatura;
- Descrever o episódio da onda de calor de Julho/Agosto de 2003 em termos de mortalidade (total) e limiares de temperatura;
- Descrever e demonstrar as propriedades dos modelos-ÍCARO anteriormente estabelecido (1999) – apresentação das ideias nucleares para a modelação da relação calor-mortalidade que se desenvolvem ao longo desta dissertação;
- Propor uma nova variável para a modelação da relação calor-mortalidade, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada (STAG) e demonstração da sua diferença para a variável STA originária;
- Ajustar quatro modelos (de acordo com os limiares de temperatura definidos) aos dados de mortalidade (todas as idades) do distrito de Lisboa e avaliação das respectivas qualidades;
- Ajustar quatro modelos (de acordo com os limiares de temperatura definidos) aos dados de mortalidade relativa à população mais idosa (65 ou mais anos de idade) do distrito de Lisboa e avaliação das respectivas qualidades;
- Ajusta quatro modelos (de acordo com os limiares de temperatura definidos) aos dados de mortalidade (total) do distrito de Lisboa restringidos aos meses de Maio e Setembro na procura de evidência de modelos distintos na ausência de episódios marcados de ondas de calor.

3. Modelos regionais para a relação calor-mortalidade (secção 3.3, página 97)

Objectivo principal

- Obter modelos regionais de previsão de mortalidade com base nas temperaturas do ar distritais.

Objectivos específicos

- Definir regiões (grupos de distritos) homogéneas em termos climatológicos (temperaturas) que permitam a execução/experimentação de modelos de previsão de mortalidade;
- Definir uma temperatura de referência por cada região (grupo de distritos);
- Definir um conjunto de possíveis modelos que perscrutem diferentes características para a relação calor-mortalidade (seis modelos);
- Ajustar seis modelos aos dados de mortalidade (todas as idades) de cada região (grupo de distritos) e avaliação das respectivas qualidades;
- Ajustar seis modelos aos dados de mortalidade do grupo etário mais idoso (75 ou mais anos) de cada região (grupo de distritos) e avaliação das respectivas qualidades.

4. Construção de um Índice-ÍCARO nacional e definir um sistema nacional de vigilância de ondas de calor (secção 3.4, página 175)

Objectivos principais

- Definir um sistema de vigilância de ondas de calor de âmbito nacional;

- Definir um índice-ÍCARO nacional para o sistema nacional de vigilância de ondas de calor.

Objectivos específicos

- Descrever a definição originária do Índice-ÍCARO (1999);
- Descrever a definição do sistema de vigilância de ondas de calor (versão original de 1999);
- Descrever a definição anteriormente estabelecida de níveis de alerta de calor;
- Descrever os cinco primeiros anos de vigilância de ondas de calor (1999-2004);
- Testar quatro propostas para um índice-ÍCARO nacional e averiguar as respectivas qualidades para sintetizar o risco global de ondas de calor;
- Definir novos índices do tipo ÍCARO que permitam fácil interpretação em todos os enquadramentos (nacional, regional, por grupos etários ou outros que venham a ser definidos);
- Estabelecer desde logo um conjunto propriedades de um Índice do tipo ÍCARO;
- Definir objectivamente níveis de alerta de ondas de calor uniformes para todos os enquadramentos (nacional, regional, por grupos etários ou outros que venham a ser definidos).

5. Construção de um Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade em Portugal (secção 3.5, página 222)

Objectivos principais

- Construir um sistema de vigilância de mortalidade permita a confirmação rápida dos impactos de calor previstos pelo sistema de vigilância de ondas de calor;

- Avaliar a capacidade do sistema de vigilância de mortalidade confirmar e detectar impactos originados por períodos de calor.

Objectivos específicos

- Descrever o sistema de vigilância de mortalidade testado durante a onda de calor de 2003 (VDM *ad-hoc*);
- Definir o sistema de vigilância diário de mortalidade (VDM Original 2004-2006) – vigilância do número diários de registos de óbito;
- Demonstrar as limitações e desafios colocados pela vigilância do número diário de registos de óbito;
- Definir um novo sistema de vigilância diário da mortalidade (*novo sistema VDM*);
- Descrever os resultados do *novo sistema VDM* (2006 a 2009);
- Caracterizar o atraso da chegada da informação do óbito ao *novo sistema VDM*;
- Verificar a capacidade de confirmação de eventos com impacto na mortalidade usando o *novo sistema VDM*;
- Verificar a capacidade de detecção de eventos com impacto na mortalidade usando o *novo sistema VDM*.

6. Avaliação da Vigilância Nacional de Ondas de Calor (secção 3.6, página 249)

Objectivo principal

- Fazer a avaliação da vigilância nacional de ondas de calor no terreno nos Verões de 2006 a 2009, com base na informação do sistema de vigilância da mortalidade diária, estudando em particular o período de Abril a Setembro de 2009.

Objectivos específicos

- Identificar os períodos de calor ocorridos no Verão de 2009³;
- Obter a estimativa global (todas as idades) de excesso de mortalidade nos períodos de calor do Verão de 2009;
- Obter a estimativa de excesso de mortalidade por sexo nos períodos de calor do Verão de 2009;
- Estimativas de excesso de mortalidade por grupo etário nos períodos de calor do Verão de 2009;
- Obter as estimativas de excesso de mortalidade por Região (do registo do óbito) nos períodos de calor do Verão de 2009;
- Comparar as estimativas de excesso de óbitos (globais e estratificadas) atribuíveis ao calor usando o método directo e regressão cíclica;
- Estudar a relação entre estimativas globais de excesso de óbitos associado à ocorrência de calor (método directo, regressão cíclica usando dois critérios e mortalidade definida *a priori* pelo Índice-ÍCARO).

1.4 Organização da tese

O trabalho de investigação aqui desenvolvido, e que a seguir se apresenta, está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1. - *Enquadramento, Definição do problema, Objectivos e Organização do estudo*. Trata-se do presente capítulo onde se faz uma resenha dos principais pontos definidos pela literatura científica sobre a temática das ondas de calor; se identifica a temática das ondas de calor como um problema importante de saúde pública; se descrevem os objectivos gerais e específicos do estudo; e se apresenta a organização do trabalho.

³ Entenda-se por Verão de 2009 o período de vigilância de ondas de calor que inclui os meses de Abril a Setembro.

Capítulo 2. – *Material e métodos*. Trata-se do capítulo em que se apresenta o delineamento de estudos adoptado no qual se baseou o trabalho da dissertação, se identificam e descrevem as fontes de dados que permitiram o desenvolvimento do trabalho, e se descrevem as secções metodológicas que relativas aos diferentes estudos.

O delineamento global da dissertação consiste no desenvolvimento de 6 estudos:

1. Estudo da distribuição das temperaturas do ar de Lisboa e em Portugal;
2. Construção de modelos de previsão de mortalidade para o Distrito de Lisboa com base nas temperaturas do ar;
3. Construção de modelos regionais de previsão da mortalidade associada ao calor;
4. Construção de um índice-ÍCARO nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor;
5. Construção de um sistema de vigilância diária da mortalidade em Portugal;
6. Avaliação da vigilância nacional de ondas de calor.

Para os quais se definiram cinco secções metodológicas. Nomeadamente,

1. Modelação das temperaturas do ar por distrito de Portugal Continental;
2. Modelos de previsão de ondas de calor (esta secção dá resposta metodológica aos dois estudos de construção de modelos de previsão – estudos 2 e 3);
3. Construção de um índice nacional;
4. Construção de um sistema de vigilância da mortalidade;
5. Avaliação do Sistema de vigilância e monitorização de ondas de calor.

Capítulo 3. – *Resultados*. Onde se expõem os resultados dos métodos definidos, integrando, os seguintes blocos principais:

- *Distribuições da temperatura do ar em Lisboa e em Portugal* – Onde se definem e discutem as distribuições da temperatura do ar do distrito de Lisboa, a distribuição das temperaturas por distrito de Portugal Continental e se modelam as temperaturas máximas de cada distrito.
- *Previsão da mortalidade com base nas temperaturas do ar – Modelos para Lisboa*, onde: se descreve a relação entre os limiares ensaiados e os

episódios de calor conhecidos (1981, 1991 e 2003); se demonstram as qualidades do modelo de previsão pré-existente usando o método adoptado nesta dissertação; se discute o novo racional da principal variável construída para actualização dos modelos de previsão, apelidada Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada (STAG); se evidenciam os resultados do ajustamento dos modelos propostos à mortalidade total e no grupo etário dos 65 ou mais anos de idade do distrito de Lisboa; se faz a avaliação dos modelos, usando apenas dados dos meses de Maio e Setembro para verificar se a ausência dos dados dos meses de Junho, Julho e Agosto apontaria outras direcções para os modelos de previsão.

- *Modelos regionais para a relação calor-mortalidade* – Onde se define, uma divisão, tão adequada quanto possível, do País em regiões (conjuntos de distritos) de acordo com a similitude de níveis de temperaturas e de mortalidade. Para os efeitos do presente estudo, é elaborado um modelo comum de previsão para cada uma dessas regiões; é, depois, testada a hipótese de utilizar uma temperatura de referência em cada região (definida a partir da temperatura do distrito com maior correlação com as restantes temperaturas distritais do grupo); em duas secções posteriores são apresentados e discutidos os resultados de seis propostas de modelos de previsão, quer para a mortalidade total quer para a mortalidade do grupo etário dos 75 ou mais anos de idade, para cada uma das quatro regiões estabelecidas.
- *Construção de um índice-ÍCARO nacional e de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor* – Onde se define o índice-ÍCARO na sua perspectiva histórica e se sistematiza, pela primeira vez, as respectivas propriedades; é definido e apresentado o sistema de vigilância de calor, também numa perspectiva histórica, com a definição empírica dos respectivos níveis de alerta; é feito e apresentado um resumo da experiência do Índice-ÍCARO original (aqui referido por Índice-ÍCARO 1999) das épocas de 1999 a 2003, de forma a mostrar os respectivos pontos fortes e limitações; segue-se a apresentação e discussão de propostas para um índice-ÍCARO nacional na procura de um índice único de referência para vigilância nacional de ondas de calor; assumindo as limitações de interpretação dos diversos índices-ÍCARO (verificadas

durante as épocas de vigilância) é feita uma proposta de definição de um índice-Alerta-ÍCARO com características independentes do processo de mortalidade subjacente; é realizada uma sistematização das respectivas propriedades e redefinidos os antigos níveis empíricos de alerta do sistema de vigilância (que só eram válidos para o índice-ÍCARO 1999)⁴. Os novos níveis de alerta são válidos, doravante, para todos os índices-Alerta-ÍCARO.

- *Construção de um sistema de vigilância diária da mortalidade (VDM) em Portugal* – enuncia-se a evolução deste sistema VDM desde a sua génese, intimamente ligada à vigilância de ondas de calor, até ao presente. São exploradas adicionalmente as suas capacidades de detectar e confirmar eventos relacionados com a saúde, em particular impactos de ondas de calor.
- *Avaliação da vigilância de ondas de calor* – Onde, usando os dados de 2007 a 2009, se faz a avaliação do sistema de vigilância ÍCARO, que incorpora as propostas e desenvolvimentos de modelos de previsão apresentadas como corpo principal deste trabalho.

⁴ Dado que não estava anteriormente claro e fica esclarecido com os resultados demonstrados na secção 3.4.1.2 desta dissertação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

<Página em branco>

2.1 Delineamento global dos estudos

O presente estudo resulta de investigação, observação, ensaio e avaliação com uma duração que ultrapassa uma década (Figura 1, página 21).

O trabalho desenvolvido assenta em conhecimento previamente existente: 1) consistindo num modelo de previsão da mortalidade do distrito de Lisboa associada à ocorrência de ondas de calor, com base nas temperaturas do ar, originariamente desenvolvido com metodologias de séries temporais, que foi adaptado por metodologias de regressão linear múltipla cingindo a respectiva análise aos meses de Maio a Setembro (modelo ÍCARO⁵); 2) no respectivo índice-ÍCARO⁶ e 3) no sistema de vigilância de ondas de calor⁷ construído e posto em funcionamento em 1999.

Da experiência das épocas de vigilância de 1999 a 2004 e com dados relativos à grande onda de calor ocorrida no Verão de 2003, partiu-se para o melhoramento do modelo de previsão para o distrito de Lisboa, com integração de novas variáveis, novos dados, e efectuando a sua validação.

A validação dos modelos é estabelecida através do recurso aos conceitos de *sensibilidade*, *especificidade*, taxa de *falsos positivos* e *falsos negativos*, típicos do contexto dos *testes de diagnóstico* (42, 43). Adopta-se a noção de *ocorrência* com base em dois limites elevados (robustos⁸) de mortalidade e avalia-se a capacidade de previsão destes dois níveis de mortalidade em vários conjuntos de anos (incluindo um conjunto de 23 anos, 1981 a 2003). Como está subjacente à construção dos modelos de previsão, a capacidade de emitir um alerta de risco de calor tão rigoroso quanto possível, definiu-se um cálculo aproximado da fracção de decisão correcta recorrendo às noções básicas de probabilidade.

Para modelar a mortalidade do distrito de Lisboa foi usada a respectiva temperatura do ar diária e foi testado um modelo que recorreu à definição de limiares dinâmicos das temperaturas do ar, que reflectem a noção de

⁵ Descrito na secção 3.2.2. , conjuntamente com a sua qualidade de ajustamento aos dados de acordo com a metodologia definida para este trabalho.

⁶ Apresentado e descrito na secção 3.4.1.

⁷ Apresentada a respectiva definição na secção 3.4.2.

⁸ No sentido da análise exploratória de dados (exploratory data analysis) - uma abordagem de análise de dados com a finalidade de formular hipóteses eventualmente susceptíveis de serem testadas, sendo assim uma ferramenta alternativa às da estatística convencional de teste de hipóteses.

adaptabilidade humana à evolução das temperaturas do ar em curtos espaços de tempo.

Tendo a noção de que um modelo de previsão apenas para o distrito de Lisboa apresentava limitações, partiu-se para a construção de modelos regionais que colocavam vários desafios, nomeadamente: como agrupar os distritos em regiões, que temperaturas usar como referência; e que limiares destas temperaturas usar. A estratégia adoptada passou por fazer a descrição das distribuições das temperaturas ao longo do Verão nos diferentes distritos, o que se fez usando estatística descritiva e regressão linear cúbica (44); por agrupar os distritos em termos de temperaturas do ar e mortalidade, o que se fez usando análise factorial exploratória (45). Definidas as regiões optou-se por ensaiar dois limiares fixos de temperatura, 32°C e 35°C, para cada uma das temperaturas máximas do ar dos distritos que constituem cada região.

Procedeu-se ao desenho e teste de uma bateria de modelos, seis no total, de forma a permitir perceber as vantagens e desvantagens de usar diferentes conjuntos de variáveis (STA, STAG, EXC 9), e diferentes conjuntos de dados com grandes ondas de calor¹⁰ (sobretudo com inclusão ou exclusão da onda de calor de Junho 1991 que foi de curta duração e não atingiu todo o país).

Definidos e validados os modelos, procedeu-se à construção dos respectivos índices-ÍCARO e ensaiaram-se as suas aplicações nos períodos de vigilância¹¹ das ondas de calor de 2006 a 2009 para posterior avaliação.

Esta validação só foi possível com a construção de um sistema rápido de vigilância da mortalidade portuguesa, que se apresenta na secção o. Este sistema gerou os dados de mortalidade de 2007 a 2009 que serviram para fazer o estudo detalhado da época de vigilância de 2009, a partir da qual se demonstram as capacidades de predição dos modelos propostos e as respectivas qualidades conforme o trabalho desenvolvido na secção 3.6.

E foi ainda adicionada uma sistematização das características de um índice-ÍCARO recorrendo às propriedades do valor médio e variância de uma distribuição de probabilidades, visando contribuir para uma melhor interpretação destes índices.

⁹ Definidas na secção 2.3.2.1

¹⁰ Junho 1981; Julho 1991 e Julho/Agosto 2003.

¹¹ Abril a Setembro.



Figura 1: Fluxograma das actividades subjacentes ao trabalho apresentado nesta dissertação

O conhecimento das propriedades de um índice-ÍCARO levou ao enunciar de uma nova proposta de um índice do tipo ÍCARO, definindo o índice-Alerta-ÍCARO, independente do nível médio da mortalidade do respectivo processo de óbitos. As propriedades deste novo índice foram também exploradas matematicamente através das propriedades do valor médio e variância de uma distribuição de probabilidades.

2.2 Fonte dos dados

Os dados usados no presente trabalho foram dados de saúde, dados de condições ambientais e, pontualmente, estimativas da população residente em Portugal Continental.

Os dados de saúde consistiram em dados diários de mortalidade por “todas as causas”.

Os dados de mortalidade usados tiveram duas origens. As séries de dados da mortalidade entre 1980 e 2004 foram retirados da base de dados de mortalidade do Instituto Nacional de Estatística (INE), cedidos pela Direcção Geral de Saúde (DGS) e dados de registos de óbito das Conservatórias do Registo Civil (CRC) do Instituto dos Registos e Notariado (IRN) geridos pelo Instituto das Tecnologias de Informação na Justiça (ITIJ) relativos ao período de 2006 a 2009. Os dados de mortalidade das bases de dados do INE consistiram no número de óbitos diários por “todas as causas” no total, em indivíduos com 65 ou mais, em indivíduos com 75 ou mais anos de idade, e pelos 18 distritos de Portugal Continental. Os dados de mortalidade obtidos pelas CRC foram recebidos diariamente por mensagem de correio electrónico automatizada que continha informação sobre cada óbito registado (idade, sexo e local do registo do óbito), a partir dos quais se construíram as séries de mortalidade diária e semanal por “todas as causas” no total, por região, por sexos e por grupos etários.

Os dados de condições ambientais, que neste trabalho acabaram por se cingir a temperaturas do ar observadas e previstas, foram disponibilizados pelo Instituto de Meteorologia no âmbito da parceria INSA/IM que deu origem ao Projecto ÍCARO de que o presente trabalho faz o relato dos principais desenvolvimentos

técnicos nele levados a cabo. Os dados de temperaturas do ar observadas de 1980 a 2001 relativas a cada um dos distritos de Portugal Continental, foram disponibilizadas em base dados pelo IM. E os dados posteriores foram disponibilizados via electrónica, automatizada e diária no âmbito do sistema de vigilância ÍCARO, incluindo as previsões diárias para o próprio dia e os dois dias seguintes (estes dados foram de uso exclusivo para o teste do sistema de vigilância diário das ondas de calor). Para efeitos de estabelecimento e construção dos modelos de previsão foram usadas temperaturas observadas de 3 em 3 horas (tri-horárias) e temperaturas máximas e mínimas do ar observadas diariamente, dos 18 distritos de Portugal Continental (entre 1980 e 2001 as primeiras – tri-horárias, e entre 1980 e 2009 as segundas – diárias).

De forma muito pontual foram ainda usadas estimativas da população residente em Portugal do Instituto Nacional de Estatística (INE) e taxas semanais de incidência de gripe geradas pela Rede Médicos-Sentinela (46).

2.3 Métodos

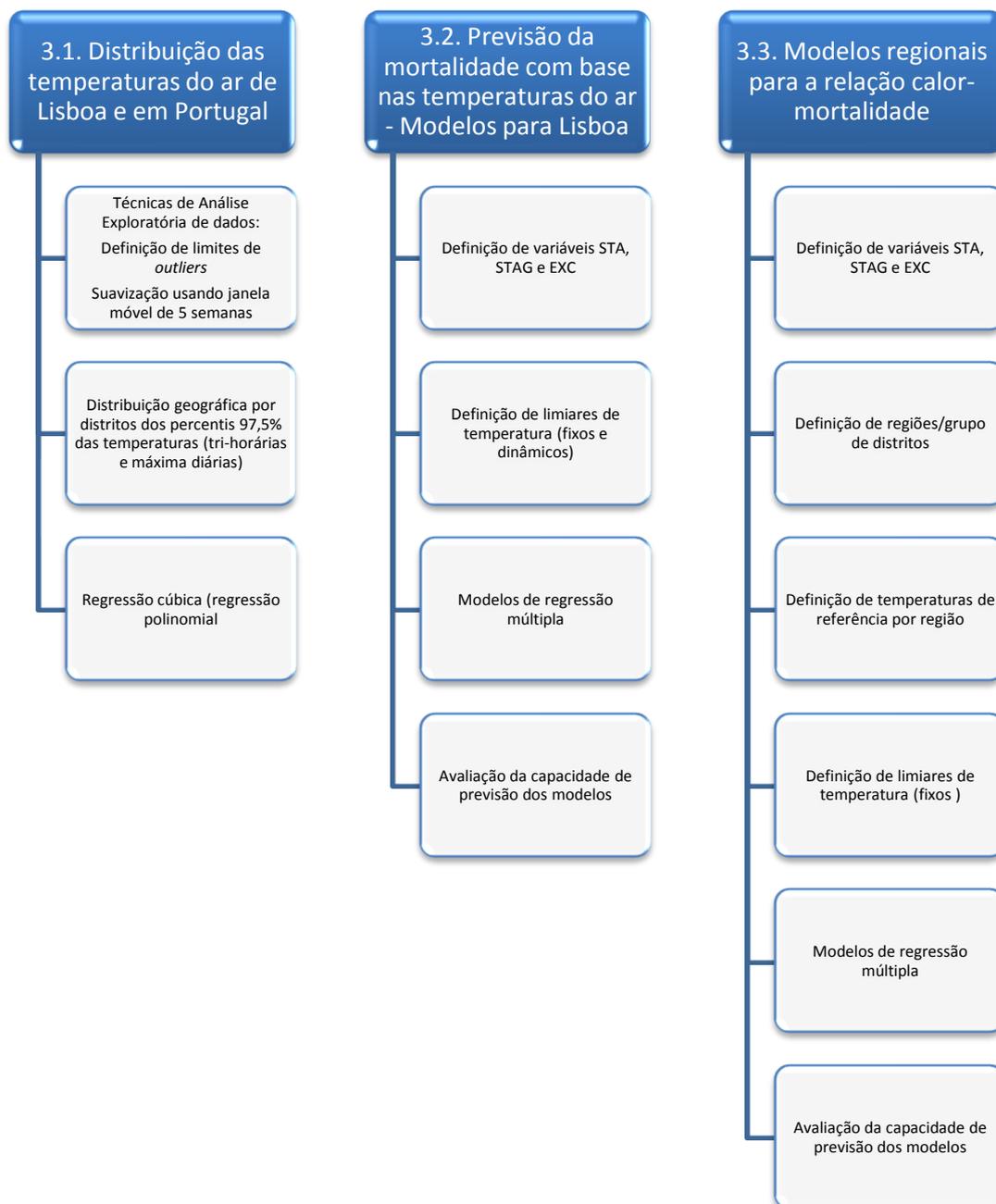
Para a definição dos métodos no presente trabalho na persecução dos objectivos definidos 1) a construção de modelos de previsão de ondas de calor; 2) a discussão de métodos de medição do impacto de ondas de calor; e, 3) a definição, implementação e avaliação do sistema de vigilância e monitorização das ondas de calor ou períodos de calor com potenciais impactos nefastos na saúde, definiram-se seis estudos:

1. Estudo da distribuição das temperaturas do ar do distrito de Lisboa e em Portugal Continental;
2. Construção de modelos de previsão de mortalidade para o Distrito de Lisboa com base nas temperaturas do ar;
3. Construção de modelos regionais de previsão da mortalidade associada ao calor;
4. Construção de um índice-ÍCARO nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor;

5. Construção de um sistema de vigilância diária da mortalidade em Portugal; e,
6. Avaliação da vigilância nacional de ondas de calor.

A Figura 2 e a Figura 3 mostram de forma sintética as abordagens metodológicas usadas para cada um dos estudos. Denota-se de imediato que os estudos 2, 3 e 6 são mais extensos e complexos, e contêm componentes metodológicas em comum. Em particular os estudos 2 e 3 têm grande parte da metodologia sobreponível.

Todos estes aspectos impuseram o desafio de estruturar os métodos de forma compreensível. Por um lado, se se decompusessem todas as componentes metodológicas e estas fossem apresentadas sequencialmente perder-se-ia o fio condutor lógico. Por outro lado, ter secções completas para cada capítulo surgiria demasiado repetitivo, especialmente no respeitante aos estudos 2 e 3. Assim optou-se por fazer a apresentação dos métodos por estudo, exceptuando o que respeita aos modelos de previsão para o distrito de Lisboa e por regiões (grupos de distritos) – estudos 2 e 3 – que se agrega numa única secção de métodos. Como se esquematiza na Figura 4.

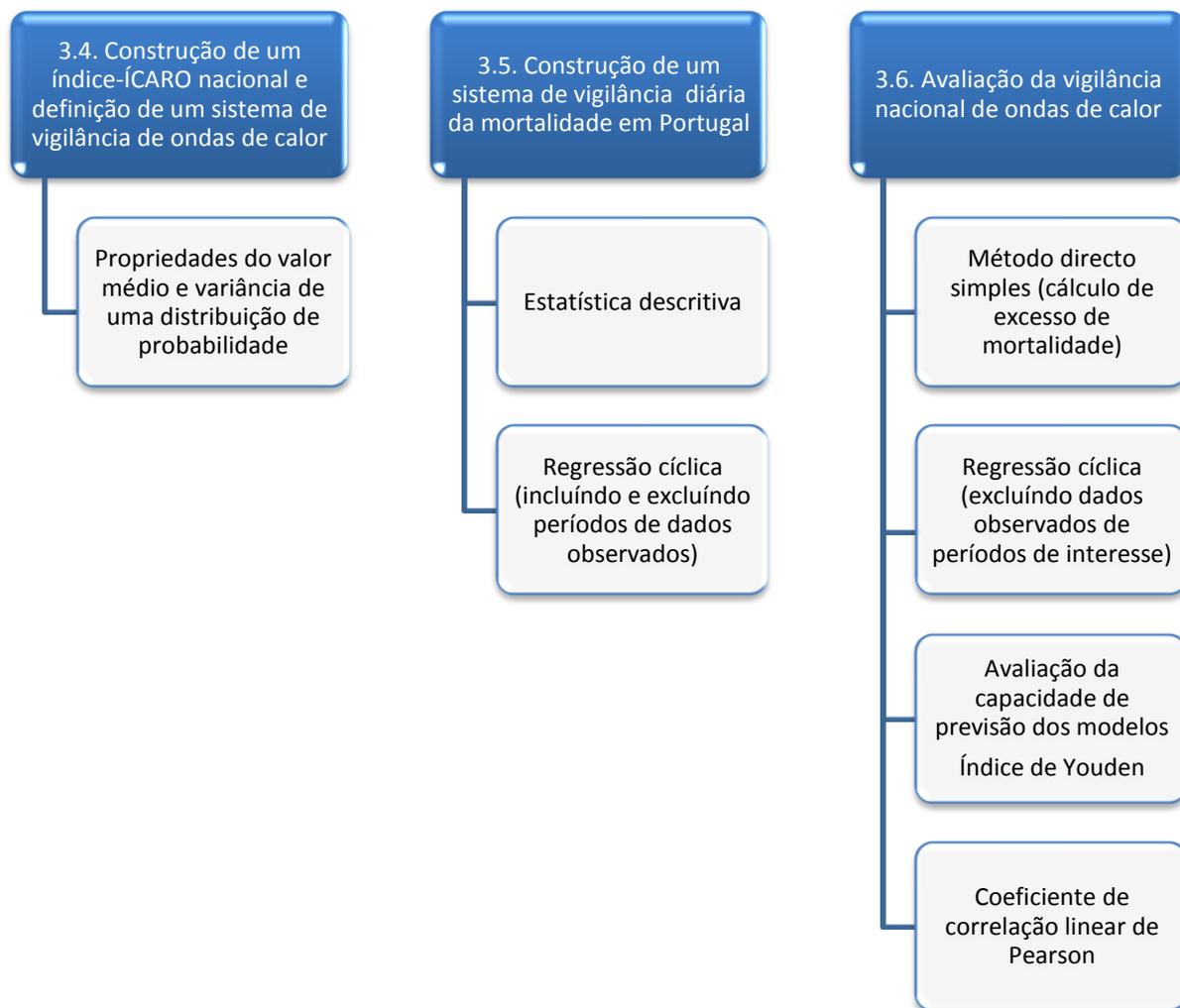


STA – Sobrecarga Térmica Acumulada; **STAG** – Sobrecarga Térmica Acumulada generalizada; **EXC** – Excesso de temperatura.

STA, STAG e EXC são variáveis construídas em função das temperaturas do ar observadas e de uma temperatura limiar (que pode não ser fixa), para modelar a relação entre a temperatura e a mortalidade.

STA e STAG são funções cumulativas do observado até um dado dia t e **EXC** é uma função momentânea apenas relativa ao dado dia t .

Figura 2: Esquema síntese dos aspectos metodológicos dos estudos 1 a 3



STA– Sobrecarga Térmica Acumulada; **STAG** – Sobrecarga Térmica Acumulada generalizada; **EXC** – Excesso de temperatura.

STA, STAG e EXC são variáveis construídas em função das temperaturas do ar observadas e de uma temperatura limiar (que pode não ser fixa), para modelar a relação entre a temperatura e a mortalidade.

STA e STAG são funções cumulativas do observado até um dado dia t e **EXC** é uma função momentânea apenas relativa ao dado dia t .

Figura 3. Esquema síntese dos aspectos metodológicos dos estudos 4 a 6

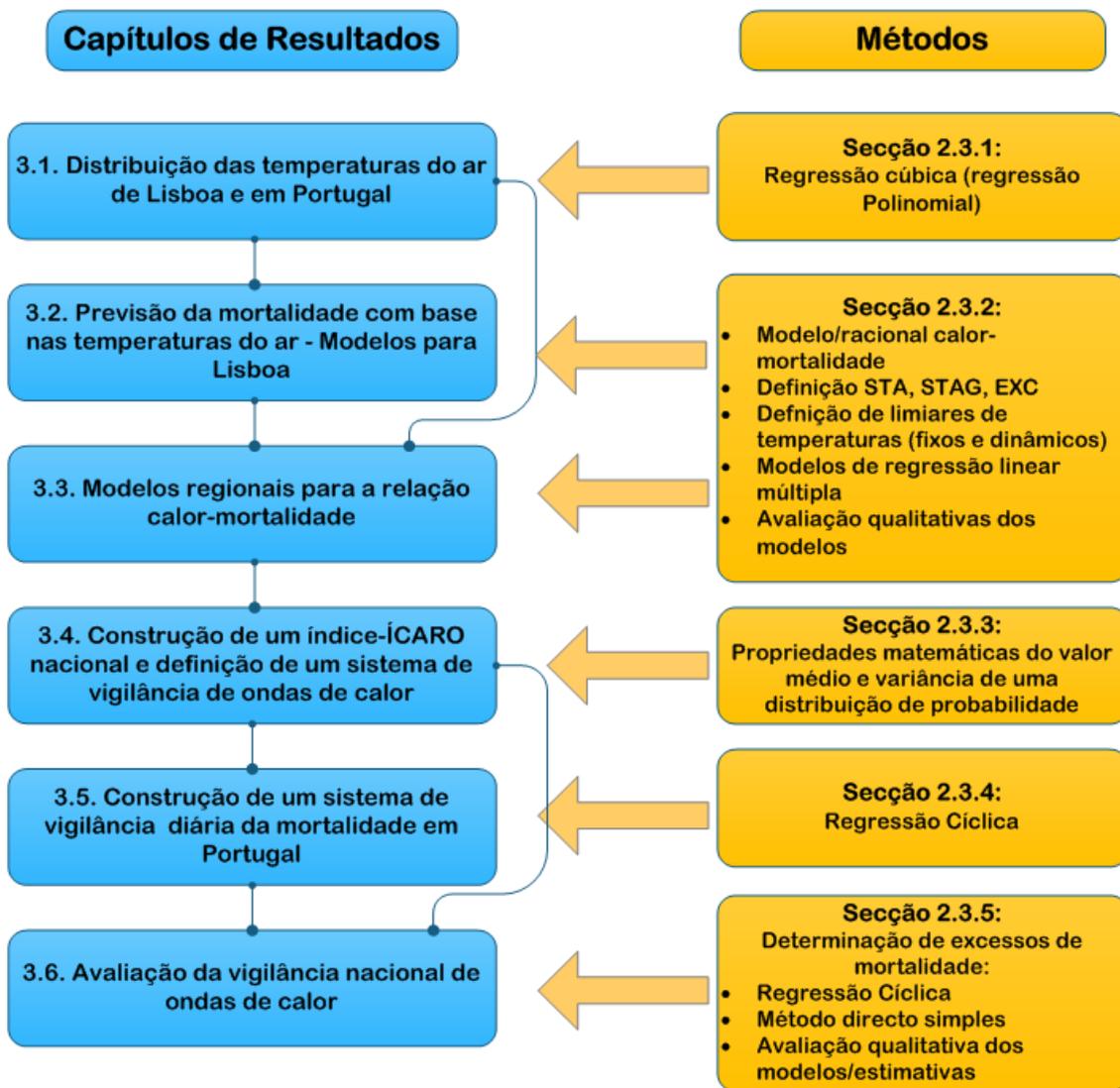


Figura 4: Esquema da relação entre secções de resultados e as respectivas secções detalhadas de métodos relativos ao conjunto de estudos definidos

2.3.1. Modelação das temperaturas do ar por distrito de Portugal Continental

O estudo e o conhecimento da evolução das temperaturas do ar nos diferentes distritos de Portugal Continental, quer do ponto de vista geográfico quer ao longo do período de Verão é essencial para as várias opções metodológicas feitas na construção dos modelos de previsão da mortalidade.

Nesta dissertação interessaram três níveis distintos da distribuição das temperaturas: a *distribuição nacional* que visou o conhecimento e entendimento da distribuição geográfica; a *distribuição semanal* das

temperaturas, sobretudo de Lisboa onde se visou ter modelos mais elaborados; e a *distribuição diária* onde o objectivo principal foi a respectiva modelação matemática para posterior construção de informação útil para a vigilância de ondas de calor ao nível do distrito.

O estudo geográfico da distribuição das temperaturas foi feito de forma descritiva com a construção de mapas de Portugal Continental onde se apresentaram as distribuições dos percentis 97,5% das temperaturas tri-horárias e das temperaturas máximas diárias de 1981 a 2000 por distrito.

A distribuição semanal das temperaturas do ar do distrito de Lisboa foi estudada de forma descritiva, através de simples medidas de resumo como a mediana e percentis e da definição de limites de variação. Estes limites, barreiras “críticas” em termos da possível identificação de temperaturas anómalas, correspondem aos limites de definição de *outliers* moderados e severos estabelecidos por Tukey, respectivamente, $L1 = Q3 + 1,5 * [Q3-Q1]$ ¹², Q1 e Q3 denotam o 1º e o 3º quartil respectivamente. Q3 - Q1 é amplitude interquartílica o limite $L2 = Q3 + 3 * [Q3-Q1]$ ¹³. Estes limites foram suavizados fazendo-se a média móvel de uma janela de 5 semanas consecutivas.

Por último, a distribuição diária das temperaturas por distrito foi modelada usando um modelo de regressão cúbica (caso particular da regressão polinomial (47)) que tem a seguinte forma genérica:

$$Y_t = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \varepsilon$$

Onde,

Y_t - representa a temperatura observada no dia t ;

X - representa a ordem do dia na sequência temporal escolhida (do ponto de vista prático escolheu-se o número de dias a contar desde o dia 1 de Maio);

b_i - são os respectivos parâmetros de regressão; e,

¹² Este limite é denominado por Barreira Interna Superior (Murteira, 1993).

¹³ Este limite é denominado por Barreira Externa Superior (Murteira, 1993).

ε - Um processo de erro com valor esperado de zero.

Este modelo enquadra-se no modelo geral apresentado em 2.3.2.2 quando se considera $X_k = X^k$, isto porque o modelo de regressão polinomial é um caso particular do modelo de regressão múltipla.

2.3.2. Modelos de previsão de ondas de calor

Nesta secção apresentam-se os métodos adoptados para a construção e desenvolvimento dos modelos para a relação entre ocorrência de calor e mortalidade. O trabalho consistiu em propor novos desenvolvimentos a um modelo previamente desenvolvido e publicado pelo Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge (INSA) (36) e proceder aos respectivos testes estatísticos.

A abordagem que serviu de ponto de partida (36) assumiu a existência de um limiar de temperatura, fixo, a partir do qual a mortalidade começa a agravar-se na população.

O que se fez nesta secção foi começar por expor o modelo simples que sintetiza a relação calor-mortalidade ao nível ecológico (numa base populacional) (48) e, a partir deste, propor e construir desenvolvimentos visando obter modelos mais elaborados.

Como se descreve na secção seguinte, o modelo inicial assentava num limiar de temperatura e num racional de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA) que, num dado dia, consistia na multiplicação do número de dias consecutivos acima de 32°C pelo excesso de temperatura (acima de 32°C) desse dia. Nesta dissertação foram testadas várias ideias que potencialmente avançam o conhecimento sobre o mecanismo de risco da ocorrência de calor para a mortalidade humana: uma das ideias é a generalização da temperatura limiar para um qualquer limiar τ ; outra, a generalização do conceito de STA permitindo que um único dia abaixo do limiar de referência não elimine todo o risco acumulado ao longo de vários dias de calor. Generalizaram-se depois os limiares de exposição ao calor, propondo diferentes tipos de limiares fixos (a temperatura limiar é fixa ao longo de todo o período alargado de Verão) e limiares dinâmicos (onde se assumiu que o risco pode variar ao longo do tempo para um mesmo limiar de temperatura

que constitui um perigo (49)). Esta abordagem permite, por exemplo, integrar no modelo desenvolvido a noção de adaptação a subidas graduais das temperaturas ambientais.

É feito o desenvolvimento destas ideias, propondo novas variáveis e ensaios mais sofisticados de limiares dinâmicos para a informação e dados relativos ao distrito de Lisboa. Esta construção de modelos mais elaborados e mais específicos para Lisboa deve-se ao facto da respectiva base populacional (grande densidade populacional) do distrito permitir evitar o problema de ter de se lidar com diferentes temperaturas de referência.

A seguir, na persecução do objectivo principal de conseguir um modelo, vários modelos, ou uma estratégia que permita monitorizar o risco e identificar o perigo associado à ocorrência de ondas de calor em Portugal, propõem-se e ensaiam-se modelos regionais. Dada a existência de limitações técnicas que passam essencialmente pelas reduzidas densidades populacionais e concomitante heterogeneidade de exposições a diferentes níveis de temperatura, é adoptada uma estratégia mais simples: definem-se regiões que agregam vários distritos e adoptam-se apenas limiares fixos, embora se usem dois limiares distintos para permitir modelar adaptações distintas e mais ou menos complexas nas diferentes regiões.

Construídos e ensaiados os modelos regionais, discute-se e procura-se um índice, uma medida que sintetize o risco associado à ocorrência de calor a nível nacional.

2.3.2.1 Construção de variáveis

2.3.2.1.1 Construção da variável Sobrecarga Térmica Acumulada

A variável **Sobrecarga Térmica Acumulada** (STA), tal como preconizada por Nunes e Canto e Castro (1998) (36), pode ser facilmente generalizada para um qualquer nível de temperatura limiar τ :

$$STA_t(\tau) = DOND_t(\tau) \times Exc_t(\tau),$$

onde:

$$DOND_t(\tau) = \begin{cases} DOND_{t-1}(\tau) + 1 & \text{se } T_{\max,t} \geq \tau \\ 0 & \text{se } T_{\max,t} < \tau \end{cases}$$

$DOND_t(\tau)$ - é o número de dias consecutivos a que a temperatura máxima do ar (T_{\max}) se encontra acima de τ até ao dia t , e

$$Exc_t(\tau) = \begin{cases} T_{\max,t} - \tau & \text{se } T_{\max,t} > \tau \\ 0 & \text{se caso contrário} \end{cases}$$

$Exc_t(\tau)$ - é o excesso da temperatura máxima (T_{\max}) acima de τ no dia t .

Descrevendo (em vez de usar uma linguagem matemática): a *sobrecarga térmica acumulada* no dia t acima do limiar de temperatura de referência (τ) é igual à *Duração da Onda* de calor (número de dias consecutivos com temperatura acima do limiar de referência) vezes o *Excesso de temperatura* no dia t (diferença em graus Célsius entre a temperatura máxima do dia t e o limiar de referência τ).

2.3.2.1.2 Construção da variável Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada

Para efeitos da exploração da modelação da relação entre o fenómeno da ocorrência de ondas de calor e mortalidade, utilizou-se neste trabalho a generalização da STA, resultando a variável Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada (STAG). Definida do seguinte modo:

$$STAG_t(\tau) = DOND_t(\tau) \times Exc_t(\tau),$$

onde:

$$DOND_t(\tau) = \begin{cases} DOND_{t-1}(\tau) + 1 & \text{se } T_{\max_t} \geq \tau \\ DOND_{t-1}(\tau) - 1 & \text{se } T_{\max_t} < \tau \wedge DOND_{t-1}(\tau) > 0 \\ 0 & \text{se } T_{\max_t} < \tau \wedge DOND_{t-1}(\tau) = 0 \end{cases}$$

$DOND_t(\tau)$ - é uma ponderação da ocorrência de vários dias muito próximos em que a temperatura máxima do ar se encontra acima de τ até ao dia t , e

$Exc_t(\tau)$ - é o excesso da temperatura máxima (Tmax) acima de τ no dia t , tal como definido no ponto anterior.

O ideia subjacente à variável $DOND_t(\tau)$ é permitir que o efeito da ocorrência de vários dias de temperaturas elevadas (acima do limiar τ) se possa manter latente durante algum tempo, para que, se ocorrer outro pico de calor muito próximo, os efeitos do pico anterior ainda possam ser previstos pelo modelo. Deste modo, se a meio de uma grande onda de calor ocorrer um ou dois dias com temperatura abaixo do respectivo limiar, o processo de modelação não faz uma reinicialização (*reset*) mas apenas faz um “arrefecimento”, reduzindo a carga latente de exposição ao excesso de calor.

2.3.2.2 Modelos estatísticos

Para a modelação da série de óbitos diários foi utilizada a *Análise de Regressão Linear Múltipla* (45), onde se utilizaram como variáveis independentes funções da temperatura máxima do ar e variáveis indicadoras do mês e do ano.

Foi utilizado o procedimento “*Stepwise*” para seleccionar as variáveis que formariam cada modelo, recorrendo aos critérios habituais: nível de significância de 5% para a entrada das variáveis no modelo e de 10% para a saída das variáveis do modelo. O procedimento “*Stepwise*” permite que iterativamente, passo-a-passo, as variáveis entrem e sejam removidas do modelo, até encontrar o bloco de variáveis que melhor expliquem a variação da variável dependente.

A expressão geral dos modelos ensaiados é a seguinte:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

Onde,

Y - variável dependente (número de óbitos diários);

X_k - variáveis independentes (variáveis funções da temperatura do ar);

β - declive (ou vector de declives) da recta ou alteração (aumento ou diminuição) no valor médio de Y associado a um aumento unitário de X;

ε_i - variável aleatória residual que descreve os efeitos em Y não explicados por

$X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$.

Os modelos foram avaliados pelos valores das medidas relativas da qualidade do ajustamento (R, R² e R²_{Ajustado}). R indica a associação linear obtida e R² é o coeficiente de determinação que tende a ser influenciado pela dimensão da amostra e pela dispersão existente nos dados, no entanto é uma medida em que a qualidade do ajustamento depende do número de variáveis no modelo. Como alternativa a estas duas medidas o R²_{Ajustado} é mais indicado quando existem várias variáveis independentes, indicando também a qualidade do ajustamento.

Para além destas medidas, analisaram-se os resíduos estimados, através do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para testar se os resíduos dos modelos aplicados aos dados seguem uma distribuição normal com valor médio nulo. O nível de significância adoptado foi 0,05.

A análise dos dados foi feita usando o programa estatístico SPSS 16.0. Para a preparação de algumas variáveis dependentes foi usado o programa Microsoft Excel 2003.

2.3.2.3 Metodologia para a avaliação da capacidade de previsão dos modelos

A avaliação da capacidade dos modelos de preverem correctamente dias com mortalidade foi feita usando os conceitos de sensibilidade, de especificidade, os valores preditivos positivos e negativos, percentagem de falsos positivos e negativos e percentagem de decisões correctas (42, 43).

Para concretizar estes conceitos estabeleceram-se as seguintes definições baseadas nas distribuições observadas de mortalidade de Maio a Setembro (período de Verão alargado), operacionalizadas do seguinte modo:

OCORRÊNCIA 1 – Dia com mortalidade elevada – definido como um dia em que a mortalidade observada excede o limite $L1 = Q3 + 1,5 * [Q3-Q1]$ ^{14,15};

OCORRÊNCIA 2 – Dia com mortalidade muito elevada – definido com um dia em que a mortalidade observada excede o limite $L2 = Q3 + 3 * [Q3-Q1]$ ¹⁶.

Podemos de igual modo definir níveis de previsão análogos:

¹⁴ Q1 e Q3 denotam o 1º e o 3º quartil respectivamente. Q3 - Q1 é amplitude interquartilica.

¹⁵ Este limite é denominado por Barreira Interna Superior (Murteira, 1993).

¹⁶ Este limite é denominado por Barreira Externa Superior (Murteira, 1993).

PREVISÃO 1 – O modelo prevê, para o respectivo processo de mortalidade, um dia com número de óbitos elevado (superior a L1);

PREVISÃO 2 – O modelo prevê, para o respectivo processo de mortalidade, um dia com número de óbitos muito elevado (superior a L2);

definindo então,

Sensibilidade – estimada pela % de dias em que foi previsto um número elevado de óbitos, entre os dias em que efectivamente se observou um número elevado de óbitos.

$$\text{Sensibilidade} = P(\text{PREVISÃO} | \text{OCORRÊNCIA})^{17}$$

Especificidade – estimada pela % de dias em que não foi previsto um número não elevado de óbitos, entre os dias em que efectivamente não ocorreu um número elevado de óbitos.

$$\text{Especificidade} = P(\overline{\text{PREVISÃO}} | \overline{\text{OCORRÊNCIA}})^{18}$$

Valor Preditivo Positivo – estimada pela % de dias em que ocorreu um número elevado de óbitos, entre os dias em que foi previsto pelo modelo um número elevado de óbitos.

$$\text{Valor Preditivo Positivo} = P(\text{OCORRÊNCIA} | \text{PREVISÃO})$$

Valor Preditivo Negativo – estimada pela % de dias em que não ocorreu um número elevado de óbitos, entre os dias em que foi previsto pelo modelo um número não elevado de óbitos.

¹⁷ Lê-se: Probabilidade do evento PREVISÃO se aconteceu o evento OCORRÊNCIA. Probabilidade de prever um dia com mortalidade elevada se, de facto, se tratou de um dia com mortalidade elevada.

¹⁸ Lê-se: Probabilidade do evento NÃO-PREVISÃO se aconteceu o evento NÃO-OCORRÊNCIA. Probabilidade de prever um dia sem mortalidade elevada se, de facto, se tratou de um dia sem mortalidade elevada.

$$\text{Valor Preditivo Negativo} = P(\overline{\text{OCORRÊNCIA}} | \overline{\text{PREVISÃO}})$$

$$\% \text{ Falsos Positivos} = P(\overline{\text{PREVISÃO}} | \overline{\text{OCORRÊNCIA}}) = 1 - \text{Especificidade}$$

$$\% \text{ Falsos Negativos} = P(\overline{\text{PREVISÃO}} | \text{OCORRÊNCIA}) = 1 - \text{Sensibilidade}$$

Assumindo que a % de dias que se observou um nível elevado de óbitos pode ser usado como estimativa da verdadeira prevalência $P(\text{OCORRÊNCIA})$, i.e. a proporção de ocorrências estimada, podemos ainda definir a % de decisões correctas do modelo,

$$\begin{aligned} P(\text{Correcto}) &= P(\text{OCORRÊNCIA}) \times P(\text{PREVISÃO} | \text{OCORRÊNCIA}) + \\ &\quad + P(\overline{\text{OCORRÊNCIA}}) \times P(\overline{\text{PREVISÃO}} | \overline{\text{OCORRÊNCIA}}) \\ &= P(\text{OCORRÊNCIA}) \times \text{Sensibilidade} + [1 - P(\text{OCORRÊNCIA})] \times \text{Especificidade} \\ &= P(\text{OCORRÊNCIA}) \times (\text{Sensibilidade} - \text{Especificidade}) + \text{Especificidade} \end{aligned}$$

A decisão final sobre a qualidade dos modelos com base nesta bateria de medidas poderá revelar-se complexa, mas conceptualmente o interesse está na valorização dos modelos que confirmam os valores mais elevados de sensibilidade, de especificidade, de valores preditivos (positivos e negativos) e de probabilidade de correcta decisão, o que, obrigatoriamente, resultará também em valores mais baixos de taxas de falsos positivos e falsos negativos.

2.3.2.4 Modelo de previsão da mortalidade com base nas temperaturas do ar

2.3.2.4.1 Modelos para Lisboa – Ensaio de Limiares Fixos e Dinâmicos

2.3.2.4.1.1 Modelo para Lisboa

O modelo genérico, ensaiado neste trabalho, é dado por,

$$Y_t = C + I_{ano} + \alpha \times STAG_{t-1}(\tau) + \beta \times STAG_t(\tau) + \gamma \times Exc(\tau) + \varepsilon$$

Onde:

Y_t - representa o número de óbitos no dia t ;

I_{ano} - é uma variável ou um conjunto de variável indicadoras do ano e respectivos parâmetros (1981, 1991 ou 2003);

C - é a constante de regressão e

α , β , γ - são os parâmetros de regressão associados às variáveis $STAG_{t-1}(\tau)$, $STAG_t(\tau)$ e $Exc(\tau)$, respectivamente;

ε - é um processo aleatório de ruído branco¹⁹.

2.3.2.4.1.2 Definição de Limiares de Temperaturas

Neste estudo, foram definidos 4 modelos diferentes baseados na variação da temperatura máxima τ . A temperatura em cada modelo definiu-se do seguinte modo:

Limiar I: $\tau = 32^\circ C$ de Maio a Setembro

$$tau1 = 32 \quad se \quad t \geq \text{semana } 18$$

¹⁹ Observações independentes com distribuição normal $N(0; \sigma^2)$

Este limiar fixo corresponde ao estabelecido previamente para Lisboa (36). E que se verifica aqui corresponder ao quantil 97,5% da temperatura máxima do ar em Lisboa durante o período de Verão.

Limiar II: $\tau = 32^\circ C$ em Maio e $\tau = 35^\circ C$ de Julho a Setembro

$$\tau_2 = \begin{cases} 32 & \text{se } 18 \leq t < 28 \\ 35 & \text{se } t \geq 28 \end{cases}$$

Este limiar corresponde a um modelo que indica que o impacto das ondas de calor tende a ser maior quando mais precocemente ocorre na época de Verão (25, 38, 50). O limiar $32^\circ C$ foi obtido da literatura (4, 33, 34, 51). O limiar $35^\circ C$ foi obtido do estudo da distribuição semanal das temperaturas durante o período alargado de Verão de Maio a Setembro, correspondendo à estimativa do quantil 97,5% semanal das temperaturas (ver 3.1.1. na página 57).

Limiar III: τ varia por semana de acordo com os limites superiores da distribuição da temperatura máxima por semana, começando em $\tau = 29^\circ C$ em Maio (até à semana 22 – fim de Maio/início de Junho), aumentando $1^\circ C$ por semana até à semana 28, mantendo-se $\tau = 35^\circ C$ até à semana 33 e começando depois a decrescer também $1^\circ C$ por semana.

$$\tau_3 = \begin{cases} 29 & \text{se } t < 22 \\ 29 + (t - 22) & \text{se } 22 \leq t < 28 \\ 35 & \text{se } 28 \leq t < 34 \\ 35 - \frac{3}{4}(t - 33) & \text{se } t \geq 34 \end{cases}$$

Este limiar é uma simplificação da evolução semanal dos quantis 97,5% temperatura do ar de Lisboa (ver 3.1.1. na página 57), correspondendo à evolução habitual destas temperaturas.

Limiar IV: τ varia por semana de acordo com os limites superiores da distribuição da temperatura máxima por semana, começando com $\tau = 29^\circ C$

em Maio (até à semana 22 – fim de Maio/início de Junho), aumentando 1°C por semana até à semana 28 (2ª semana de Julho) e mantendo-se $\tau = 35^\circ\text{C}$ até ao final do mês de Setembro.

$$\tau_4 = \begin{cases} 29 + (t - 22) & \text{se } 22 \leq t < 28 \\ 35 & \text{se } t \geq 28 \end{cases}$$

Este limiar é uma mistura dos limiares II e III, pois faz a síntese das duas ideias. Uma, de que o limiar que define a eventual ocorrência corresponde à adaptação das temperaturas que são habituais ao longo das semanas; e a outra de que após a adaptação a temperaturas até ao limiar 35°C não existe uma razão clara para essa adaptação diminuir tão rapidamente como diminuem as temperaturas mais elevadas no final do Verão.

2.3.2.4.1.3 Nomenclatura dos modelos para Lisboa (ensaio de diferentes limiares)

Para efeitos de melhor compreensão designaremos aqui os modelos estudados por modelos I, II, III e IV. Esta numeração corresponderá à aplicação do modelo enunciado no início desta secção (2.3.2.4.1), aplicado usando a respectiva variável de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA ou STAG, conforme o contexto) com o limiar I, II, III ou IV conforme definidos em 2.3.2.1

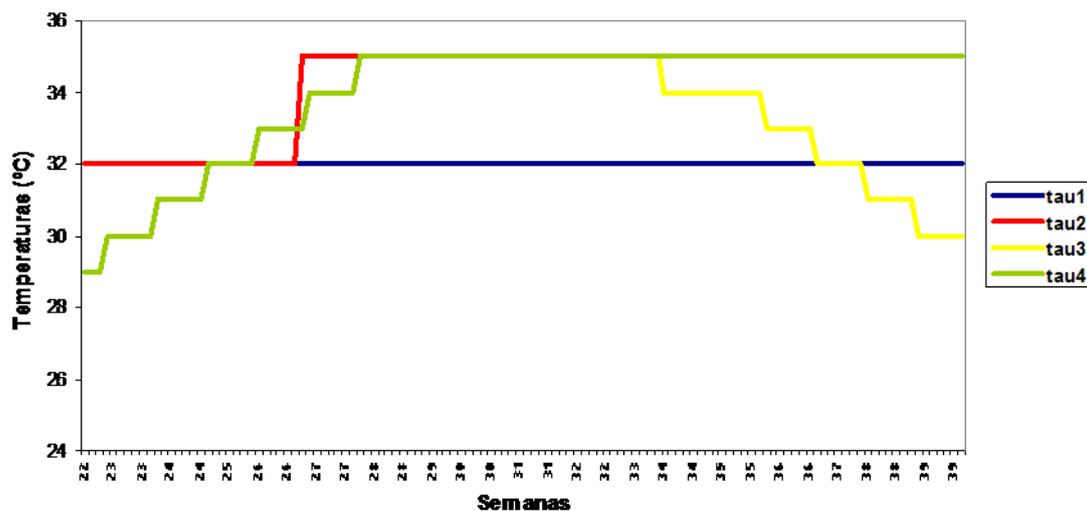


Figura 5: Distribuição dos valores dos limiares da temperatura para os 4 modelos.

2.3.2.4.2 Modelos Regionais para a relação calor-mortalidade

2.3.2.4.2.1 Modelos Regionais

O modelo genérico, utilizado neste trabalho, é dado por,

$$Y_t = C + I_{ano} + I_{mês} + \alpha \times STAG_{t-1}(\tau) + \beta \times STAG_t(\tau) + \varepsilon$$

Onde,

Y_t - representa o número de óbitos no dia t ;

I_{ano} - é uma variável ou um conjunto de variáveis indicadoras do ano (1981, 1991 ou 2003);

$I_{mês}$ - é uma variável ou um conjunto de variáveis indicadoras do mês (Junho, Julho ou Agosto);

$STAG_t$ - é a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada até ao dia t ;

$STAG_{t-1}$ - é a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada até ao dia $t-1$;

C - é a constante de regressão;

α , β - são os parâmetros do modelo de regressão,

ε - é um processo aleatório de ruído branco²⁰.

Os modelos apresentados foram construídos para os meses de Junho a Agosto e incluíram os anos em que ocorreram ondas de calor severas em Portugal (1981, 1991 e 2003) de todos os distritos pertencentes a cada região.

2.3.2.4.2.2 Definição de Limiares de temperaturas para os modelos regionais

No estudo, foram definidos dois limiares para a temperatura máxima τ . Em cada modelo foram construídas variáveis STAG para cada distrito com base neles:

²⁰ Observações independentes com distribuição normal $N(0; \sigma^2)$

Limiar I: $\tau = 32^{\circ} C$ de Maio a Setembro

Limiar II: $\tau = 35^{\circ} C$ de Maio a Setembro

2.3.2.4.2.3 Definição de Regiões

Para que se pudesse agrupar os distritos com condições climáticas (temperaturas máximas e mínimas) e mortalidade com características homogéneas em Portugal, recorreu-se à análise de *clusters* (45).

A *Análise de Clusters* teve como objectivo realizar uma análise exploratória dos dados de Maio a Setembro de 1981 a 2003, e fazer grupos (*clusters*) naturais dos distritos que possuam características semelhantes em termos de temperatura e mortalidade. Foi utilizado o *Método Hierárquico*, com o *Quadrado da Distância Euclidiana* como medida de semelhança ou distância entre cada par de objectos (distritos) e escolheu-se o Critério da Média dos Grupos ou Método de Ligação Média (Average Linkage Between Groups) para agregação ou desagregação dos objectos (45).

O Critério da Média dos Grupos define a distância entre dois grupos i e j como sendo a média das distâncias entre todos os pares de indivíduos constituídos por elementos dos dois grupos. Um grupo passa a ser definido como um conjunto de indivíduos no qual cada um tem mais semelhanças, em média, com todos os membros do mesmo grupo do que com os elementos de qualquer outro grupo.

Para a definição dos grupos (*clusters* de distritos), foi utilizado o *dendograma* que representa a aglomeração feita e que serve também para a escolha do número de grupos. Na definição final das regiões teve-se empiricamente em atenção a contiguidade dos distritos em Portugal Continental para a definição dos distritos mais semelhantes.

2.3.2.4.2.4 Construção dos Modelos Regionais

Foram utilizadas como variáveis independentes funções da temperatura máxima do ar $EXC(\tau)_t$, $STA(\tau)_t$, $STA(\tau)_{t-1}$, $STAG(\tau)_t$, $STAG(\tau)_{t-1}$, definidas acima.

A construção dos modelos foi realizada para quatro grupos de distritos (regiões – definidas com apoio da análise de *clusters*) em que as temperaturas do ar eram semelhantes. Realizaram-se vários modelos em que se considerou não apenas o número de óbitos diário total como variável dependente, mas também foram testados modelos em que se considerou como variável dependente o número de óbitos diário de indivíduos com idade superior ou igual a 65 anos [muitos estudos mostram relação do calor com a mortalidade e morbidade neste grupo etário (11, 12, 29, 52-56)] e o número de óbitos diário de indivíduos com idade superior ou igual a 75 anos [(5, 29, 55-63)].

Os vários modelos testados foram construídos para os meses de Junho a Agosto e incluíram os dados de todos os anos de 1981 a 2003, compreendendo portanto, os anos em que ocorreram ondas de calor graves em Portugal (1981, 1991 e 2003), mas consideraram-se também os dados no conjunto dos anos de 1981, 1991 e 2003 e, por último, analisaram-se modelos que incluíam apenas os anos de 1981 e 2003.

Neste trabalho, são apresentados seis modelos para cada Região definida, em que cada um integra um conjunto de variáveis e dados diferentes, com exceção de variáveis indicadoras dos anos de 1981, 1991 e 2003 (Iano 1981, Iano 1991 e Iano 2003) e de variáveis indicadoras dos meses de Junho a Agosto (Imês Junho, Imês Julho e Imês Agosto). Seguidamente explica-se o conteúdo dos modelos apresentados.

2.3.2.4.2.5 Nomenclatura dos modelos regionais

Modelo R I: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981, 1991 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica

acumulada generalizada (STAG), considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R II: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada generalizada, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R III: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981, 1991 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada e sobrecarga térmica acumulada generalizada, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R IV: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada e sobrecarga térmica acumulada generalizada, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Modelo R V: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada e sobrecarga térmica acumulada generalizada, considerando os dois limiares (32°C e 35°C), do distrito mais representativo de cada região definido como o distrito cuja temperatura apresentava a melhor correlação com as dos restantes distritos do grupo (ver secção 3.3.2.).

Modelo R VI: Modelo realizado apenas com os dados dos anos de 1981 e 2003 nos meses de Junho a Agosto e com as variáveis de sobrecarga térmica acumulada, sobrecarga térmica acumulada generalizada e as variáveis excesso de temperatura máxima considerando os dois limiares (32°C e 35°C), de todos os distritos pertencentes a cada região.

Tabela 1. Esquematização das opções feitas para a realização e teste dos modelos regionais

| Modelos | Anos | | | Limiares | | Variáveis | | | Temperaturas | |
|---------|------|------|------|----------|------|-----------|------|-----|--------------------|------------------------|
| | 1981 | 1991 | 2003 | 32°C | 35°C | STA | STAG | EXC | Todos os distritos | Distrito de Referência |
| R I | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | |
| R II | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | |
| R III | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| R IV | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| R V | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| R VI | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |

2.3.2.4.2.6 Opção de ensaio definida a priori

Dado que o conjunto de seis modelos enunciados na secção imediatamente anterior, abria um interminável número de opções para posterior ensaio e monitorização, optou-se à partida por limitar essas possibilidades.

Os critérios estabelecidos consistiram em considerar que:

- 1) as variáveis STAG tinham demonstrado um bom racional para os modelos para Lisboa (como se constata nas secções 3.2.4. e 3.2.5.);
- 2) o modelo final a ser monitorizado devia integrar a informação de todas as três ondas de calor mais relevantes, 1981, 1991 e 2003.

Assim, foi, desde logo, estabelecido que o modelo a ser implementado e ensaiado seria o **Modelo R I**. Salvaguardando-se, obviamente, a possibilidade de os restantes modelos poderem gerar algum conhecimento inesperado que fosse muito relevante, pois era a procura de eventuais novos conhecimentos que justificava a construção de tantos modelos distintos. Esta decisão *a priori* de implementação do Modelo R I revestiu-se em grande medida de questões práticas: 1) era necessário passar rapidamente à sua implementação no terreno (inclusão na vigilância da ondas de calor) e cuja avaliação iria demorar vários anos; 2) era um modelo que considerava para a sua construção todos os dados das ondas de calor mais graves ocorridas em Portugal e, com base nos

resultados já provisoriamente disponíveis para os modelos de Lisboa, era esperado que as variáveis STAG conferissem um bom modelo final. Existiam porém algumas dúvidas se o uso de dois limiares fixos ou das temperaturas de todos os distritos de cada região resultaria na construção dos modelos. Apesar de se ter salvaguardado proceder a alteração caso surgissem modelos melhores, não existiram motivos para alterar o modelo regional implementado para a monitorização regional das ondas de calor e foi o Modelo R I que esteve em uso de 2006 a 2009. A não existência de trabalhos similares não permitiu uma decisão baseada na literatura científica.

2.3.3. Construção de um Índice-ÍCARO Nacional, definição de um sistema de Vigilância de Ondas de Calor e do Índice-Alerta-ÍCARO

Na Secção 3.4 - Construção de um Índice-ÍCARO Nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor, que tem início na página 175, começa-se por apresentar a definição do índice-ÍCARO (64) e por estabelecer as respectivas propriedades recorrendo às regras do valor médio e da variância de uma distribuição de probabilidades.

Depois apresenta-se a construção e definição do sistema de vigilância de ondas de calor e que corresponde à versão original do sistema de Vigilância ÍCARO de 1999 (64). Em seguida é feita a discussão de cinco anos de experiência do índice-ÍCARO original (1999) que fundamenta as razões para a subsecção que se lhe segue – a definição de um Índice-ÍCARO nacional.

Nesta subsecção, página 195, são feitas quatro propostas de índices candidatos a índice do potencial risco de ocorrência de calor na mortalidade nacional. Nomeadamente, foram considerados: 1) o índice-ÍCARO 1999; 2) o índice baseado no modelo construído para Lisboa (tendo em conta limiares dinâmicos), 3) a média aritmética dos Índices-ÍCARO que resultam de cada modelo regional, e 4) a média ponderada dos Índices-ÍCARO regionais feita usando a população residente de cada região, recorrendo às respectivas estimativas distritais definidas pelo INE. Estas propostas foram avaliadas graficamente com o recurso a diagramas de dispersão de cada índice diário

versus a mortalidade diária observada em cada mês (Maio a Setembro), onde discute foi ainda usado o coeficiente de correlação de Pearson para discutir a relação observada.

A avaliação das diferentes propostas foi feita calculando os valores de sensibilidade e de especificidade, as taxas de falsos positivos e falsos negativos, os valores preditivos positivos e negativos e o índice de Youden usando dois limites de mortalidade definidos pelos quantis 99,9% e 99,9999%.

Por último é definido um enquadramento genérico para a interpretação de todos os índices do tipo ÍCARO, a que se chamou Índice-Alerta-ÍCARO. A definição do Índice-Alerta-ÍCARO baseou-se nas propriedades obtidas para um Índice-ÍCARO (secção 3.4.1.2, página 178) e teve como objectivo a obtenção de uma medida cuja variabilidade fosse independente do número médio diário de óbitos a ser resumido. Procedeu-se à determinação das propriedades do Índice-Alerta-ÍCARO recorrendo às noções de valor médio e variância das distribuições de probabilidade. E estas propriedades permitiram estabelecer novos critérios genéricos de definição de ondas de calor e métodos gráficos de monitorização de ondas de calor demonstradas usando dados observados do Verão de 2009.

2.3.4. Construção de um Sistema de Vigilância da Mortalidade

Na secção 3.5 - Construção de um Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade em Portugal (VDM), que tem início na página 223, os métodos usados foram os que a seguir se descrevem.

Para efeitos de confirmação de impacto e de detecção de impacto de ondas de calor ou períodos de calor na mortalidade foram ajustados modelos de regressão cíclica [conforme descrito em ver 2.3.5.1.2, página 52] ao conjunto de dados de mortalidade do sistema VDM [extensamente descrito nessa secção 3.5] relativos ao período de Janeiro de 2007 a Junho de 2009. Para a abordagem confirmatória foram ajustados modelos aos dados excluindo os períodos de eventos conhecidos e de interesse (nomeadamente períodos de actividade gripal e períodos de calor - Tabela 2 e Tabela 3) e para a abordagem de detecção foram ajustados os mesmos modelos a todos os dados, sem tomar em linha de conta os

períodos de eventos conhecidos. Foi Aplicado o modelo de regressão cíclica (devidamente adaptado²¹) – apresentação formal desta metodologia é feita na secção 2.3.5.1.2, página 52 – tanto a dados de mortalidade diários como a esses dados agrupados semanalmente usando o pacote Flubase disponível na plataforma R (65). Os dados foram ainda estratificados por sexo, grupos etários (65-74 e 75 ou mais anos) e por regiões NUTS II (Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve). A Figura 65, na página 235, representa a série de mortalidade, identificando as epidemias de gripe, os períodos de calor, bem como a evolução do sistema ÍCARO. A evolução da taxa de incidência ILI²² por 100 000 habitantes é apresentada noutra local (66).

A mortalidade prevista pelo modelo foi considerada a mortalidade basal – a linha de base. Para impactos de períodos de calor, um único dia (ou semana, conforme a situação modelada) de mortalidade acima do valor máximo do intervalo de confiança de 95%, dentro de um período de evento de calor, foi considerado como um excesso de mortalidade confirmado.

Tabela 2. Períodos de actividade gripal potencialmente associadas ao excesso de mortalidade

| Época de actividade gripal | Período (semanas) | Número de Semanas |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2006-2007 | 3/2007 a 9/2007 | 7 |
| 2007-2008 | 3/2008 a 7/2008 | 5 |
| 2008-2009 | 49/2008 a 6/2009 | 10 |

Fonte: Rede Médicos-Sentinela – DEP/INSA

²¹ No modelo de regressão cíclica enunciado na subsecção 2.3.5.1.2, na página 49, a constante 365 respeitante ao número de dias do ano, tem de ser adaptada para representar o número de semanas quando aplicado o método a dados agregados semanalmente.

²² *Influenza Like Illness* (sintomas semelhantes aos da gripe) que correspondem às estimativas de incidência da gripe determinadas semanalmente pela Rede de Médicos-Sentinela (46. Medicos-Sentinela. O que se fez em 2007. Lisboa: Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge 2009.)

Tabela 3. Períodos de calor potencialmente associados a excesso de mortalidade

| Ano | Período | Início | Fim |
|------|---------|------------|------------|
| 2007 | p1 | 09-05-2007 | 11-05-2007 |
| 2007 | p2 | 17-05-2007 | 20-05-2007 |
| 2007 | p3 | 02-06-2007 | 08-06-2007 |
| 2007 | p4 | 04-07-2007 | 16-07-2007 |
| 2007 | p5 | 25-07-2007 | 13-08-2007 |
| 2007 | p6 | 17-08-2007 | 20-08-2007 |
| 2007 | p7 | 23-08-2007 | 29-08-2007 |
| 2007 | p8 | 02-09-2007 | 14-09-2007 |
| 2008 | P1 | 13-06-2008 | 16-06-2008 |
| 2008 | p2 | 25-06-2008 | 03-07-2008 |
| 2008 | p3 | 14-07-2008 | 26-07-2008 |
| 2008 | p4 | 30-07-2008 | 16-08-2008 |
| 2008 | p5 | 20-08-2008 | 30-08-2008 |
| 2009 | P1 | 25-05-2009 | 04-06-2009 |
| 2009 | p2 | 11-06-2009 | 24-06-2009 |

2.3.4.1 Determinação do atraso da informação no sistema VDM

Para determinar o atraso da entrada da informação sobre os óbitos no sistema VDM, foram considerados os dados diários por data de registo, a data da morte e do respectivo número de dias de atraso. Os dados respeitaram ao período *de 5 de Junho 2007* (dia a partir do qual todas as CRC passaram a estar informatizadas e incluídas no Sistema) até *4 de Junho 2009*. Procedeu-se à análise dos dados por dia da semana e por mês de ocorrência do óbito usando frequências relativas.

2.3.5. Avaliação do Sistema de Vigilância e Monitorização das Ondas de Calor

Na secção 3.6 – *Avaliação da Vigilância Nacional de Ondas de Calor*, que tem início na página 249, os métodos usados foram os que a seguir se descrevem.

Foram usados: dados do sistema de vigilância diária da mortalidade (VDM) relativos ao período compreendido de Janeiro de 2007 a Setembro de 2009 (inclusive); as temperaturas máximas do ar por distrito diariamente disponibilizadas pelo Instituto de Meteorologia (IM); os índices-ÍCARO (Nacional e Regionais) calculados diariamente pelo sistema de vigilância ÍCARO; e as taxas de incidência de gripe dos médicos sentinela semanais (46), no período de Janeiro 2007 a Setembro 2009 (inclusive) [estes usados exclusivamente para efeitos de modelação estatística das séries de mortalidade]. Foram considerados dois métodos para avaliação da existência de excesso de mortalidade associada ao calor e obtenção de estimativas desse excesso: 1) Método directo simples (67) e 2) regressão cíclica (44) [tal como descrito na secção 2.3.5.1.2].

Começou-se por definir os períodos de ocorrência de calor (Tabela 49, página 251). Estes períodos foram definidos como períodos superiores a um dia com Índices-ÍCARO positivos, dias com um distrito com temperatura máxima igual ou superior a 36°C ou pelo menos dois distritos com temperatura máxima igual ou superior a 35°C.

No Método Directo, optou-se pela comparação da mortalidade observada nos períodos definidos de 2009 com os períodos homólogos de 2007 e 2008. Quando, num período, só um dos anos de comparação foi particularmente afectado pela ocorrência de calor (resultando em Índices-ÍCARO positivos) optou-se pelo uso exclusivo do ano sem qualquer ocorrência de calor. Quando houve ocorrência de Índices-ÍCARO positivos em ambos os anos de comparação, de forma parcial, optou-se por usar como referência a média da informação disponível nesses períodos para os dois anos. E quando num período em que em nenhum dos anos foi afectado por calor também se usou como referência a média de óbitos observados dos dois anos. Para o cálculo de probabilidades e intervalos de confiança assumiu-se a distribuição de Poisson.

Foi usada **regressão cíclica** para ajustar os dados de mortalidade, tendo sido removida toda a mortalidade observada nos períodos de eventos de calor definidos (Tabela 49, página 251) e também nos períodos de actividade gripal conhecidos até Março 2009 (marcados a verde na Figura 72, página 250). Neste método definiu-se excesso de mortalidade, nos períodos definidos com ocorrência de calor, de duas formas: 1) diferença da mortalidade observada no período e a mortalidade esperada resultante da linha de base determinada pelo modelo de regressão cíclica (*definição 1*); e, 2) a soma da diferença da mortalidade observada e esperada dos dias em que a mortalidade observada se encontrou acima do limite de 95% de confiança da linha de base da mortalidade definida pelo modelo de regressão cíclica (*definição 2*).

Fez-se ainda uso das propriedades do Índice-ÍCARO, definidas na subsecção 3.4.1.2 (página 178), para definir a respectiva estimativa cumulativa de mortalidade, definida *a priori* apenas com o recurso a dados climáticos, e procedeu-se à comparação com estimativas de excesso de mortalidade associadas ao calor definidas pelos outros métodos usando o coeficiente de correlação linear de Pearson (68).

2.3.5.1 Métodos de medição do impacto de Ondas de Calor

Uma gama de métodos epidemiológicos foi usada no passado recente para estimar o efeito da temperatura ambiente na mortalidade e morbidade e dessa forma estimar a mortalidade atribuível à temperatura. A relação entre temperatura e mortalidade ou morbidade tem sido estudada usando diferentes desenhos epidemiológicos: estudos descritivos; estudos cartográficos (de mapeamento); estudos de séries-temporais; estudos de caso-controlo; e estudos de caso-crossover²³. Os estudos de séries temporais são uma estratégia eficiente para analisar as relações entre temperaturas (ou outros parâmetros climáticos) e a mortalidade na população de uma ou várias regiões em períodos de tempo longos. Estes métodos (séries temporais), são considerados suficientemente

²³ Delineamento epidemiológico observacional que foi proposto pelo Maclure em 1991 para avaliar se uma determinada exposição intermitente ou incomum pode ter provocado, de forma imediata ou em curto prazo, um evento agudo (69. Carracedo-Martinez E, Tobias A, Saez M, Taracido M, Figueiras A. [Case-crossover design: Basic essentials and applications]. Gac Sanit. 2009 Mar-Apr;23(2):161-5.)

rigorosos para avaliar associações de curto prazo (dia-para-dia ou semana-para-semana) entre exposições ambientais e mortalidade, e se existirem ciclos sazonais ou tendências de longo prazo estes podem ser ajustados (25).

Mas a relação entre temperatura e mortalidade pode ser obtida usando um modelo de regressão linear que quantifica a extensão da variabilidade dos óbitos de dia-para-dia que é explicada pela variação nas temperaturas. Obviamente, um passo importante é remover a componente sazonal da série de dados para que apenas as associações de curto-prazo (dia-para-dia) restem para serem modeladas (50).

Para a discussão dos modelos do impacto de ondas de calor ou períodos de calor serão apresentados e discutidos dois modelos: um dito simples, e outro que recorre a técnicas de modelação estatística.

2.3.5.1.1 Método Simples

O método simples consiste no recurso à mortalidade observada em períodos semelhantes (antes ou depois) ao do evento de interesse, do mesmo ano ou de período igual de ano contíguo, e proceder à respectiva comparação calculando a razão entre mortalidade observada (O) e a mortalidade esperada (E) - Razões O/E - ou razão de taxas²⁴ (RR) do número total de óbitos durante a onda de calor versus o número de óbitos no período de referência.

Como explica (67), o cálculo de razões de taxas (RR) envolve habitualmente estimativas de números de pessoas-tempo, mas admitindo que o tamanho da população permanece constante durante o Verão, o número de pessoas da taxa no numerador e da Taxa em denominador cancela-se. Além disso, para comparar as ondas de calor e referência períodos com igual número e distribuição de dias, a RR simplifica ainda mais as mortes no período da onda

de calor (A_1) dividido por mortes no período referente (A_0): $RR = \frac{A_1}{A_0}$.

Depois de obtida estimativa do excesso relativo, o resultado é extrapolado para o nível do total populacional.

²⁴ Tradução de *rate ratio* (42. Cayolla-da-mota. Um Dicionário de Epidemiologia (segunda edição). Lisboa: Departamento de Estudos e Planeamento da Saúde; 1995.)

Obtidas as estimativas de excesso foram calculados os respectivos intervalos de confiança.

Intervalos de confiança

Os intervalos de confiança para as estimativas de excesso de óbitos foram calculados recorrendo à distribuição de Poisson. Foi usada a seguinte fórmula que recorre à função distribuição do Qui-quadrado (70)

$$\left(\frac{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}; 2E}}{2}; \frac{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}; 2(E+1)}}{2} \right)$$

Quando o número de óbitos esperado/observado foi relativamente elevado (>100) recorreu-se à respectiva aproximação à distribuição Normal.

Os intervalos de confiança a 95% para a razão entre os valores de mortalidade observados e esperados em cada período de comparação foram, calculados através do “método exacto de Silcocks”, que usa a relação entre as distribuições de probabilidade beta e binomial (71). Nomeadamente, para determinar estes limites de 95% de confiança calculam-se os valores de p, pL – Limite inferior e pU – limite superior, tal que $Be(pL, O, E + 1) = 0,025$ e que $Be(pU, O + 1, E) = 0,975$ e os limites de confiança para a razão (O/E) são dados por

$$\left(\frac{pL}{1 - pL}; \frac{pU}{1 - pU} \right).$$

2.3.5.1.2 Modelo de Regressão Cíclica

Para modelar estatisticamente os dados de mortalidade diária de forma a fazer para o cálculo de excesso de mortalidade, aqui cingido a eventos de ocorrência de calor (apesar de se considerem os períodos de actividade gripal na modelação com vista a modelar o melhor possível a linha de base da mortalidade) optou-se por discutir e exemplificar o uso de um modelo de regressão cíclica – técnica de regressão múltipla usado com frequência e que se insere no enquadramento mais geral da regressão trigonométrica (44). Não se considerou outra técnica, como a construção de modelos de séries temporais, pelo facto de se dispor de uma série de dados relativamente curta, apenas aproximadamente 2,5 anos.

A motivação da utilização da regressão cíclica é a de obter a linha de base para a mortalidade sem o efeito de outros eventos com potencial impacto sobre a mortalidade (neste trabalho consideram-se episódios de calor e episódios de actividade gripal). Tal é feito partindo do facto de que se dispõe de dados de mortalidade sequenciais, de uma série temporal consistente, significando isto que os dados são colhidos de forma regular e sem alterações ao longo do tempo, quer através de uma amostragem ou de forma censitária – neste trabalho as séries de mortalidade usadas são censitárias. A obtenção da linha de base para a mortalidade consegue-se modelando os dados por omissão dos relativos aos períodos do evento de interesse e/ou outros considerados relevantes (como afirmado acima).

Na prática, a regressão cíclica consiste num modelo de regressão linear múltipla cujas variáveis dependentes são funções da sequência temporal e que modelam o padrão cíclico anual da mortalidade e a existência de tendência a longo prazo e que assume a seguinte forma (considerando dados diários),

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \beta_1 \sin(2\pi t/365) + \beta_2 \cos(2\pi t/365) + \varepsilon_t$$

Onde,

α_i são os parâmetros da componente polinomial que ajusta para a tendência de longo-prazo eventualmente presente nos dados,

β_j são os parâmetros da componente cíclica que ajustam a componente de sazonalidade presente nos dados, e,

ε_t é a estrutura de erro aleatório observacional, sendo assumida seguir um distribuição normal $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$,

t representa a sequência temporal,

e, a constante 365 indica que se modelam dados diários com sazonalidade anual.

Assim, obtida a linha de base e identificados os períodos de excesso de mortalidade, que correspondem aos períodos dos eventos de interesse (onda de calor ou períodos de calor), identificam-se como excessos de mortalidade significativos os valores de mortalidade que ultrapassam o limite superior do intervalo de confiança a 95% obtido pelo método de regressão linear.

Os excessos correspondem à diferença entre a mortalidade observada e a linha de base nos períodos de excesso de mortalidade. Os intervalos de confiança foram calculados conforme descrito na subsecção anterior (secção 2.3.5.1.1).

3. RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

<Página em branco>

3.1 Distribuições da temperatura do ar em Lisboa e em PORTUGAL

3.1.1. Temperaturas de Lisboa

A Tabela 4 mostra distribuições das temperaturas do ar obtidas tendo por base as temperaturas tri-horárias registadas durante 20 anos. São apresentadas, nomeadamente, a distribuição das temperaturas tri-horárias, a distribuição da média diária das temperaturas, e a distribuição da temperatura máxima diária, calculando para o efeito a mediana e os quartis das respectivas temperaturas, por cada semana, e um sumário global usando a média e o desvio padrão.

A partir da observação da distribuição de temperaturas do ar por semana, em Lisboa, durante os anos de 1981 a 2000 (Tabela 4), é notório que as temperaturas diárias aumentam progressivamente até à 32.^a semana do ano (aproximadamente a primeira quinzena de Agosto) e diminuem posteriormente²⁵.

Era expectável que a distribuição das temperaturas tri-horárias mostrassem uma maior variabilidade quando comparada com temperaturas médias diárias (em termos de amplitude interquartilica por semana) (Tabela 4). E é notável que há uma grande distância entre a temperatura máxima observada e temperatura média. Como exemplo, considere que um dia mediano²⁶ no período considerado, a uma temperatura máxima de 25,2°C corresponde a média diária de 19,7°C.

A Tabela 5 apresenta os resultados suavizados para os valores limiares extremos das distribuições das temperaturas de ar consideradas. Estes valores extremos são o padrão para a determinação de *outliers* moderados (acima L1) e *outliers* severos (acima de L2) na análise exploratória de dados.

Estas estimativas de valores limiares tiveram em conta a variabilidade dentro

²⁵ As Figuras 8 e 9 dão uma perspectiva deste padrão apesar das temperaturas surgirem ai diariamente.

²⁶ No sentido estatístico.

das semanas, e a variabilidade máxima ocorreu em torno da semana 30, o que resulta em que sejam expectáveis os valores mais extremos de temperatura por volta da semana 30 e não da semana 32.

Tabela 4. Resumo da distribuição das temperaturas do ar por semana em Lisboa (1981 to 2000)

| Semana | Temperaturas do ar tri-horárias em Lisboa (1981 to 2000) | | | Temperatura do ar média em Lisboa (1981-2000) | | | Temperatura máxima diária em Lisboa (1981-2000) | | |
|--------------|--|-------------|--------------|---|-------------|--------------|---|-------------|--------------|
| | Percentil 25 | MEDIANA | Percentil 75 | Percentil 25 | MEDIANA | Percentil 75 | Percentil 25 | MEDIANA | Percentil 75 |
| 18 | 13,4 | 15,6 | 18 | 14,1 | 15,7 | 18,3 | 18,0 | 19,9 | 24,3 |
| 19 | 13,4 | 15,4 | 17,8 | 14,3 | 15,7 | 16,8 | 18,3 | 19,9 | 21,7 |
| 20 | 13,8 | 15,7 | 18,3 | 14,6 | 16,3 | 17,8 | 18,2 | 20,6 | 23,4 |
| 21 | 14,6 | 16,6 | 19,6 | 15,8 | 17,2 | 18,5 | 19,7 | 21,6 | 24,2 |
| 22 | 15,4 | 17,4 | 20 | 16,6 | 17,5 | 19,3 | 20,6 | 22,4 | 25,5 |
| 23 | 15,6 | 18,0 | 20,6 | 17,0 | 18,2 | 19,5 | 21,1 | 23,1 | 25,7 |
| 24 | 16,8 | 19,8 | 23,8 | 18,1 | 19,7 | 23,1 | 23,0 | 26,1 | 30,7 |
| 25 | 17,2 | 19,5 | 22,6 | 18,6 | 19,6 | 21,0 | 23,2 | 25,0 | 27,8 |
| 26 | 17,4 | 19,7 | 23,2 | 18,9 | 20,2 | 21,8 | 23,6 | 25,6 | 29,4 |
| 27 | 17,4 | 20,0 | 23,2 | 19,0 | 20,3 | 21,5 | 23,6 | 25,7 | 28,6 |
| 28 | 18,4 | 21,4 | 25,4 | 20,3 | 21,4 | 24,5 | 25,8 | 27,6 | 31,7 |
| 29 | 18,8 | 22,0 | 25,7 | 20,1 | 21,7 | 24,8 | 25,6 | 28,5 | 32,5 |
| 30 | 18,7 | 21,6 | 25 | 20,4 | 21,6 | 23,8 | 25,4 | 27,8 | 31,8 |
| 31 | 18,8 | 21,6 | 25,1 | 20,4 | 21,8 | 23,6 | 25,7 | 28,1 | 31,2 |
| 32 | 19 | 22,0 | 25,4 | 20,6 | 21,8 | 24,1 | 26,0 | 27,7 | 31,3 |
| 33 | 18,7 | 21,1 | 24,8 | 20,6 | 21,5 | 22,9 | 26,3 | 27,8 | 30,2 |
| 34 | 18,8 | 21,0 | 24,2 | 20,4 | 21,4 | 22,8 | 25,5 | 27,2 | 30,2 |
| 35 | 18,8 | 20,8 | 24,2 | 20,3 | 21,5 | 22,7 | 25,3 | 27,4 | 30,6 |
| 36 | 19 | 21,2 | 24,8 | 20,7 | 21,5 | 23,3 | 26,1 | 28,3 | 30,9 |
| 37 | 18,4 | 20,7 | 23,6 | 19,2 | 21,2 | 22,7 | 24,7 | 26,5 | 30,4 |
| 38 | 17,7 | 19,7 | 22,2 | 18,6 | 20,1 | 21,4 | 22,8 | 24,8 | 27,5 |
| 39 | 17,2 | 19,2 | 21,6 | 17,9 | 19,4 | 21,0 | 22,0 | 24,3 | 27,4 |
| 40 | 16,4 | 18,3 | 20,9 | 17,4 | 18,6 | 20,1 | 21,1 | 24,0 | 26,5 |
| Média | 17,1 | 19,5 | 22,6 | 18,4 | 19,7 | 21,5 | 23,1 | 25,2 | 28,4 |
| DP | 1,88 | 2,12 | 2,54 | 2,15 | 2,06 | 2,29 | 2,74 | 2,79 | 3,08 |

É também de referir que o limiar de *outliers* moderados (L1) estimados para temperaturas do ar tri-horárias é muito semelhante ao limiar de *outliers* severos (L2) para a temperatura média diária. Isto significa que uma temperatura muito

extrema num período de tempo limitado, não se refere necessariamente a uma prolongada exposição a temperaturas extremas.

Tabela 5. Estimativas dos limiares teóricos da temperatura do ar em Lisboa

| Semana | Temperatura do ar tri-horárias em Lisboa (1981 to 2000) | | Temperatura do ar média em Lisboa (1981-2000) | | Temperatura máxima diária em Lisboa (1981-2000) | |
|--------------|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| | L1 | L2 | L1 | L2 | L1 | L2 |
| 18 | 24,0 | 30,6 | 22,0 | 27,0 | 29,6 | 36,9 |
| 19 | 24,8 | 31,6 | 22,2 | 27,0 | 30,2 | 37,4 |
| 20 | 25,7 | 32,6 | 22,7 | 27,3 | 31,1 | 38,4 |
| 21 | 26,3 | 33,4 | 22,5 | 26,6 | 30,8 | 37,6 |
| 22 | 28,3 | 36,1 | 24,4 | 29,3 | 34,0 | 42,0 |
| 23 | 29,4 | 37,5 | 24,9 | 29,5 | 34,7 | 42,5 |
| 24 | 30,4 | 38,7 | 25,6 | 30,3 | 36,1 | 44,4 |
| 25 | 31,4 | 40,1 | 26,0 | 30,5 | 36,7 | 45,0 |
| 26 | 32,9 | 42,2 | 27,5 | 32,5 | 38,3 | 47,0 |
| 27 | 33,3 | 42,5 | 27,7 | 32,7 | 38,4 | 46,8 |
| 28 | 34,0 | 43,5 | 28,6 | 33,9 | 39,7 | 48,7 |
| 29 | 34,5 | 44,2 | 29,0 | 34,4 | 40,1 | 49,0 |
| 30 | 35,2 | 45,0 | 29,9 | 35,6 | 40,7 | 49,7 |
| 31 | 34,8 | 44,4 | 29,0 | 34,2 | 39,8 | 48,3 |
| 32 | 34,1 | 43,2 | 27,9 | 32,4 | 38,7 | 46,5 |
| 33 | 33,6 | 42,5 | 27,4 | 31,5 | 38,1 | 45,6 |
| 34 | 33,4 | 42,1 | 27,1 | 31,1 | 37,8 | 45,0 |
| 35 | 32,7 | 41,1 | 26,8 | 30,8 | 37,8 | 45,1 |
| 36 | 31,7 | 39,6 | 26,7 | 30,7 | 37,5 | 45,0 |
| 37 | 30,9 | 38,5 | 26,5 | 30,8 | 37,1 | 44,9 |
| 38 | 29,9 | 37,2 | 26,1 | 30,5 | 36,3 | 44,1 |
| 39 | 28,6 | 35,6 | 25,5 | 30,1 | 35,2 | 43,0 |
| 40 | 27,3 | 33,8 | 24,5 | 28,8 | 33,2 | 40,4 |
| Média | 30,7 | 39,0 | 26,1 | 30,8 | 36,2 | 44,1 |
| DP | 3,41 | 4,43 | 2,27 | 2,47 | 3,31 | 3,79 |

L1 e L2 são os limites de definição de *outliers* moderados e severos de Tukey (ver notas de rodapé 14,15, e 16 na página 34)

$L1 = Q3 + 1.5 * [Q3 - Q1]$

$L2 = Q3 + 3 * [Q3 - Q1]$

Q1 e Q3 são o 1.º e o 3.º quartil da respectiva distribuição de temperaturas

Estes limites foram suavizados usando a média de uma janela móvel de 5 semanas centrada na semana de interesse.

No outro extremo, como esperado, dentro das semanas consideradas, os limiares das temperaturas tri-horárias dos *outliers* severos (L2) estão sempre dentro dos limites moderados e severos de *outliers* das temperaturas máximas diárias.

3.1.2. *Temperaturas de Portugal Continental*

Nas Figura 6 e Figura 7 são apresentadas as distribuições das temperaturas do ar máxima e percentil 97,5%, durante os meses de Maio a Setembro, dos 18 distritos de Portugal Continental. Vê-se que as temperaturas do continente mostram gradientes norte-sul e litoral-interior.

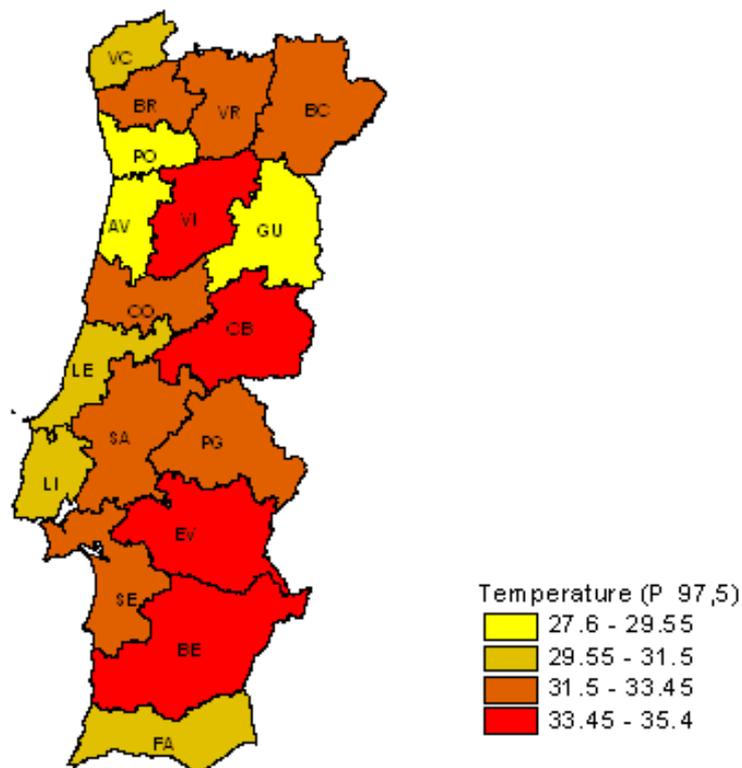


Figura 6. Percentil 97,5% (P97,5) da temperatura tri-horária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental

A temperatura de Lisboa parece constituir uma boa estimativa para a temperatura média de todos os distritos.

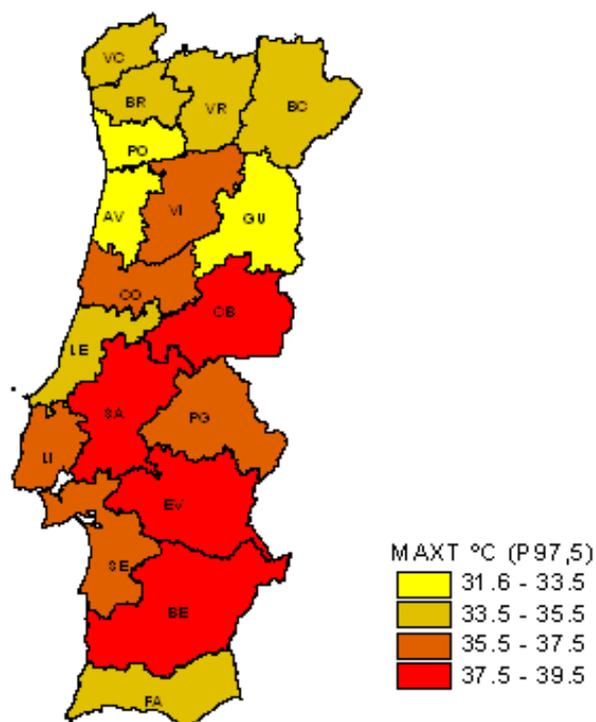
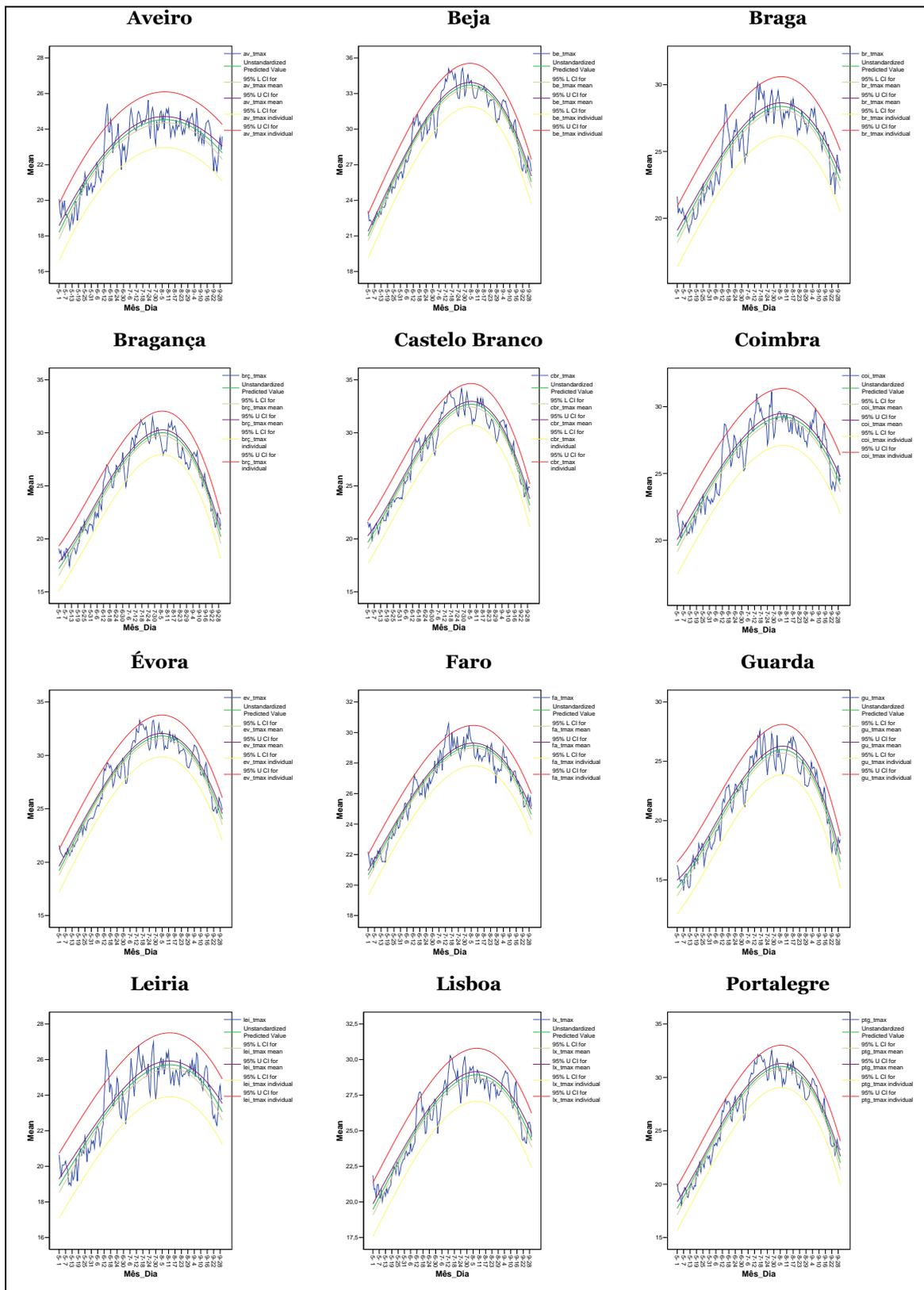


Figura 7. Percentil 97,5% (P97,5) da temperatura máxima diária de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental

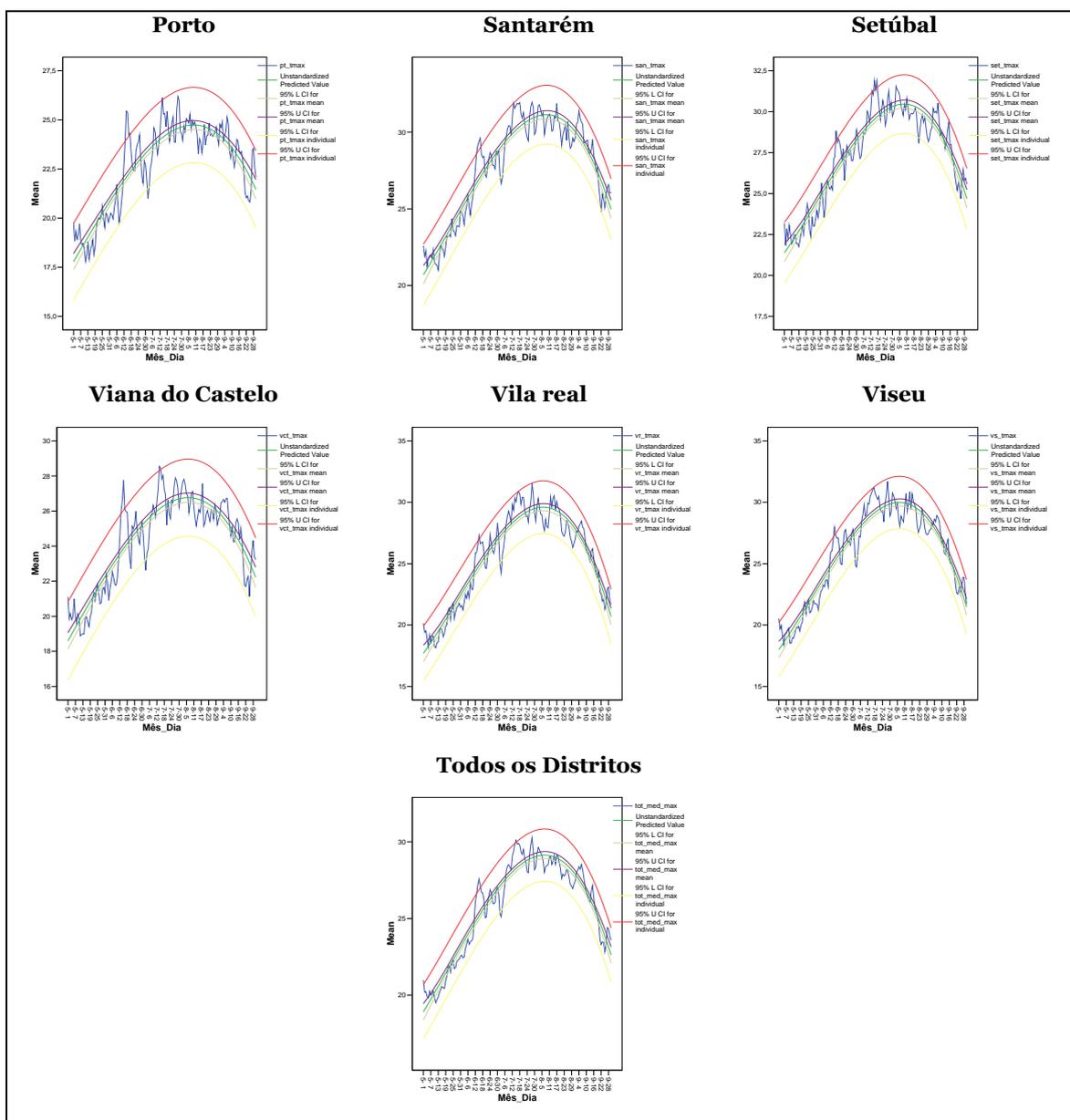
3.1.3. Temperaturas por distrito

Na secção 3.1.1. foi avaliada a evolução das temperaturas do distrito de Lisboa no conjunto de 20 anos, concluindo-se que essas temperaturas têm um padrão de crescimento durante o início do Verão e de decréscimo no final do Verão. Nesta secção estudamos a evolução das temperaturas de Maio a Setembro de todos os distritos de Portugal Continental e da respectiva média conjunta. Como se verifica na Figura 8 e Figura 9 todos os distritos de Portugal Continental apresentam uma evolução temporal das temperaturas semelhante, com os respectivos dados a revelarem um bom ajustamento por um modelo de regressão cúbica [regressão polinomial (47)].



Linha verde escura – mortalidade esperada (média); **Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para mortalidade esperada (média); **Linha roxa** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada (média); **Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia; **Linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia; Eixos xx – representam dias de 1 de Maio (5-1) a 30 de Setembro (9-30).

Figura 8. Modelação cúbica da evolução diária das temperaturas máximas de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental



Linha verde escura – mortalidade esperada (média); **Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para mortalidade esperada (média); **Linha roxa** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada (média); **Linha verde** – limite inferior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia; **Linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança ao nível de 95% para a mortalidade esperada de um dia; Eixos xx – representam dias de 1 de Maio (5- 1) a 30 de Setembro (9-30).

Figura 9. Modelação cúbica da evolução diária das temperaturas máximas de Maio a Setembro de 1981 a 2000 por distrito de Portugal Continental (continuação)

Nas Figura 8 e Figura 9 visualizam-se os ajustamentos dos dados de temperaturas dia-a-dia no conjunto de 20 anos pelo modelo de regressão

cúbica. Os traçados de alguns distritos mostram perturbações relativas às ondas de calor de Junho de 1981 e Julho de 1991. No entanto o modelo de regressão polinomial mostrou-se resistente a essas ocorrências. É observável que os modelos de regressão cúbica detectam anomalias nos meses de Junho e Julho para a maioria dos distritos. De facto denotaram anomalias em Junho (reflexo da onda de calor de 1981) os distritos de Aveiro, Braga, Coimbra, Leiria, Lisboa, Porto, Santarém, Setúbal, Viana do Castelo, Vila Real, Viseu, e o conjunto de todos os distritos de Portugal Continental. Relativamente a Julho (reflexo da onda de calor de 1991) os modelos denotaram ocorrência de anomalia nos distritos: Beja, Braga, Coimbra, Évora Faro, Guarda, Lisboa, Portalegre, Setúbal, Viana do Castelo, e no conjunto de todos os distritos de Portugal Continental.

Todos os distritos com a exceção de Aveiro evidenciaram uma relação cúbica entre a contagem dos dias a partir do dia 1 de Maio e as respectivas temperaturas máximas. No distrito de Aveiro essa relação revelou-se um pouco mais simples – quadrática, i.e. um modelo sem a componente cúbica, mas em que o padrão, apesar da menor amplitude das temperaturas, se mostrou idêntico.

O padrão modelado demonstrou um aumento sustentado das temperaturas do ar durante os primeiros 100 dias (aproximadamente) e posterior decréscimo. Na Tabela 6, apresentam-se os resultados da regressão cúbica por distrito, cujos parâmetros se referem ao limite superior de 95% de confiança e não à linha basal. Observa-se genericamente que as tendências e os máximos são em ambos os casos concomitantes. Assim o ponto de máximo das temperaturas variou entre 95 dias após o dia 1 de Maio (5 Agosto) em Leiria, e 104 (13 Agosto) em Beja e Évora.

São ainda apresentados na Tabela 6 estimativas dos limiares superiores de Verão para as temperaturas máximas por distrito. Para evitar precisão numérica das temperaturas ao décimo de grau centígrado que não farão certamente sentido prático, optou-se por fazer o arredondamento do valor estimado a partir do modelo acrescido de 1°C.

Definiram-se assim quatro grupos de distritos:

Limiares superiores de Verão abaixo de 30°C: Aveiro, Porto, Guarda e Leiria.

Limiares superiores de Verão entre 30°C e 32°C: Faro, Braga, Coimbra, Faro, Lisboa e Viana do Castelo.

Limiares superiores de Verão entre 33°C e 35°C: Bragança, Évora, Portalegre, Santarém, Vila Real e Viseu.

Limiares superiores de Verão acima de 35°C: Castelo Branco e Beja.

Tabela 6. Estimação dos parâmetros do modelo cúbico do limite superior do intervalo de confiança de 95% para a temperatura máxima diária por distrito e no total dos distritos

| Distrito | Modelo Cúbico | | | | | Determinação do limiar | | |
|------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------------------|--------|--------|
| | constante | β_1 | β_2 | β_3 | R2Ajustado | dia da temp máx | Máximo | Limiar |
| Aveiro | 19,664 | 0,129 | -6,474 | | 0,829 | 100,4 | 26,1 | 27,0 |
| Beja | 22,647 | 0,201 | | -7,266 | 0,940 | 104,1 | 35,4 | 36,0 |
| Braga | 20,712 | 0,151 | | -5,254 | 0,860 | 102,2 | 30,5 | 32,0 |
| Bragança | 19,119 | 0,144 | 10,971 | -12,427 | 0,934 | 101,8 | 32,0 | 33,0 |
| Castelo Branco | 21,492 | 0,159 | 8,733 | -11,472 | 0,940 | 102,1 | 34,6 | 36,0 |
| Coimbra | 21,604 | 0,147 | | -4,964 | 0,868 | 100,7 | 31,3 | 32,0 |
| Évora | 20,985 | 0,198 | | -7,066 | 0,930 | 103,5 | 33,6 | 35,0 |
| Faro | 21,868 | 0,13 | | -4,407 | 0,930 | 100,8 | 30,5 | 31,0 |
| Guarda | 16,381 | 0,107 | 14,209 | -13,257 | 0,920 | 101,3 | 28,0 | 29,0 |
| Leiria | 20,623 | 0,099 | | -3,038 | 0,827 | 95,9 | 27,4 | 28,0 |
| Lisboa | 21,211 | 0,143 | | -4,7 | 0,893 | 99,3 | 30,8 | 32,0 |
| Portalegre | 19,578 | 0,177 | 5,926 | -10,194 | 0,937 | 102,2 | 33,0 | 34,0 |
| Porto | 19,612 | 0,104 | | -3,309 | 0,810 | 97,7 | 26,7 | 28,0 |
| Santarém | 22,526 | 0,129 | 5,565 | -7,901 | 0,911 | 99,1 | 33,1 | 34,0 |
| Setúbal | 23,104 | 0,101 | 6,96 | -7,915 | 0,901 | 99,2 | 32,2 | 33,0 |
| Viana do Castelo | 20,685 | 0,126 | | -4,326 | 0,816 | 101,5 | 29,0 | 30,0 |
| Vila Real | 19,732 | 0,139 | 9,15 | -11,035 | 0,917 | 102,0 | 31,7 | 33,0 |
| Viseu | 20,302 | 0,141 | 8,6 | -10,644 | 0,918 | 101,4 | 32,3 | 33,0 |
| Todos | 20,521 | 0,132 | 4,79 | -7,71 | 0,925 | 101,0 | 30,8 | 32,0 |

β_1 parâmetro associado à variável X - contagem dos dias a partir de 1 de Maio

β_2 parâmetro associado à variável X2 - X² dividido por 10000

β_3 parâmetro associado à variável X3 - X³ dividido por 100000

O particular interesse dos resultados desta secção reside na sua utilização para definir limiares e riscos de calor ao nível distrital dada a impossibilidade de criar modelos robustos assentes nas mortalidades observadas por distrito (a

única excepção é Lisboa por ter uma densidade populacional que permite tal modelação).

Adicionalmente, estes resultados reforçam os obtidos nas secções anteriores (3.1.1. e 3.1.2.) e dão realce às opções tomadas na definição de limiares dinâmicos para o ensaio de modelos desta tese (feita na secção 2.3.2.4.1.2).

3.1.4. *Discussão e Conclusões*

Os resultados permitiram definir limiares teóricos com base nas temperaturas do ar tri-horárias e temperaturas médias diárias do ar de Lisboa, cuja média aritmética nas semanas de 18 a 40 do ano civil rondou os 31°C.

As temperaturas de Verão têm um padrão bem definido ao longo das semanas. As temperaturas aumentam até por volta das semanas 30-32 e voltam a decrescer posteriormente ao longo do término do período de Verão.

Com base na distribuição geográfica (por distritos) dos percentis de 97,5% das temperaturas tri-horárias por distrito verificou-se que no Verão (de Maio a Setembro) Portugal apresenta um gradiente Norte-Sul, com Sul a tender ser mais quente (com a zona costeira do Algarve a escapar a esta tendência), e um gradiente Litoral-Interior, onde o litoral tende a ser mais “fresco” que o Interior (com o distrito da Guarda a contrariar esta tendência talvez devido à presença da Serra da Estrela).

É interessante notar que quando consideradas as temperaturas tri-horárias e o seu respectivo percentil de 97,5% o limiar de 31,5°C pareceu delimitar Norte-Sul e Litoral-Interior. Este facto coaduna-se com a experiência inicial do Projecto ÍCARO (e do primeiro modelo ÍCARO), onde a adopção do limiar de 32°C, referido na literatura científica, tendo por base a experiência Norte Americana, gerou resultados bem ajustados aos dados portugueses.

As temperaturas de todos os distritos de Portugal Continental demonstraram ser matematicamente modeláveis de forma muito semelhante. Apenas no

distrito de Aveiro se revelou um padrão distinto (um modelo quadrático em vez de cúbico) devido ao facto das respectivas temperaturas terem uma gama de valores mais reduzida. A consistência dos modelos ao longo de todos os distritos demonstra que todos os indivíduos estarão expostos sensivelmente ao mesmo mecanismo de variação de temperaturas ao longo do Verão. Este facto poderá explicar diferentes atitudes ou aspectos culturais de adaptação locais ao longo do período de Verão, mas todos estão sujeitos ao mesmo padrão temporal das temperaturas o que poderá levar a mecanismos idênticos de resposta, apesar de serem respostas a níveis de temperatura diferentes em localizações distintas.

É de notar o facto de se poderem modelar os limiares de temperatura esperados dia-a-dia em cada distrito, o que representa mais uma componente que pode ser posta sobre vigilância e constituir uma ferramenta útil para a decisão ao nível local (distrito) dado que à excepção de Lisboa modelos específicos para a relação calor-mortalidade não são possíveis de estabelecer dadas as baixas densidades populacionais.

<Página em branco>

3.2 Previsão da mortalidade com base nas temperaturas do ar - Modelos para Lisboa

3.2.1. Ensaio de Limiares Fixos e Dinâmicos

Nas Figura 10, Figura 11 e Figura 12, podem observar-se os valores da temperatura máxima diária registada para o distrito de Lisboa de Junho a Setembro nos anos de 1981, 1991 e 2003. Estes Verões correspondem à ocorrência de fenómenos de onda de calor bem conhecidos em Portugal e, em particular, também no Distrito de Lisboa.

Incluem nas ilustrações os limiares definidos em 2.3.2.4.1.2 (página 37) dos quais um é um limiar fixo ($\tau_1 = 32^\circ\text{C}$) e três são limiares dinâmicos (τ_2 , τ_3 e τ_4).

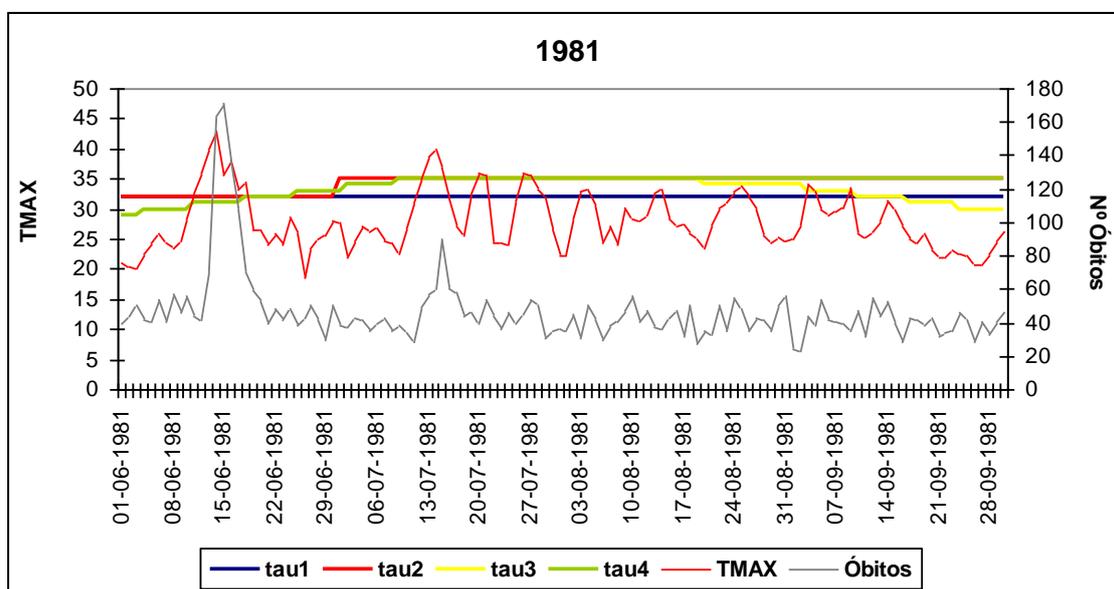


Figura 10. Distribuição dos valores da temperatura máxima diária observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 1981 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura²⁷.

²⁷ Definidos em 2.3.2.4.1.2

Em 1981, na Figura 10:

- Considerando o limiar fixo (τ_1) é possível contabilizar 9 (nove) períodos em que a temperatura máxima do ar diária ultrapassou o limiar, verifica-se que:
 - Os respectivos episódios tenderam a ser mais longos na 1.^a metade do Verão, enquanto após o mês demonstraram ser de apenas um ou dois dias.
- Poderíamos ter considerado outro limiar fixo de 35°C, sucedendo então que:
 - tal reduziria o respectivo número de episódios (de ultrapassagem desse limiar) para quatro, anteriores ao mês de Agosto;
 - todos estes episódios parecem relacionar-se com picos de mortalidade observáveis no distrito de Lisboa, com um desfasamento de um dia;
 - e apenas os dois primeiros parecem ter um impacto relevante na mortalidade - ao ultrapassar o valor limiar de 60 óbitos diários²⁸;
 - devendo porém notar-se que a eventual consideração do limiar fixo de 35°C não se adequaria à dimensão do respectivo episódio de mortalidade, já que haveria um dia no meio do em que não se esperaria excesso de mortalidade, o que claramente não é compatível com o observado.
- Quando se consideram os limiares dinâmicos para a identificação dos episódios em que a temperatura do ar excede o limiar o resultado não difere substancialmente da análise feita para o hipotético limiar fixo de 35°C. Com efeito:

²⁸ Limiar definido empiricamente

- apenas o primeiro episódio de calor se apresenta mais longo (11 a 18 de Junho), o que é compatível com o número de dias em que a mortalidade diária do distrito esteve acima do valor de 60 óbitos (com um dia de desfasamento);
- o episódio seguinte com a duração de três dias (12 a 15 de Junho) mostra-se também compatível com um impacto diário (no distrito), uma vez que o valor de mortalidade se situa acima dos 60 óbitos;
- nenhum outro episódio (de temperaturas acima do limiar) pareceu resultar em excesso de mortalidade.

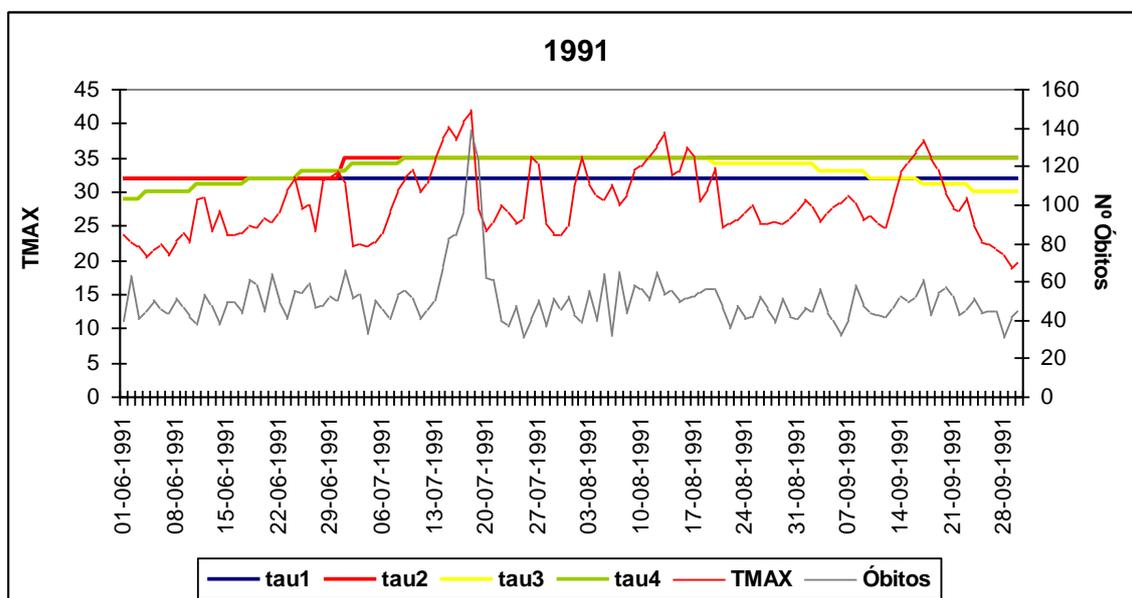


Figura 11. Distribuição dos valores da temperatura máxima observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 1991 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura²⁹.

Em 1991, na Figura 11:

- Considerando o limiar de fixo de 32°C (tau1);

²⁹ Definidos em 2.3.2.4.1.2.

- Definem-se nove episódios em que as temperaturas máximas diárias excedem o limiar;
 - Apenas o 3.º episódio (13 a 19 de Julho) parece relacionar-se directamente com a mortalidade distrital, observando-se em igual período de dias (com desfasamento de um dia) mortalidade diária acima do valor de 65 óbitos³⁰.
- Considerando o hipotético limiar fixo de 35°C (o que coincide, neste caso, com o limiar dinâmico tau 4 e muito aproximadamente com o tau2, uma vez que as temperaturas máximas durante o mês de Julho não foram elevadas):
 - definem-se apenas quatro episódios de temperaturas observadas acima do limiar;
 - o primeiro episódio, o de duração mais longa, incluído no período de 12 a 19 de Julho, relaciona-se com a mortalidade com desfasamento de um dia;
 - os restantes episódios são de menor duração, verificando-se que:
 - os dois maiores, com mais de dois dias, parecem relacionar-se com picos locais de mortalidade, mas sem que o respectivo nível seja substancial;
 - um destes episódios ocorre em Setembro, podendo ter alguma relação com a mortalidade, mas sucede também aqui que os respectivos níveis de mortalidade não atingem valores que sejam estatisticamente relevantes;
 - esta última observação constitui um resultado empírico contra a formulação do limiar dinâmico tau3, que se baseia na evolução usual das temperaturas do ar definidas em 3.1.1. , e que neste caso daria mais importância a temperaturas acima das esperadas para época do que aquela que se observa.

³⁰ Este valor é definido empiricamente na observação, justifica-se que não seja o mesmo valor que usado para 1981 porque o número médio de óbitos distrital aumentou em 10 anos.

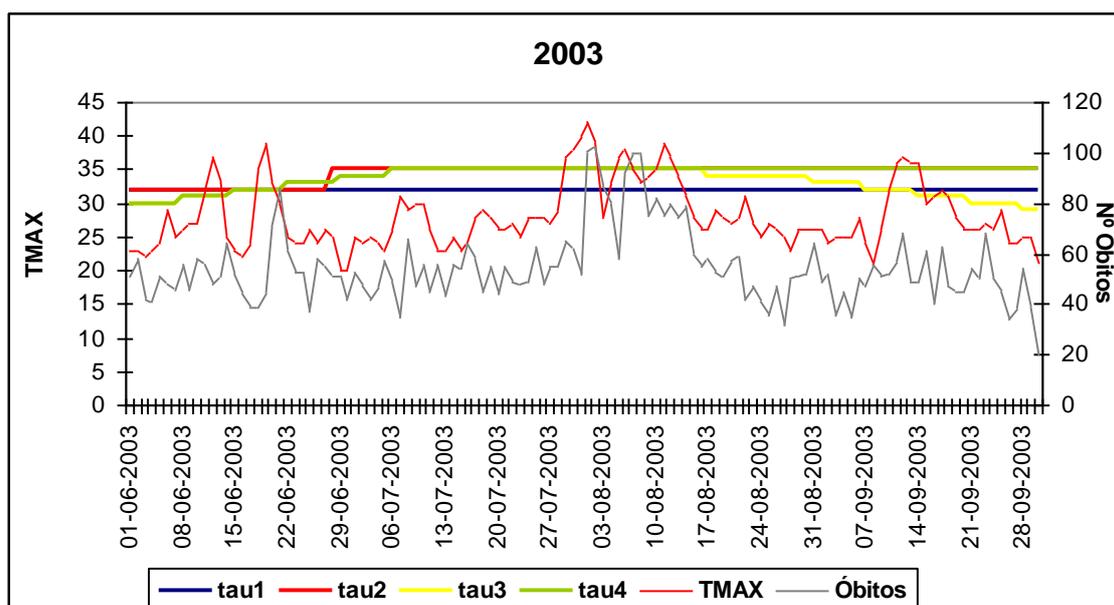


Figura 12. Distribuição dos valores da temperatura máxima observada e do número de óbitos de Junho a Setembro de 2003 de Lisboa e distribuição dos 4 limiares de temperatura³¹.

Em 2003, na Figura 12, verifica-se que:

- O limiar de fixo de 32°C (tau1):
 - define seis episódios em que as temperaturas máximas diárias excedem o limiar;
 - os dois primeiros episódios ocorrem precocemente e parecem relacionar-se com a mortalidade com cerca de dois dias de desfasamento, sucedendo que:
 - a mortalidade do primeiro episódio não se revela substancialmente diferente do esperado, mas constitui um pico local;
 - no final de Julho e início de Agosto definem-se dois episódios, apenas interrompidos por um único dia em que a temperatura máxima do ar em Lisboa esteve abaixo dos 32°C, o que se repercutiu na mortalidade com um desfasamento de um dia,

³¹ Definidos em 2.3.2.4.1.2.

- sucedendo que estes dois períodos mostraram ter mortalidade acrescida;
- em Setembro definiu-se um longo episódio com a respectiva mortalidade a mostrar um que coincidiu com o pico da temperatura, mas cujo acréscimo (em óbitos) não foi relevante;
 - considerando o hipotético limiar fixo de 35°C (aqui também praticamente coincidente com os limiares dinâmicos tau4 e tau2):
 - ficaríamos igualmente com seis episódios (de temperaturas acima do limiar), uma vez que o período de calor de Julho/Agosto se dividia em 3 episódios (1.º impacto de onda de calor + 2 réplicas de onda de calor), de onde seriam de esperar 3 picos de mortalidade que em Lisboa acabaram por não ocorrer, o que poderá explicar-se eventualmente por o terceiro e último período coincidir com divulgação nos meios de comunicação social do impacto já causado pelo excesso de calor em curso;
 - o episódio de Setembro acaba por ser reduzido considerando o limiar fixo de 35°C, tau2 ou tau4, o que é particularmente consentâneo com o impacto observado na mortalidade (com pico de mortalidade a coincidir com pico de temperatura do ar máxima, mas o valor de mortalidade abaixo dos 70 óbitos³²).

Os dias em que a temperatura máxima observada excedeu os 4 limiares propostos com alguma evidência empírica de excesso de mortalidade foram:

- Em 1981, de 12 a 17 de Junho e de 12 a 15 de Julho (Figura 10);
- Em 1991, de 13 a 18 de Julho, 26 de Julho, 2 de Agosto, de 11 a 13 de Agosto, de 16 a 17 de Agosto e de 16 a 18 de Setembro (Figura 11);
- E em 2003, 12 de Junho, de 18 a 19 de Junho, de 29 de Julho a 2 de Agosto, de 5 a 7 de Agosto, de 10 a 12 de Agosto e de 11 a 14 de Setembro (Figura 12).

³² Valor também empírico, consideram-se mais 5 óbitos do que o valor empírico estabelecido para o nível limiar médio de mortalidade no verão no Distrito de Lisboa em 1991

Estes períodos estão identificados e os respectivos impactos, substanciais, foram calculados em várias (19, 26, 73-74) publicações (19, 26, 73, 74).

A presente subsecção pretendeu estabelecer empiricamente a pertinência dos limiares propostos (tau1, tau2, tau3 e tau4). Depreende-se que os limiares propostos são plausíveis mostrando ter uma concepção consentânea com as temperaturas observadas nos Verões considerados e com as respectivas mortalidades acrescidas. O limiar tau3, com decréscimo da temperatura limiar no final do Verão, a imitar a evolução das temperaturas de Verão, pareceu não se ajustar à evolução de mortalidade observada nos meses de Setembro.

3.2.2. O modelo Adoptado para o Sistema de Vigilância Português

O sistema de Vigilância ÍCARO de Monitorização e Alerta de Ondas de Calor com potencial impacto na morbidade humana, em funcionamento desde 1999 (75-77), deu provas de que se baseia num bom racional e funciona de forma eficiente perante situações ocorrência de calor excessivo (77).

O modelo utilizado no sistema de Vigilância ÍCARO resultou, na sua génese, da adaptação de modelo de séries temporais estabelecido (36) para a Mortalidade do distrito de Lisboa³³ nos anos de 1980 a 1982 e foi mais tarde adaptado de forma a incluir os dados de 1990 a 1992 (78).

Esta adaptação consistiu na utilização dos dados relativos ao Verão, de Julho a Agosto, e à aplicação do modelo de regressão linear definido em 2.3.2.2 (com a Variável STA definida em 2.3.2.1.1. e não a versão generalizada (STAG – definida em 2.3.2.1.2). Este modelo apresenta uma qualidade de ajustamento de cerca de 51%. A única variável que foi significativa para sua a construção foi a Sobrecarga Térmica Acumulada do dia anterior $STA_{t-1}(\tau)$. Os parâmetros do

³³ Esse modelo tinha a seguinte forma $Y_t = C + \alpha STA_{t-1} + \phi_1 Y_{t-1} + \theta_1 a_{t-1} + a_t = C + \alpha STA_{t-1} + \eta_t$ onde η_t era um processo ARMA (Auto Regressive and Moving Average process)

modelo são apresentados na Tabela 7 e os seus parâmetros de avaliação são apresentados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 7. Resultados do ajustamento do modelo Ícaro, construído em 1999.

| | <i>Constante</i> | <i>lano</i> | $STA_{t-1}(\tau)$ | |
|-----------------|------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Modelo I | 44.3 | - | 1.6 | $R^2_{ajust}=0.508$ |
| | $p < 0,001$ | | $p < 0,001$ | $K-S: p=0.011$ |

K-S – refere-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov

Apesar de o modelo de regressão linear não apresentar as características ideais (não se verificou a normalidade dos resíduos), a sua escolha justificou-se por adaptar bem o melhor modelo conhecido com as qualidades resultantes do uso metodologias de séries temporais.

Do ponto de vista da validade conforme definida em 2.3.2.3., o modelo caracteriza-se por uma **elevada especificidade**, “**óptimos**” **valores preditivos e globalmente uma “muito boa” capacidade de decisão correcta**, mas apresenta limitações importantes como **baixa sensibilidade** e consequentes **elevadas percentagens de falsos negativos** (Tabela 8). As aparentemente contraditórias qualidades e defeitos deste modelo devem-se à prevalência muito reduzida de dias com nível de mortalidade anormalmente elevada.

Tabela 8. Avaliação do modelo ÍCARO que suporta o sistema de vigilância, implementado em 1999, para o total de óbitos nos meses de Junho a Agosto.

| Definição | ÍCARO | Sensibilidade | Especificidade | Falsos | | Valores | Valores | Prob. Correcto |
|-------------------------------|-------------|---------------|----------------|--------|-------|-------------|-------------|----------------|
| | | | | + | - | Preditivo + | Preditivo - | |
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 75,5) | 81+91 | 0,300 | 1,000 | 0,000 | 0,700 | 1,000 | 0,961 | 0,962 |
| | 81+2003 | 0,313 | 1,000 | 0,000 | 0,688 | 1,000 | 0,939 | 0,940 |
| | 1981 a 2003 | 0,212 | 0,999 | 0,001 | 0,788 | 0,778 | 0,988 | 0,987 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 95) | 81+91 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | - | 0,962 | 0,962 |
| | 81+2003 | 0,125 | 0,994 | 0,006 | 0,875 | 0,500 | 0,962 | 0,957 |
| | 1981 a 2003 | 0,091 | 1,000 | 0,000 | 0,909 | 0,500 | 0,995 | 0,995 |

81+91 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 1991;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 a 2003.

Tabela 9. Avaliação do modelo ÍCARO que suporta o sistema de vigilância, implementado em 1999, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro.

| Definição | ÍCARO | Sensibilidade | Especificidade | Falsos | | Valores | Valores | Prob. Correcto |
|-------------------------------|-------------|---------------|----------------|--------|-------|-------------|-------------|----------------|
| | | | | + | - | Preditivo + | Preditivo - | |
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 71,5) | 81+91 | 0,250 | 1,000 | 0,000 | 0,750 | 1,000 | 0,970 | 0,971 |
| | 81+2003 | 0,316 | 1,000 | 0,000 | 0,684 | 1,000 | 0,952 | 0,953 |
| | 1981 a 2003 | 0,133 | 0,999 | 0,001 | 0,867 | 0,800 | 0,985 | 0,985 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 88) | 81+91 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | - | 0,974 | 0,974 |
| | 81+2003 | 0,100 | 0,996 | 0,004 | 0,900 | 0,500 | 0,967 | 0,964 |
| | 1981 a 2003 | 0,077 | 1,000 | 0,000 | 0,923 | 0,500 | 0,997 | 0,996 |

81+91 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 1991;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 a 2003.

3.2.3. A diferença entre as variáveis STA e STAG

Para exemplificar a diferença entre a variável Sobrecarga Térmica Acumulada (STA) e a sua generalização (STAG) vejamos o seguinte exemplo.

Tabela 10. Exemplo de diferença entre as variáveis de sobre carga térmica $STA_t(\tau)$ e $STAG_t(\tau)$ ³⁴.

| Temperatura | | | | | |
|------------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|
| Máxima Observada | $DOnd_t(\tau)$ | $DOndG_t(\tau)$ | $EXC_t(\tau)$ | $STA_t(\tau)$ | $STAG_t(\tau)$ |
| 33°C | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 35°C | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 38°C | 3 | 3 | 6 | 18 | 18 |
| 29° | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 33°C | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| 34°C | 2 | 4 | 2 | 4 | 8 |

A Tabela 10 mostra a diferença conceptual entre a variável STA e as variáveis STAG. É apresentado um exemplo artificial mostrando as temperaturas observadas durante 6 dias consecutivos e assumindo o limiar $\tau = 32^\circ\text{C}$. Atente-se nas duas últimas colunas, até ao 4.º dia, quando a temperatura cai repentinamente para 29°C : as duas variáveis são iguais, e é depois do 4.º dia que se verificam diferenças. Na verdade, usando a variável STAG esperam-se maiores impactos, uma vez que está ainda a considerar o potencial nefasto remanescente dos picos de calor anteriores que podem ser agravados pelo novo pico de calor.

³⁴ Ver definições destas variáveis nas secções de 2.3.2.1

3.2.4. Modelos para a mortalidade total do distrito de Lisboa

Na Tabela 11, são apresentados os resultados do ajustamento, e respectivos valores dos parâmetros, dos 4 modelos aos dados de mortalidade diária total para o distrito de Lisboa nos meses de Maio a Setembro dos anos 1981, 1991 e 2003.

Dos quatro modelos ensaiados com os diferentes limiares de temperaturas, o modelo que parece ter estatisticamente uma melhor qualidade de ajustamento é o Modelo IV (68,9%), apresentando também resíduos normais (K-S: $p=0,163$). O Modelo II apresentou resultados muito semelhantes com um coeficiente de determinação ajustado de 68,7%. Também neste último modelo os resíduos foram considerados como ruído branco (K-S: $p=0,175$).

Tabela 11. Resultados do ajustamento dos modelos aos dados de 1981, 1991 e 2003: estimativas dos parâmetros para a mortalidade diária total, com Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada.

| | Constante | lano91 | lano03 | $STAG_{t-1}(\tau)$ | $STAG_t(\tau)$ | $Exc_t(\tau)$ | |
|-------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|
| Modelo I | 44,280 $p < 0,001$ | - | 4,526 $p < 0,001$ | 0,858 $p < 0,001$ | - | 2,604 $p = 0,001$ | $R^2_{ajust}=0,500$ K-S: $p=0,003$ |
| Modelo II | 41,968 $p < 0,001$ | 5,687 $p < 0,001$ | 8,918 $p < 0,001$ | 1,771 $p < 0,001$ | 1,115 $p < 0,001$ | - | $R^2_{ajust}=0,687$ K-S: $p=0,175$ |
| Modelo III | 42,441 $p < 0,001$ | 4,594 $p = 0,001$ | 8,156 $p < 0,001$ | 1,386 $p < 0,001$ | 0,867 $p < 0,001$ | - | $R^2_{ajust}=0,587$ K-S: $p=0,04$ |
| Modelo IV | 41,691 $p < 0,001$ | 6,230 $p < 0,001$ | 9,385 $p < 0,001$ | 1,639 $p < 0,001$ | 1,036 $p < 0,001$ | - | $R^2_{ajust}=0,689$ K-S: $p=0,163$ |

Nos modelos I e III, onde se obteve um coeficiente de determinação ajustado de 50% e 58,7% respectivamente, os resíduos não apresentaram distribuição normal.

Em todos os modelos ensaiados com exceção do I, a variável indicatriz do ano de 1991 e a $STAG_t(\tau)$ mostraram-se significativas, quantificando um aumento do número médio de órbitos diários em 1981, 1991 e 2003. Por outro lado a variável $EXC_t(\tau)$ apenas se mostrou significativa no Modelo I, tendo sido retirada de todos os outros modelos. A variável indicatriz do ano de 2003 e $STAG_{t-1}(\tau)$ foram significativas nos 4 modelos apesar de terem valores dos parâmetros distintos.

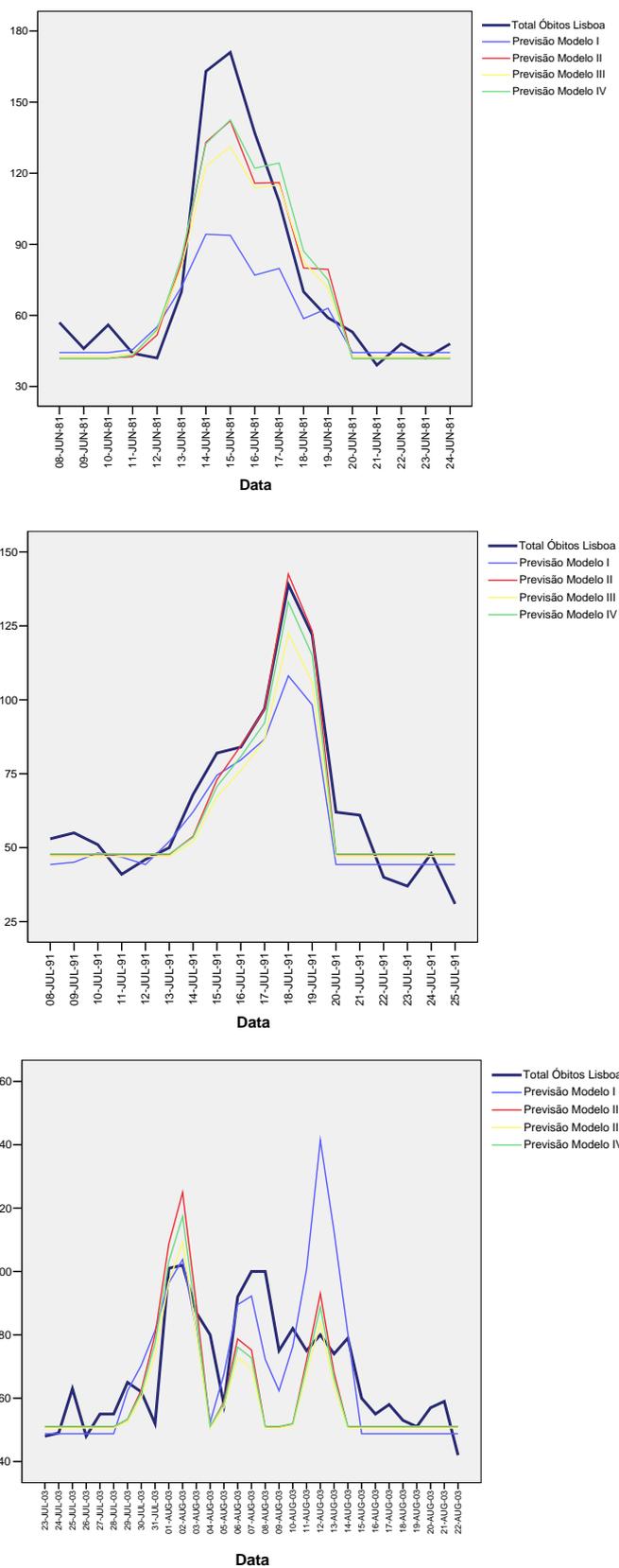


Figura 13. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa, nos períodos das grandes ondas de calor de 1981, 1991 e 2003.

Pela observação da Figura 13 pode constatar-se o ajustamento dos quatro modelos ensaiados às grandes ondas de calor de calor. Todos os modelos parecem prever o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003. Parece, todavia, existir uma diferenciação entre o modelo I e os restantes modelos, já que:

- o modelo I parece ajustar-se bem à onda de calor de 2003 e adaptar-se relativamente mal aos picos de mortalidade únicos de 1981 e 1991.
- os modelos II a IV, parecem ser muito mais sensíveis ao início das ocorrências de ondas de calor, mas adaptam-se relativamente mal à mortalidade ocorrida durante a longa onda de calor de 2003.

Nas Tabela 12 e Tabela 13 apresentam-se os resultados de validade dos modelos ensaiados para os dois limites de mortalidade estabelecidos. Estes dados são comparáveis com os apresentados em 3.2.4. para o modelo Ícaro usado em 1999.

Tabela 12. Avaliação dos modelos, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro, considerando o Limiar de valor 71,5

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores | Valores | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|--------------|--------------|----------------|
| | | | | | | Preditivos + | Preditivos - | |
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,808 | 0,983 | 0,017 | 0,192 | 0,750 | 0,988 | 0,972 |
| | 1981 e 2003 | 0,842 | 0,988 | 0,012 | 0,158 | 0,842 | 0,988 | 0,978 |
| | 1981 a 2003 | 0,433 | 0,992 | 0,008 | 0,567 | 0,500 | 0,990 | 0,983 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,654 | 0,983 | 0,017 | 0,346 | 0,708 | 0,978 | 0,963 |
| | 1981 e 2003 | 0,632 | 0,973 | 0,027 | 0,368 | 0,632 | 0,973 | 0,949 |
| | 1981 a 2003 | 0,300 | 0,996 | 0,004 | 0,700 | 0,563 | 0,988 | 0,984 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,538 | 0,965 | 0,035 | 0,462 | 0,500 | 0,970 | 0,939 |
| | 1981 e 2003 | 0,474 | 0,969 | 0,031 | 0,526 | 0,529 | 0,961 | 0,935 |
| | 1981 a 2003 | 0,283 | 0,990 | 0,010 | 0,717 | 0,333 | 0,987 | 0,978 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,615 | 0,978 | 0,022 | 0,385 | 0,640 | 0,975 | 0,956 |
| | 1981 e 2003 | 0,579 | 0,977 | 0,023 | 0,421 | 0,647 | 0,969 | 0,949 |
| | 1981 a 2003 | 0,300 | 0,994 | 0,006 | 0,700 | 0,450 | 0,988 | 0,982 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos a todos os Verões de 1981 a 2003.

Aqui são visíveis valores mais elevados na sensibilidade destes modelos do que os do modelo ÍCARO 1999. Os valores de especificidade são consistentemente elevados. Os valores preditivos positivos não são ideais mas apresentam valores apreciáveis para um fenómeno com prevalência tão baixa. Os valores preditivos positivos são elevados, acima de 98%. E as probabilidades de decisão correcta para ambos os limites (L1 = 71,5 e L2 = 88 óbitos) são também elevadas.

Tabela 13. Avaliação dos modelos, para o total de óbitos nos meses de Maio a Setembro, considerando o limiar de valor 88

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores Preditivos + | Valores Preditivos - | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|----------------------|----------------------|----------------|
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,615 | 0,993 | 0,007 | 0,385 | 0,727 | 0,988 | 0,981 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,989 | 0,011 | 0,400 | 0,667 | 0,985 | 0,975 |
| | 1981 a 2003 | 0,615 | 0,997 | 0,003 | 0,385 | 0,444 | 0,999 | 0,996 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,692 | 0,995 | 0,005 | 0,308 | 0,818 | 0,990 | 0,986 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,992 | 0,008 | 0,400 | 0,750 | 0,985 | 0,978 |
| | 1981 a 2003 | 0,692 | 0,998 | 0,002 | 0,308 | 0,529 | 0,999 | 0,997 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,615 | 0,995 | 0,005 | 0,385 | 0,800 | 0,988 | 0,984 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 1,000 | 0,000 | 0,400 | 1,000 | 0,985 | 0,985 |
| | 1981 a 2003 | 0,615 | 0,997 | 0,003 | 0,385 | 0,471 | 0,999 | 0,996 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,692 | 0,993 | 0,007 | 0,308 | 0,750 | 0,990 | 0,984 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,996 | 0,004 | 0,400 | 0,857 | 0,985 | 0,982 |
| | 1981 a 2003 | 0,692 | 0,997 | 0,003 | 0,308 | 0,429 | 0,999 | 0,995 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos a todos os Verões de 1981 a 2003.

3.2.5. Modelos para a mortalidade dos indivíduos com 65 ou mais anos do distrito de Lisboa

Na Tabela 14 são apresentados os resultados do ajustamento e respectivos valores dos parâmetros dos 4 modelos aos dados de mortalidade de Maio a Setembro de 1981, 1991 e 2003 dos indivíduos com idade ≥ 65 anos.

Nos quatro modelos ensaiados, considerando como variável dependente os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos, o modelo que parece ter uma melhor qualidade de ajustamento é o Modelo II (74,1%), apresentando também os seus resíduos normais (K-S: $p=0,283$). O Modelo IV também apresentou resultados muito semelhantes, com um coeficiente de determinação ajustado de 73,9%. Em relação aos resíduos, estes foram considerados como ruído branco Normal (K-S: $p=0,141$).

Tabela 14. Resultados do ajustamento dos modelos aos dados de 1981, 1991 e 2003: estimativas dos parâmetros para óbitos de indivíduos com idade ≥ 65 anos, com Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada

| | Constante | lano91 | lano03 | STAG _{t-1} (τ) | STAG _t (τ) | Exc _t (τ) | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Modelo I | 27,506 | 4,102 | 10,556 | 0,779 | - | 2,223 | $R^2_{ajust}=0,581$ |
| | $p < 0,001$ | $p = 0,002$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | | $p < 0,001$ | K-S: $p=0,005$ |
| Modelo II | 27,042 | 6,383 | 13,076 | 1,533 | 1,333 | -1,750 | $R^2_{ajust}=0,741$ |
| | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p = 0,047$ | K-S: $p=0,283$ |
| Modelo III | 27,078 | 5,493 | 13,398 | 1,320 | 0,752 | - | $R^2_{ajust}=0,678$ |
| | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | | K-S: $p=0,067$ |
| Modelo IV | 26,680 | 6,865 | 13,369 | 1,459 | 0,842 | - | $R^2_{ajust}=0,739$ |
| | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | | K-S: $p=0,141$ |

Nos modelos I e III, obteve-se um coeficiente de determinação ajustado de 58,1% e 67,8%, respectivamente. Os resíduos apenas se mostraram não normais no modelo I com $p=0,005$. No modelo III, o teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou o valor de $p=0,067$.

Em todos os modelos ensaiados com exceção do I, a variável $STAG_t(\tau)$ mostrou-se significativa, quantificando um aumento do número médio de óbitos diários em 1981, 1991 e 2003. Por outro lado a variável $EXC_t(\tau)$, apenas se mostrou significativa no Modelo I e II, tendo sido retirada de todos os outros modelos.

Da observação das figuras que se seguem, onde se compara a mortalidade observada com as previsões obtidas pelos quatro modelos ensaiados nos períodos relativos às grandes ondas de calor (Figura 14), bem como a um período alargado do Verão de 2003 (Figura 15), no grupo etário dos 65 e mais anos, todos os modelos prevêem o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003. Tal como acontece para o total de óbitos no ponto anterior, parece existir uma diferenciação entre o modelo I e os restantes modelos. No entanto, para a mortalidade deste estrato particular da população todos os picos de mortalidade são bem estimados pelos modelos.

Globalmente, também para este grupo etário se verifica que:

- O modelo I parece ajustar-se melhor à onda de calor de 2003 e adaptar-se relativamente mal aos picos de mortalidade únicos de 1981 e 1991.
- Os modelos II a IV, parecem ser muito mais sensíveis ao início das ocorrências de ondas de calor, mas adaptam-se relativamente mal à mortalidade ocorrida durante a longa onda de calor de 2003.

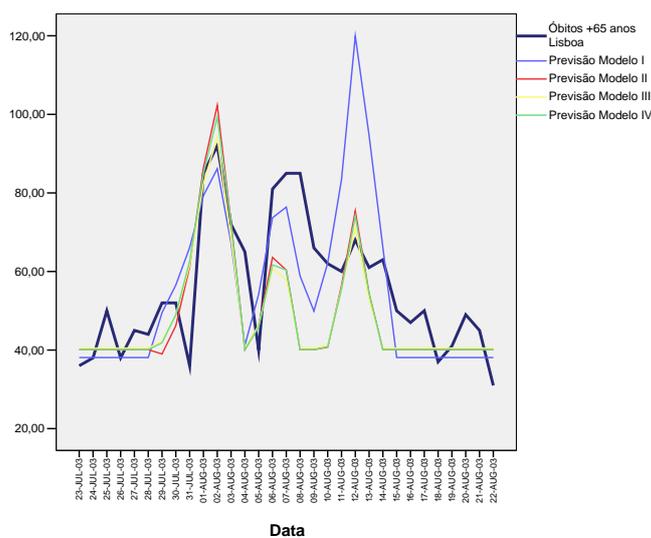
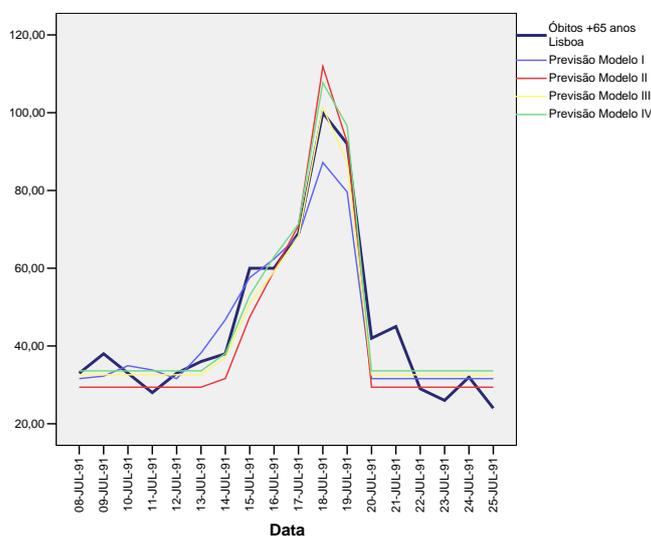
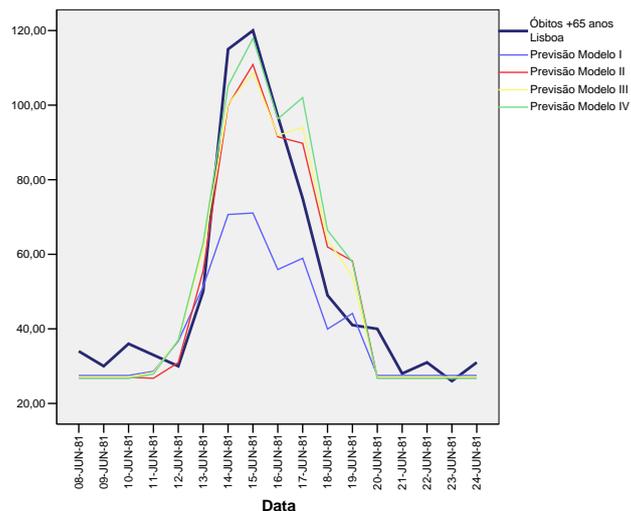


Figura 14. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa para os indivíduos com 65 ou mais anos de idade, nos períodos das grandes ondas de calor de 1981, 1991 e 2003.

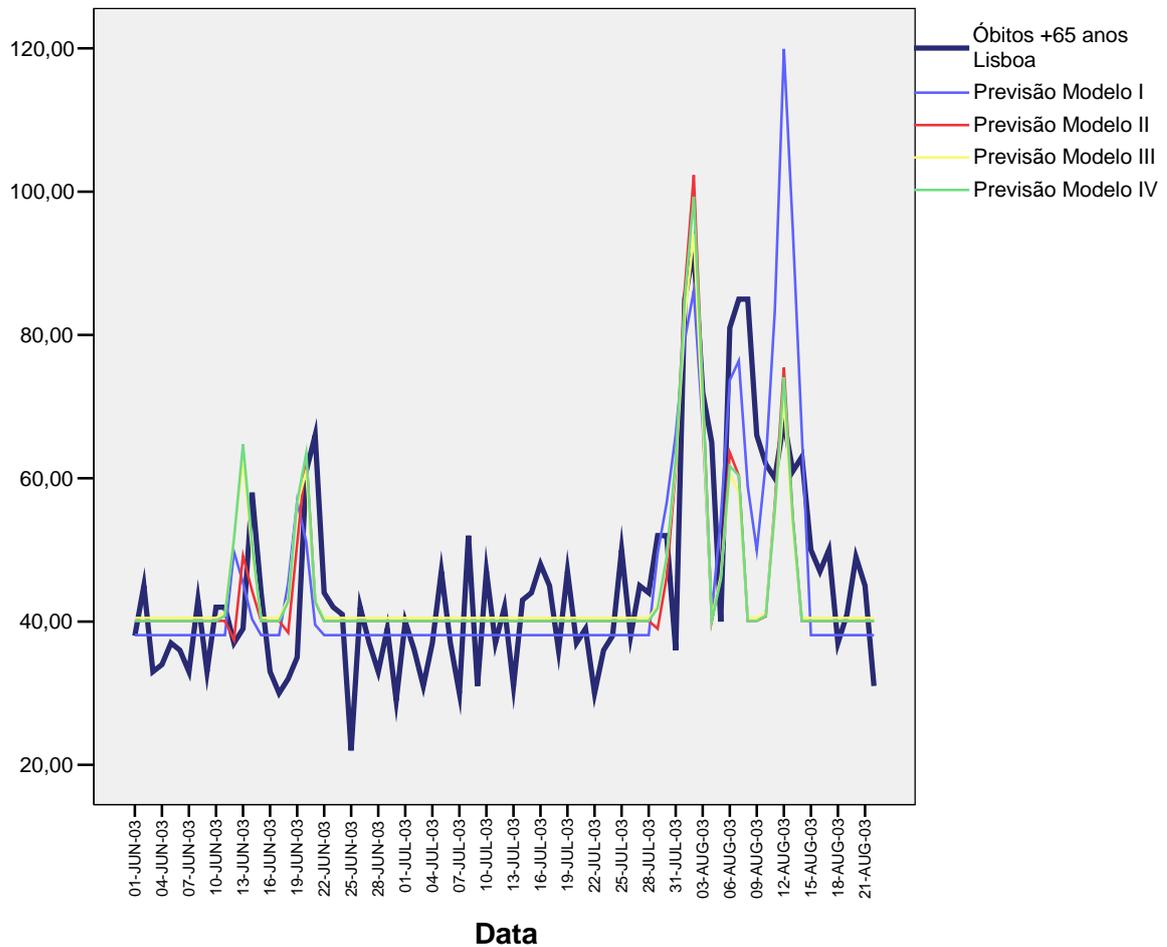


Figura 15. Ajustamento dos modelos I, II, III e IV aos dados de mortalidade observados no distrito de Lisboa para os indivíduos com 65 ou mais anos de idade, no período de 1 de Junho a 22 de Agosto de 2003.

Notando que os parâmetros de todos os 4 modelos que ajustam os dados de mortalidade são os mesmos, é interessante observar, na Figura 15, que os modelos III e IV são melhores a estimar o impacto da 1.^a onda de mortalidade, associada a um pequeno pico de calor que ocorre em Junho de 2003. Este facto parece indicar evidência de que a consideração de um limiar dinâmico no início do Verão (é este o pressuposto dos limiares tau3 e tau4) é melhor que um limiar fixo nesse período.

Nas Tabela 15 e Tabela 16 apresentam-se os resultados de validade dos modelos ensaiados para os dois limites de mortalidade estabelecidos. Estes dados são comparáveis com os apresentados em 3.2.2. para o modelo Ícaro 1999 e em 3.2.4. para a mortalidade total.

Tabela 15. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade \geq 65 anos, considerando os meses de Maio a Setembro e o Limiar de valor 56,5

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores Previstos + | Valores Previstos - | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,760 | 0,983 | 0,017 | 0,240 | 0,731 | 0,985 | 0,970 |
| | 1981 e 2003 | 0,700 | 0,984 | 0,016 | 0,300 | 0,778 | 0,977 | 0,964 |
| | 1981 a 2003 | 0,541 | 0,996 | 0,004 | 0,459 | 0,571 | 0,995 | 0,991 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,600 | 0,993 | 0,007 | 0,400 | 0,833 | 0,976 | 0,970 |
| | 1981 e 2003 | 0,550 | 0,988 | 0,012 | 0,450 | 0,786 | 0,966 | 0,956 |
| | 1981 a 2003 | 0,405 | 0,997 | 0,003 | 0,595 | 0,625 | 0,994 | 0,991 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,600 | 0,965 | 0,035 | 0,400 | 0,517 | 0,975 | 0,944 |
| | 1981 e 2003 | 0,550 | 0,973 | 0,027 | 0,450 | 0,611 | 0,965 | 0,942 |
| | 1981 a 2003 | 0,432 | 0,990 | 0,010 | 0,568 | 0,314 | 0,994 | 0,984 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,600 | 0,975 | 0,025 | 0,400 | 0,600 | 0,975 | 0,953 |
| | 1981 e 2003 | 0,550 | 0,976 | 0,024 | 0,450 | 0,647 | 0,965 | 0,945 |
| | 1981 a 2003 | 0,432 | 0,993 | 0,007 | 0,568 | 0,400 | 0,994 | 0,987 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 a 2003.

Aqui são visíveis valores mais elevados na sensibilidade destes modelos do que os apresentados no modelo ÍCARO 1999, mas **os resultados são similares aos dos modelos para o total da mortalidade diária**. Os valores de **especificidade são consistentemente elevados**. Os valores preditivos positivos não são ideais mas apresentam valores apreciáveis para um fenómeno com prevalência tão baixa. **Os valores preditivos negativos são elevados**, acima de 98%. E **as probabilidades de decisão correcta** para ambos os limites ($L_1 = 56,5$ e $L_2 = 73$ óbitos) são também **elevadas**. Para os modelos II, III e IV, no caso de evento mais extremo (L_2), a sensibilidade foi ligeiramente mais elevada, situação que é inversa ao que acontecia para o limiar de evento mais moderado (L_1) onde o modelo I apresentou uma melhor sensibilidade.

Tabela 16. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade \geq 65 anos, considerando os meses de Maio a Setembro e o Limiar de valor 73

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores Previstos + | Valores Previstos - | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,545 | 0,993 | 0,007 | 0,455 | 0,667 | 0,988 | 0,981 |
| | 1981 e 2003 | 0,444 | 0,989 | 0,011 | 0,556 | 0,571 | 0,981 | 0,971 |
| | 1981 a 2003 | 0,545 | 0,997 | 0,003 | 0,455 | 0,400 | 0,999 | 0,996 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,727 | 0,998 | 0,002 | 0,273 | 0,889 | 0,993 | 0,991 |
| | 1981 e 2003 | 0,667 | 0,996 | 0,004 | 0,333 | 0,857 | 0,989 | 0,985 |
| | 1981 a 2003 | 0,727 | 0,998 | 0,002 | 0,273 | 0,533 | 0,999 | 0,997 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,727 | 0,995 | 0,005 | 0,273 | 0,800 | 0,993 | 0,988 |
| | 1981 e 2003 | 0,667 | 1,000 | 0,000 | 0,333 | 1,000 | 0,989 | 0,989 |
| | 1981 a 2003 | 0,727 | 0,997 | 0,003 | 0,273 | 0,471 | 0,999 | 0,997 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,727 | 0,995 | 0,005 | 0,273 | 0,800 | 0,993 | 0,988 |
| | 1981 e 2003 | 0,667 | 0,996 | 0,004 | 0,333 | 0,857 | 0,989 | 0,985 |
| | 1981 a 2003 | 0,727 | 0,997 | 0,003 | 0,273 | 0,471 | 0,999 | 0,997 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos Verões de 1981 a 2003.

3.2.6. Qualidade dos modelos nos meses de Maio e Setembro

Os eventos de calor e a mortalidade a eles associados são mais frequentes nos meses de Verão de Junho a Agosto. Como se viu na secção 3.1.1. as temperaturas têm um comportamento que evolui ao longo do Verão, apresentando valores inicialmente mais baixos e valores mais elevados em Agosto, voltando a decrescer no final do Verão. Os limiares propostos (τ_1 , τ_2 , τ_3 e τ_4) em 2.3.2.4.1.2 basearam-se neste comportamento sazonal das temperaturas.

Existia o interesse de verificar se existe alguma evidência dos dados, nos meses com menos fenómenos de ondas de calor, apoiarem de forma diferenciada algum dos limiares propostos. Assim, procedeu-se à aplicação dos vários

modelos e à avaliação da respectiva validade para a mortalidade de 65 ou mais anos usando apenas os dados dos meses Maio e Setembro.

Os resultados são completamente consentâneos com aqueles que se observaram para o conjunto dos meses de Maio a Setembro. Os modelos são quase indistinguíveis. Os valores ligeiramente mais elevados de sensibilidade para o limite mais elevado (L2) oferecem vantagem aos modelos II e IV.

Tabela 17. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade ≥ 65 anos, considerando apenas os meses de Maio e Setembro e o Limiar de valor 55

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores | Valores | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|--------------|--------------|----------------|
| | | | | | | Preditivos + | Preditivos - | |
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,800 | 0,975 | 0,025 | 0,200 | 0,667 | 0,987 | 0,965 |
| | 1981 e 2003 | 0,750 | 0,976 | 0,024 | 0,250 | 0,714 | 0,980 | 0,960 |
| | 1981 a 2003 | 0,467 | 0,994 | 0,006 | 0,533 | 0,512 | 0,993 | 0,987 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,640 | 0,988 | 0,012 | 0,360 | 0,762 | 0,978 | 0,967 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,980 | 0,020 | 0,400 | 0,706 | 0,969 | 0,953 |
| | 1981 a 2003 | 0,356 | 0,997 | 0,003 | 0,644 | 0,593 | 0,992 | 0,989 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,640 | 0,963 | 0,037 | 0,360 | 0,516 | 0,977 | 0,944 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,969 | 0,031 | 0,400 | 0,600 | 0,969 | 0,942 |
| | 1981 a 2003 | 0,422 | 0,990 | 0,010 | 0,578 | 0,358 | 0,992 | 0,983 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,640 | 0,973 | 0,027 | 0,360 | 0,593 | 0,978 | 0,953 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,973 | 0,027 | 0,400 | 0,632 | 0,969 | 0,945 |
| | 1981 a 2003 | 0,422 | 0,993 | 0,007 | 0,578 | 0,452 | 0,992 | 0,986 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981 a 2003.

Estes resultados, baseados em menos informação sobre eventos de calor e mortalidade são favoráveis à definição de limiares dinâmicos. O facto de o limiar fixo (τ_1) e o limiar que reflecte directamente a evolução semanal das temperaturas (τ_3) permite reflexões relevantes: 1) por um lado a mesma temperatura em Maio e em Setembro não gera o mesmo impacto na mortalidade da população de Lisboa; 2) de igual forma parece seguro afirmar

que o padrão de impacto do calor não é reflexo apenas da temperatura/calor observado momentaneamente; 3) de facto, um modelo que reflecte um limiar crescente da temperatura, do início para o fim do Verão, revela-se melhor. Estes factos são compatíveis com um pressuposto de adaptação à evolução das temperaturas ao longo do Verão, que não se desvanece imediatamente após as temperaturas de Verão começarem a decrescer.

Tabela 18. Avaliação dos modelos, para os óbitos dos indivíduos com idade \geq 65 anos, considerando apenas os meses de Maio e Setembro e o Limiar de valor 70.

| | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores | Valores | Prob. Correcto |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|--------------|--------------|----------------|
| | | | | | | Preditivos + | Preditivos - | |
| Modelo I | 81+91+2003 | 0,667 | 0,993 | 0,007 | 0,333 | 0,727 | 0,990 | 0,984 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,989 | 0,011 | 0,400 | 0,667 | 0,985 | 0,975 |
| | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,997 | 0,003 | 0,333 | 0,444 | 0,999 | 0,996 |
| Modelo II | 81+91+2003 | 0,750 | 0,995 | 0,005 | 0,250 | 0,818 | 0,993 | 0,988 |
| | 1981 e 2003 | 0,700 | 0,996 | 0,004 | 0,300 | 0,875 | 0,989 | 0,985 |
| | 1981 a 2003 | 0,750 | 0,998 | 0,002 | 0,250 | 0,529 | 0,999 | 0,997 |
| Modelo III | 81+91+2003 | 0,667 | 0,993 | 0,007 | 0,333 | 0,727 | 0,990 | 0,984 |
| | 1981 e 2003 | 0,600 | 0,996 | 0,004 | 0,400 | 0,857 | 0,985 | 0,982 |
| | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,997 | 0,003 | 0,333 | 0,444 | 0,999 | 0,996 |
| Modelo IV | 81+91+2003 | 0,750 | 0,993 | 0,007 | 0,250 | 0,750 | 0,993 | 0,986 |
| | 1981 e 2003 | 0,700 | 0,996 | 0,004 | 0,300 | 0,875 | 0,989 | 0,985 |
| | 1981 a 2003 | 0,750 | 0,997 | 0,003 | 0,250 | 0,450 | 0,999 | 0,996 |

81+91+2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981, 1991 e 2003;

81+ 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981 e 2003;

1981 a 2003 – Os resultados baseiam-se nos dados relativos aos meses de Maio e Setembro de 1981 a 2003.

3.2.7. Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos através dos quatro modelos são muito semelhantes e todos eles demonstraram uma boa qualidade de ajustamento como indicado pelos valores elevados de sensibilidade, especificidade, valores preditivos positivos e negativos e probabilidades de decisão correcta. **A análise da validade dos modelos, recorrendo às noções de sensibilidade, especificidade, valores preditivos e percentagem de decisão correcta não permite a clara distinção dos modelos.** No entanto, o melhor coeficiente de determinação ajustado para o total de óbitos foi obtido pelo modelo IV (68,9%), tendo o Modelo II um resultado muito próximo (68,7%). O modelo I foi aquele que apresentou o menor coeficiente de determinação (50%). Este facto permite desde logo dizer que os novos modelos têm um poder mais explicativo e parecem indicar que se estarão mais próximos da verdadeira relação calor-mortalidade.

Os resultados em conjunto, com a visualização gráfica da aderência (bondade de ajustamento) do predito pelos modelos e a mortalidade observada, permitiram dividir os modelos em dois grupos. O modelo I, com o limiar de referência fixo nos 32°C e os restantes modelos com limiares dinâmicos.

O modelo I, correspondente ao modelo clássico adoptado pelo sistema de vigilância ÍCARO 1999, mostrou algum desajustamento com o observado nas ondas de calor mais antigas e uma ótima capacidade de ajustar as réplicas de calor na longa onda de calor de 2003. Pareceu, no entanto, sobrestimar os impactos destes picos de calor. Apesar da ligeira diferença do modelo I aqui proposto, relativamente ao implementado, estes resultados estão em consonância com os obtidos durante a onda de calor de 2003 onde já se sobrestimavam largamente os impactos destas réplicas de picos de calor (Nogueira, 2005), i.e. onde os valores previstos pelo modelo indicavam a possibilidade de excesso de mortalidade atribuível à onda de calor muito mais elevado do que aquele que se observou efectivamente.

Os modelos II, III e IV mostram ter características opostas às do modelo I, são particularmente bons a estimar os efeitos dos picos únicos de mortalidade ou o pico inicial de mortalidade da grande onda de 2003, mas ajustam-se relativamente mal aos picos de mortalidade imediatamente seguintes (réplicas). No entanto, revelam a capacidade para seguir os movimentos de aumento e decréscimo da mortalidade observada, associada à ocorrência de calor, mostrando ainda os mesmos picos de mortalidade embora globalmente subestimando os seus efeitos, i.e. estes modelos prevêm valores de óbitos inferiores aos observados efectivamente.

Os modelos demonstraram uma maior qualidade de ajustamento aos dados dos indivíduos com 65 ou mais anos, o que parece estar de acordo com o que era esperado dada a ênfase que grande parte da literatura sobre ondas calor põe na relação de excesso de mortalidade na população mais idosa e a ocorrência de calor excessivo. Por um lado, este grupo etário não terá susceptibilidades ao calor muito distintas do que acontecia no mesmo grupo etário em 1981, as respectivas condições sociais e económicas podem ter sofrido ligeiras melhorias mas não serão muito diferentes do passado recente. Por outro lado, do estudo dos grandes episódios de ondas de calor portuguesas, parece existir uma evolução de menor impacto das ondas de calor nos grupos etários mais jovens ao longo dos anos (19). Melhoria que se pode justificar por, melhorias dos sistemas de saúde, melhor adaptação das famílias ao fenómeno das ondas de calor, melhoria da qualidade das habitações e locais de permanência de crianças e maior utilização de sistemas de refrigeração. O artigo de Smoyer-Tomic, Kuhn e Hudson, 2003 (4) refere ainda que a adaptação perpétua a climas quentes ocorre na infância podendo estar ligado à activação de maior número de glândulas sudoríferas, o que, aliado à relativa frequência de episódios de calor em Portugal, poderia em parte explicar a eventual melhoria de adaptação dos jovens portugueses que nos grandes eventos de ondas de calor, pois no período pós 1981 não se observaram nestes evidências de impactos atribuíveis ao calor.

O racional conceptual testado com todos estes modelos ajusta-se bem à relação entre calor e mortalidade observada no conjunto dos Verões portugueses de 1981 a 2003.

Poder-se-á discutir se o menor ajustamento dos modelos II, III e IV na onda de calor Julho-Agosto de 2003, não resultará da intervenção proporcionada pela inesperada longa duração da onda de calor de 2003. De facto, ocorreram intervenções das autoridades de saúde e de protecção civil durante a onda de calor e ocorreram notícias de impactos elevados na mortalidade durante os 17 dias que durou a onda de calor.

- Nestas circunstâncias, o modelo I poderá estar a sugerir que, pelo seu bom ajustamento a 2003, era esperada mais mortalidade.
- Os restantes modelos, pelos seus bons ajustamentos a primeiros picos do calor, podem estar a sugerir que era esperado maior impacto inicial e menor posterior, efeitos que intervenções anteriores nesse Verão, e em Verões anteriores, podem ter atenuado mas não o terão evitado.

Os modelos II e IV, para a mortalidade de 65 ou mais anos, mostraram indícios de melhor validade para a mortalidade dos meses de Maio e Setembro. Este facto era esperado porque o delineamento dos respectivos limiares de referência foi particularmente estabelecido para estes meses. Aliás, o facto de o Modelo III não demonstrar um melhor ajustamento, aponta no sentido de não ser necessário aumentar a sensibilidade de detecção de ocorrência de calor no final do Verão. Por outro lado, este facto deve-se também à falta de episódios de mortalidade anómalos no mês de Setembro. Só quando ocorrerem episódios de ondas de calor importantes com claros impactos na mortalidade nos meses de Maio e Setembro se poderá realmente distinguir quais os limiares mais adequados; para já, **dos resultados obtidos, tau2 e tau4 (que são muito semelhantes entre si) apresentam-se como os melhores racionais dos testados.**

Os resultados deste trabalho não contradizem a hipótese de que os impactos de ondas de calor são maiores quando ocorrem em períodos mais precoces do Verão, o que se mostra em sintonia com o referido na literatura científica (25,

79), onde se afirma que existe evidência de que as ondas de calor precoces no Verão têm maiores efeitos na morbidade e mortalidade do que ondas de calor tardias no Verão. Ocorrem melhores ajustamentos aos pequenos picos de mortalidade conhecidos com os modelos II, III e IV onde se propõem, com aparente sucesso, limiares dinâmicos com limites iniciais em crescimento.

Os valores relativamente baixos da sensibilidade dos modelos não são valores surpreendentes quando se atenta referirem-se a dados diários de 23 Verões (1981 a 2003). Os valores de sensibilidade podem verificar-se mais reduzidos devido à definição de caso (ocorrência) adoptada³⁵. De resto podem existir dias de mortalidade elevada (valor de mortalidade diária acima do limiar de mortalidade L1) ou muito elevada (valor de mortalidade diária acima do limiar de mortalidade L2) sem que tal fenómeno corresponda a uma onda de calor. Podem ocorrer causas externas, acidentes de viação ou similares que acresçam a mortalidade num determinado dia. Qualquer ocorrência deste tipo diminui a sensibilidade e aumenta a taxa de falsos negativos sem que isso afecte a qualidade dos modelos.

De facto, a ocorrência de ondas de calor está associada à persistência de calor durante algum tempo e essa é uma das implicações da qualidade dos modelos aqui estudados. Logo, os dias em que ocorrem excessos de mortalidade anómalos não associados ao calor serão esporádicos e não se associam em pequenos clusters. Assim, considerando uma probabilidade de ocorrência de um falso negativo de 0,2 numa previsão a 3 dias³⁶, a probabilidade de errar a previsão nos 3 dias é apenas 0,008³⁷; se eventualmente aquela probabilidade de erro chegar aos 0,4 a probabilidade de erro em 3 dias é 0,064³⁸. Donde, os valores relativamente reduzidos de sensibilidade e consequentemente elevados de falsos negativos não são realmente problemáticos neste enquadramento.

De facto, são muito mais importantes os elevados valores de especificidade e os consequentes reduzidos valores de falsos positivos. Se tivermos 3 dias consecutivos em que se prevê excesso de mortalidade, e a taxa de falsos

³⁵ Ver secção 2.3.2.3

³⁶ Digamos $p = 0,2$

³⁷ i.e. $p^3 = 0,2^3 = 0,008$

³⁸ $p^3 = 0,4^3 = 0,064$

positivos for 0,005 (como acontece nos modelos estudados) a probabilidade de erro – de não ocorrer excesso de mortalidade associada ao calor – nos 3 dias é 0,000000125³⁹.

Este capítulo teve como principal motivação a actualização do modelo usado pelo sistema de vigilância ÍCARO originariamente criado apenas com base nos dados das ondas de calor de 1981 e 1991 relativos ao distrito de Lisboa: por um lado existiam novos dados referentes a uma nova grande onda de calor ocorrida em 2003; por outro lado, o conhecimento relativo a ondas de calor de impacto mais moderado na mortalidade tinha evoluído bastante no âmbito do projecto ÍCARO. **Foi como tal testado, com aparente sucesso, um racional mais sofisticado para a relação calor-mortalidade, onde limiares dinâmicos que se ajustam à noção de adaptação da população à evolução gradual e regular dos níveis das temperaturas do ar e a noção de “arrefecimento” gradual, em vez de arrefecimento abrupto, contribuem para um melhor ajustamento aos dados, constituindo desde logo um avanço neste tipo de modelação.**

Procurou-se, com a discussão dos modelos aqui feita, evoluir no **conhecimento do mecanismo da mortalidade associada à ocorrência de calor excessivo** e escolher o melhor modelo para o sistema de vigilância dos efeitos das ondas de calor de Lisboa. Em termos do modelo para previsão da ocorrência de ondas de calor pretende-se que se detectem os respectivos impactos, sobretudo os iniciais. Aparentemente qualquer dos modelos II, III ou IV é adequado para este requisito principal. Da discussão feita, considerou-se que o modelo IV reunia as condições para ser o modelo eleito. Isto porque:

- Tem as melhores propriedades estatísticas;
- Sintetiza a maior capacidade de, correctamente, prever ondas de calor com impactos na mortalidade precoces no período de Verão;
- O modelo III que ensaiava uma maior capacidade de avaliar impactos de calor no período tardio de Verão (Setembro) não se revelou vantajoso.

³⁹ $p^3 = 0,005^3$

3.3 Modelos Regionais para a relação calor-mortalidade

Não sendo possível construir modelos para cada distrito, como foi feito para o distrito de Lisboa (na secção 3.2.4.), porque não existe densidade populacional e o concomitante número de óbitos para a modelação estatística, foi adoptada uma estratégia que permitisse o estabelecer as condições para essa modelação. Para tal efectuou-se uma definição de regiões (grupos de distritos), necessariamente homogéneas e contíguas num qualquer critério. Posteriormente, depois de definidas essas regiões, colocou-se a questão de saber que temperatura (de que distrito) serviria de referência, se deveria ser usada uma única temperatura como os modelos desenvolvidos acima (distrito de Lisboa), ou se seria possível construir modelos com múltiplas temperaturas para reflectir o facto de que em cada região existem diferentes conjuntos de indivíduos habituados e expostos a diferentes temperaturas em cada momento. Recorreu-se ao uso de dendogramas das temperaturas máximas e mínimas diárias de Maio a Setembro e também do respectivo número de óbitos para definir regiões homogéneas formadas por vários distritos contíguos cujas dimensões populacionais permitissem a construção de modelos estatísticos.

3.3.1. Definição de Regiões

O conhecimento de modelos para a relação calor-mortalidade em Portugal nunca fez ressaltar qualquer evidência de que a temperatura mínima fosse relevante para a construção dos modelos. Como tal parecia à partida lícito estabelecer uma investigação centrada, senão exclusiva, nas temperaturas máximas para estabelecer as proximidades plausíveis entre regiões no que respeitaria às suas potenciais características em circunstâncias de ocorrência de períodos, ondas ou vagas de calor.

Da observação directa dos dendogramas (Figura 16 a Figura 21), definidos para um período alargado (Maio a Setembro) e de outro mais centrado no Verão

(Junho a Agosto), não se evidenciaram agrupamentos que fizessem de imediato sentido em termos da definição das regiões.

Tornou-se claro que existem relações de proximidade (ou similaridade) entre regiões mas que estas variam quando se trata da relação entre temperaturas máximas e mínimas, e mesmo as relações que se estabelecem para os dois períodos considerados tendem a mostrar diferentes padrões.

Os dendogramas para a mortalidade (Figura 18 e Figura 21) definem-se 3 grupos de distritos: os de muito baixa mortalidade, os mortalidade intermédia e os de elevada mortalidade⁴⁰. Para aquele que era o principal objectivo desta etapa, é importante reter desta informação, sobre a mortalidade, é que na decisão de juntar distritos tão homogéneos quanto possível em condições de temperaturas, e desejavelmente contíguos⁴¹, será também de considerar a agregação em maior número dos que têm menor mortalidade (e também menor densidade populacional).

Na base de todas estas considerações, foi decidido estabelecer 4 regiões, que se configuram do seguinte modo (Figura 22):

Grupo I - Região Interior Norte – formada pelos distritos de Bragança, Guarda, Vila Real e Viseu;

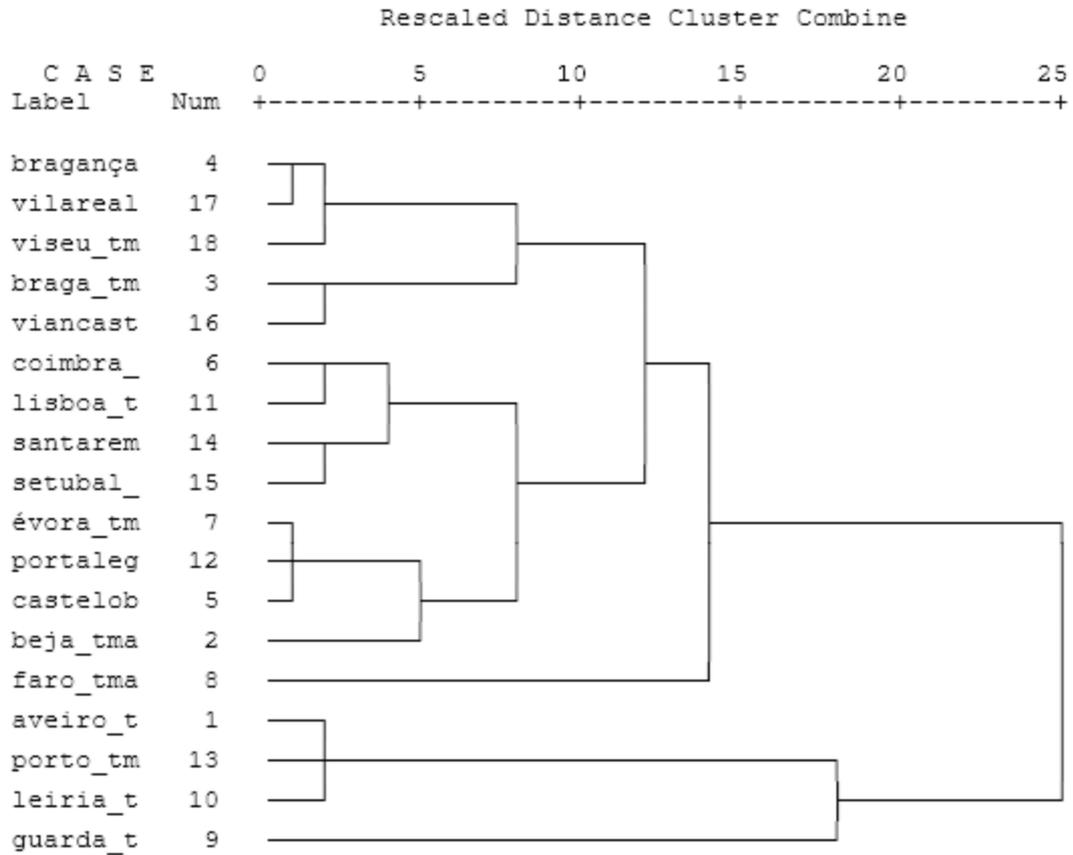
Grupo II – Região Litoral Norte – formada pelos distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto, Aveiro, Coimbra e Leiria;

Grupo III – Região Litoral Centro – formada pelos distritos de Lisboa, Santarém e Setúbal;

Região IV – Interior e Sul – formada pelos distritos de Castelo Branco, Portalegre, Évora, Beja e Faro.

⁴⁰ Mortalidade diária por “todas as causas”

⁴¹ Seria difícil de perceber que uma região (conjunto de distritos) fosse homogénea em termos climáticos e de mortalidade e não fosse geograficamente contínua.



| Abbreviated Name | Extended Name |
|------------------|--------------------|
| aveiro_t | aveiro_tmax |
| beja_tma | beja_tmax |
| braga_tm | braga_tmax |
| bragança | bragança_tmax |
| castelob | castelobranco_tmax |
| coimbra_ | coimbra_tmax |
| évora_tm | évora_tmax |
| faro_tma | faro_tmax |
| guarda_t | guarda_tmax |
| leiria_t | leiria_tmax |
| lisboa_t | lisboa_tmax |
| portaleg | portalegre_tmax |
| porto_tm | porto_tmax |
| santarem | santarem_tmax |
| setubal_ | setubal_tmax |
| viancast | viancast_tmax |
| vilareal | vilareal_tmax |
| viseu_tm | viseu_tmax |

Figura 16: Dendrograma da Temperatura Máxima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003

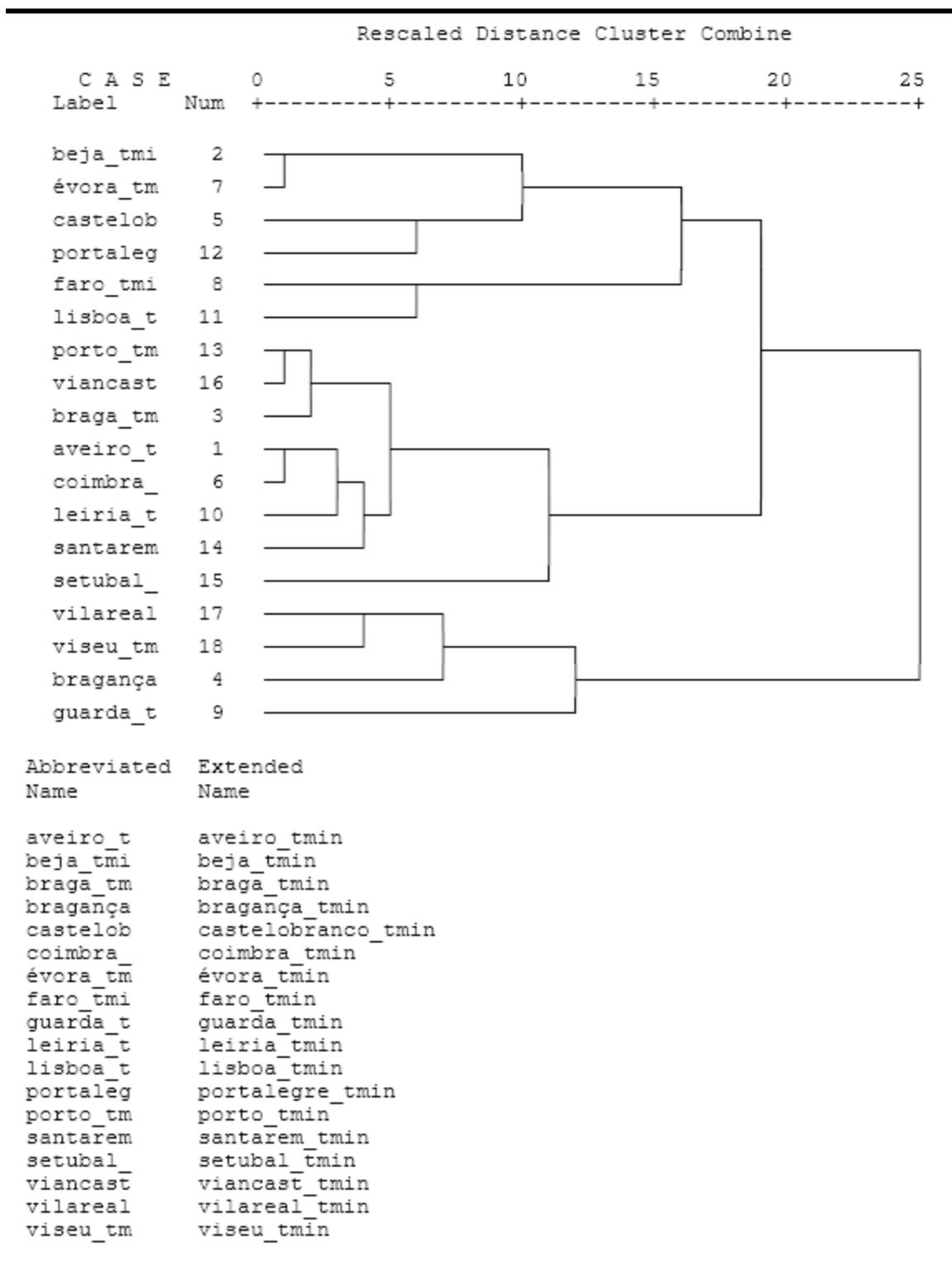


Figura 17: Dendrograma da Temperatura Mínima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003

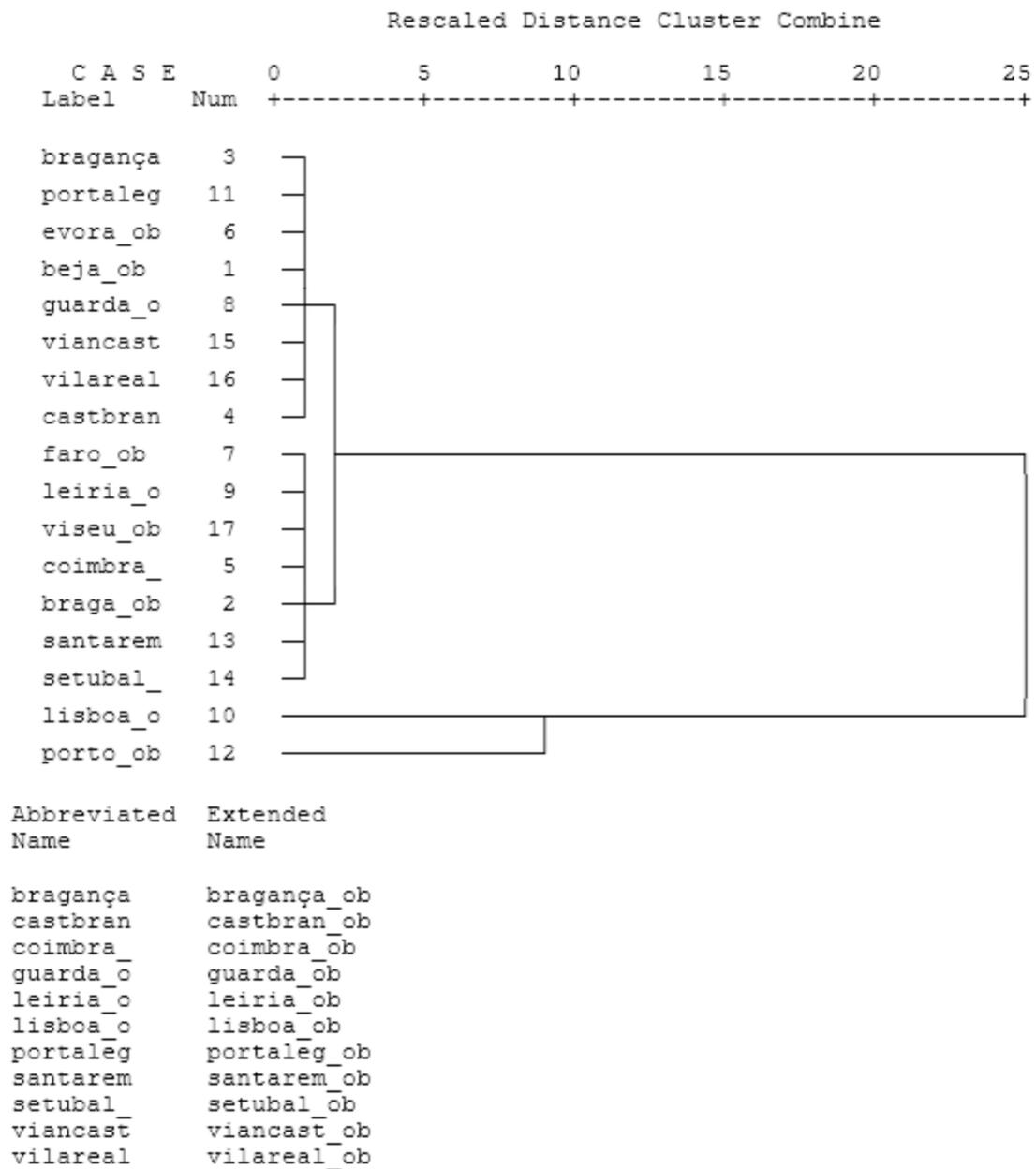


Figura 18: Dendograma do número de óbitos por “todas as causas” dos distritos de Portugal Continental nos meses de Maio a Setembro de 1981 a 2003

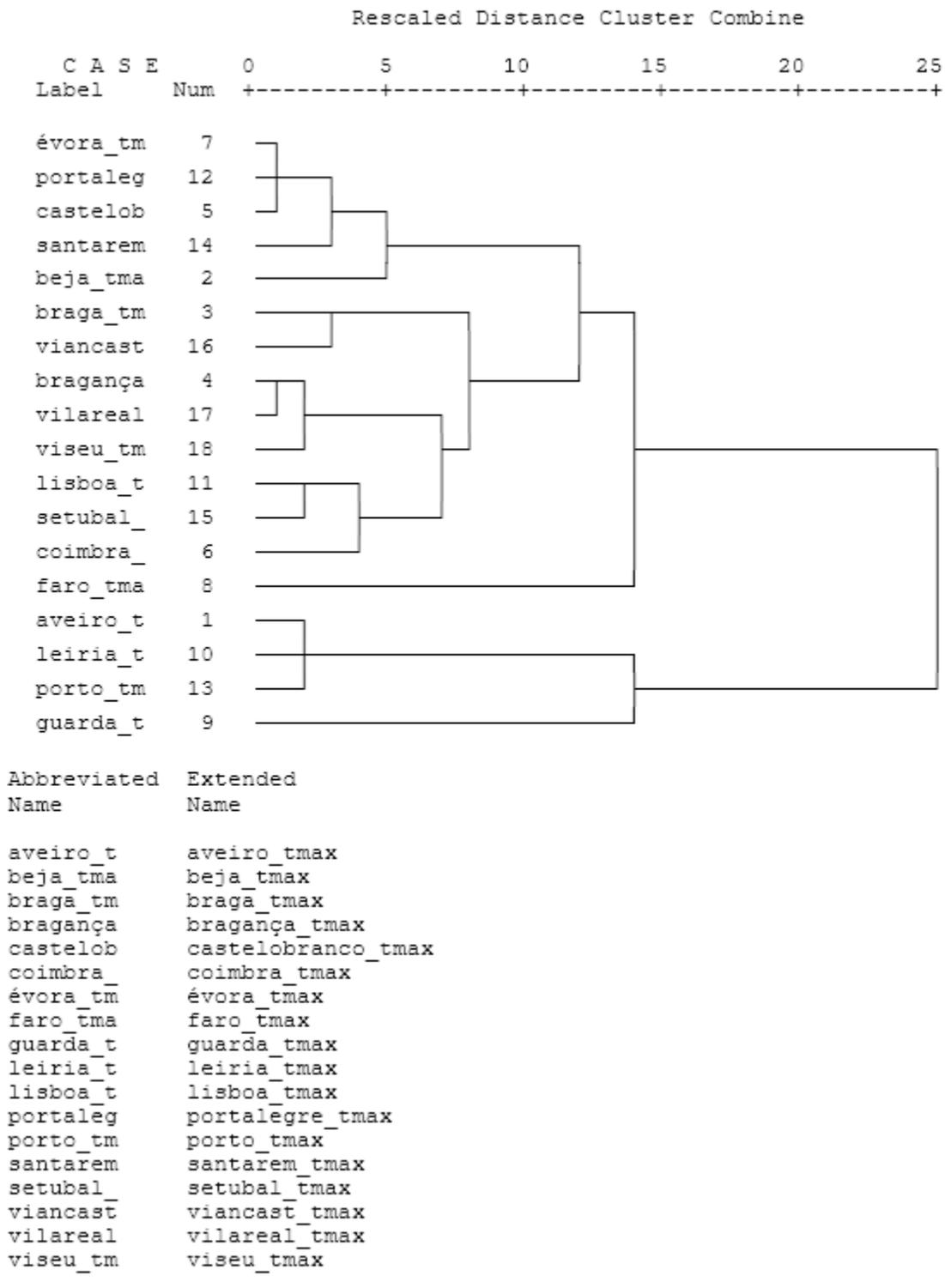


Figura 19: Dendrograma da Temperatura Máxima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003

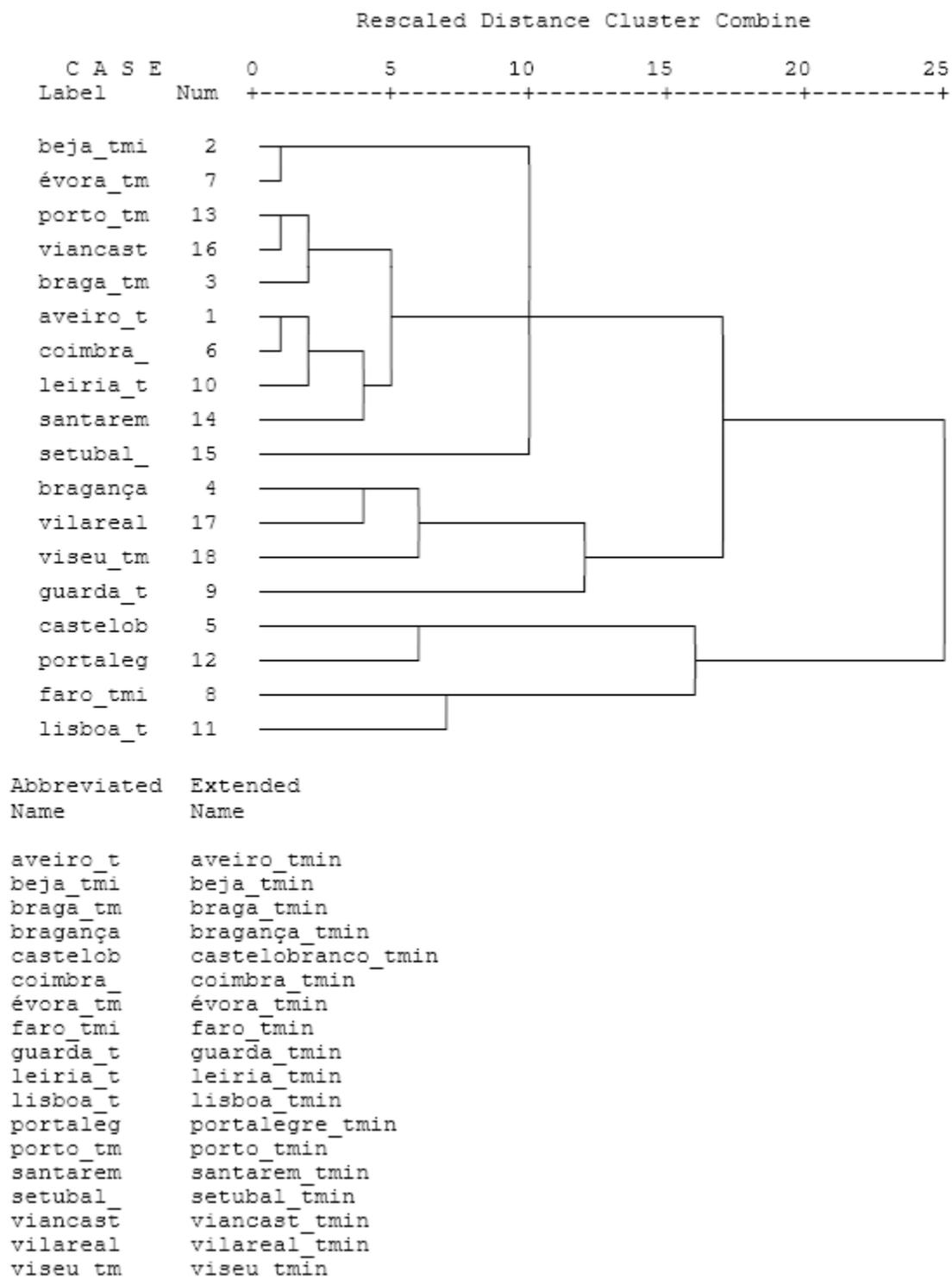


Figura 20: Dendrograma da Temperatura Mínima do ar dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003

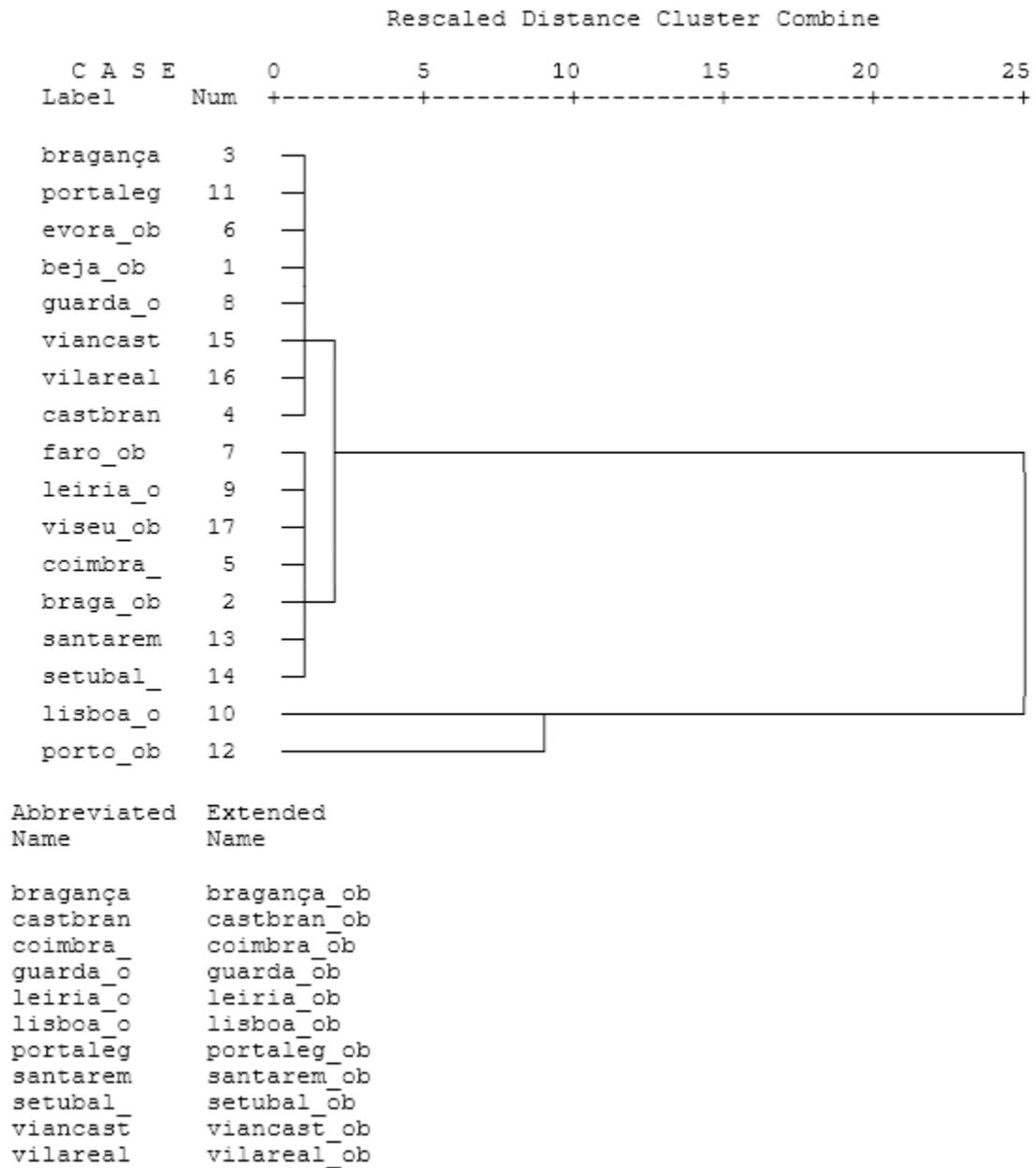


Figura 21: Dendrograma do número de óbitos dos distritos de Portugal Continental nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003

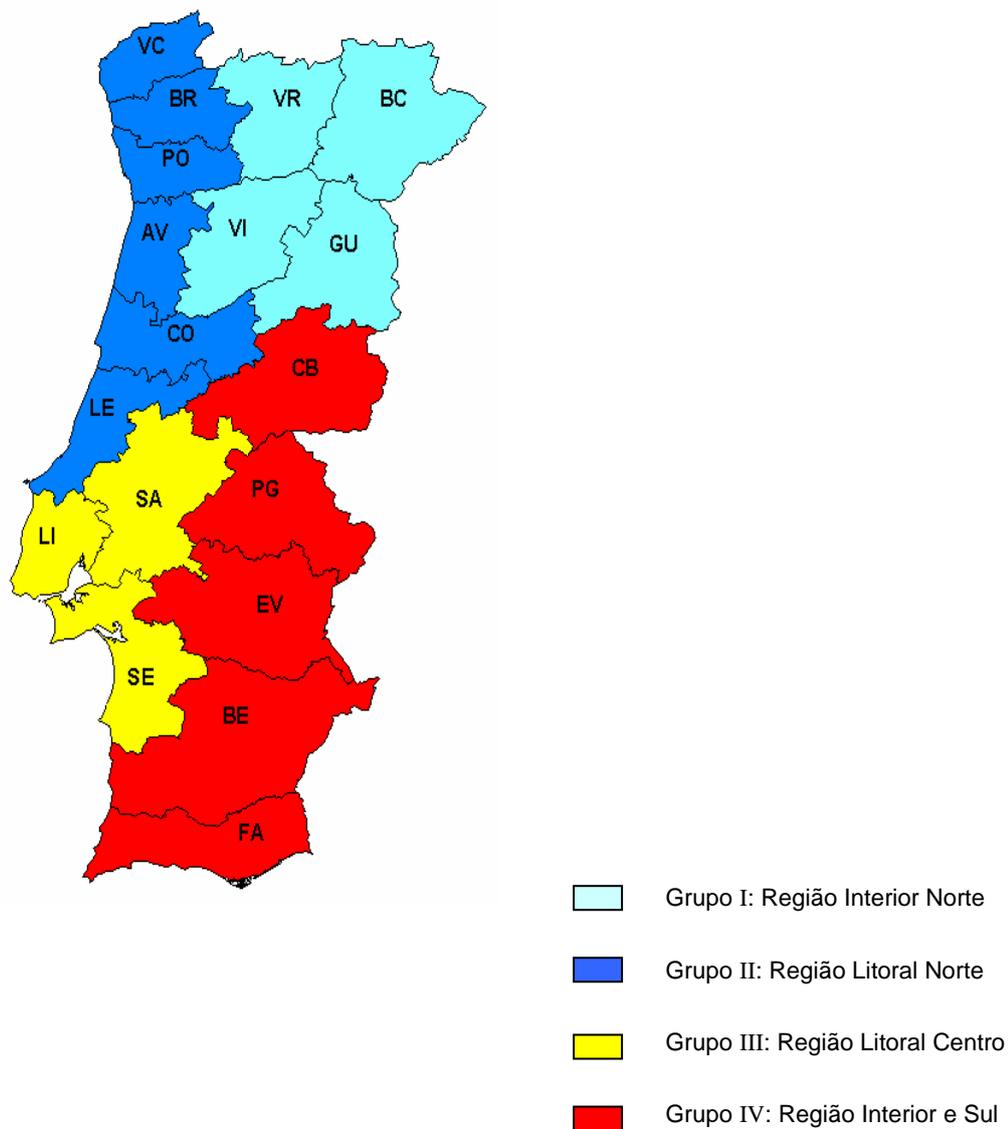


Figura 22: Regiões definidas para construção dos modelos para vigilância e monitorização das ondas de calor

3.3.2. Temperaturas de referência por região

Através da *correlação de Pearson*, foi possível definir-se um distrito de referência para cada região (grupo). O distrito cuja temperatura máxima observada apresentou uma correlação mais elevada com o total de óbitos verificado em cada grupo foi o distrito que se considerou de referência para cada grupo. Os resultados das correlações podem ser examinados no Tabela 19.

Para o Grupo I (Região Interior Norte), a temperatura máxima observada do **distrito de Vila Real** apresentou a correlação mais elevada ($r=0,312$; $p<0,001$). Também foi o distrito de Vila Real, que apresentou a correlação mais elevada entre o total de óbitos observados e a temperatura mínima ($r=0,389$; $p<0,001$).

No Grupo II (Região Litoral Norte), o **distrito que foi considerado de referência foi o de Leiria**, com a correlação entre o total de óbitos e a temperatura máxima mais elevada ($r=0,425$; $p<0,001$). Neste grupo, o distrito de Braga foi o distrito que apresentou a correlação mais elevada entre o total de óbitos e a temperatura mínima observada ($r=0,389$; $p<0,001$).

No Grupo III (Região Litoral Centro), o **distrito que foi considerado de referência foi o de Lisboa**, com a correlação mais elevada entre o total de óbitos e a temperatura máxima ($r=0,386$; $p<0,001$). No distrito de Lisboa, a correlação entre o total de óbitos nesta Região e a temperatura mínima também foi a mais elevada ($r=0,434$; $p<0,001$).

O distrito de Évora foi considerado o distrito de referência para o Grupo IV (Região Interior Sul), uma vez que a correlação mais elevada entre o total de óbitos e a temperatura máxima foi a verificada neste distrito ($r=0,399$; $p<0,001$). O distrito de Portalegre foi o que apresentou uma correlação mais elevada entre o total de óbitos no grupo IV e a temperatura mínima ($r=0,413$; $p<0,001$).

Tabela 19. Correlações do total de órbitos por grupo (região) com a temperatura máxima e mínima do ar, nos meses de Junho a Agosto de 1981 a 2003

| Distritos | | GRUPO I | | | GRUPO II | | | GRUPO III | | | GRUPO IV | | |
|--------------------|------|--------------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|----------|----------|
| | | <i>r</i> | <i>p</i> | <i>n</i> |
| Aveiro | TMAX | | | | 0,369 | 0,000 | 2072 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,257 | 0,000 | 2077 | | | | | | |
| Beja | TMAX | | | | | | | | | | 0,363 | 0,000 | 2111 |
| | TMIN | | | | | | | | | | 0,399 | 0,000 | 2116 |
| Braga | TMAX | | | | 0,363 | 0,000 | 2024 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,389 | 0,000 | 2024 | | | | | | |
| Bragança | TMAX | 0,290 | 0,000 | 2114 | | | | | | | | | |
| | TMIN | 0,303 | 0,000 | 2116 | | | | | | | | | |
| Castelo Branco | TMAX | | | | | | | | | | 0,347 | 0,000 | 2084 |
| | TMIN | | | | | | | | | | 0,406 | 0,000 | 2088 |
| Coimbra | TMAX | | | | 0,364 | 0,000 | 2020 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,325 | 0,000 | 2021 | | | | | | |
| Évora | TMAX | | | | | | | | | | 0,399 | 0,000 | 2113 |
| | TMIN | | | | | | | | | | 0,339 | 0,000 | 2116 |
| Faro | TMAX | | | | | | | | | | 0,232 | 0,000 | 2113 |
| | TMIN | | | | | | | | | | 0,388 | 0,000 | 2115 |
| Guarda | TMAX | 0,298 | 0,000 | 1823 | | | | | | | | | |
| | TMIN | 0,295 | 0,000 | 1792 | | | | | | | | | |
| Leiria | TMAX | | | | 0,425 | 0,000 | 2073 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,179 | 0,000 | 2102 | | | | | | |
| Lisboa | TMAX | | | | | | | 0,386 | 0,000 | 2113 | | | |
| | TMIN | | | | | | | 0,434 | 0,000 | 2116 | | | |
| Portalegre | TMAX | | | | | | | | | | 0,373 | 0,000 | 2111 |
| | TMIN | | | | | | | | | | 0,413 | 0,000 | 2116 |
| Porto | TMAX | | | | 0,379 | 0,000 | 2114 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,373 | 0,000 | 2115 | | | | | | |
| Santarém | TMAX | | | | | | | 0,384 | 0,000 | 2103 | | | |
| | TMIN | | | | | | | 0,348 | 0,000 | 2103 | | | |
| Setúbal | TMAX | | | | | | | 0,360 | 0,000 | 1835 | | | |
| | TMIN | | | | | | | 0,211 | 0,000 | 1834 | | | |
| Viana do Castelo | TMAX | | | | 0,370 | 0,000 | 2114 | | | | | | |
| | TMIN | | | | 0,308 | 0,000 | 2114 | | | | | | |
| Vila Real | TMAX | 0,312 | 0,000 | 2104 | | | | | | | | | |
| | TMIN | 0,356 | 0,000 | 2114 | | | | | | | | | |
| Viseu | TMAX | 0,286 | 0,000 | 2068 | | | | | | | | | |
| | TMIN | 0,327 | 0,000 | 2079 | | | | | | | | | |
| Média TMAX | | 0,301 | 0,000 | 2116 | 0,411 | 0,000 | 2116 | 0,384 | 0,000 | 2116 | 0,375 | 0,000 | 2114 |
| Mínimo TMAX | | 0,277 | 0,000 | 2116 | 0,373 | 0,000 | 2116 | 0,360 | 0,000 | 2116 | 0,299 | 0,000 | 2114 |
| Máximo TMAX | | 0,308 | 0,000 | 2116 | 0,370 | 0,000 | 2116 | 0,400 | 0,000 | 2116 | 0,373 | 0,000 | 2114 |

r – correlação de Pearson; *p* - nível de significância; *n* - número de casos válidos; TMAX – temperatura máxima do ar; TMIN – temperatura mínima do ar

3.3.3. Modelos por região para o Total de Óbitos Diários

Como foi descrito na secção 2.2.3.2., foram testados seis modelos distintos (R I a R VI), dos quais se optou por implementar o Modelo I, em cada grupo/Região.

3.3.3.1 Grupo I

Uma resenha breve e possível para os modelos obtidos para o Grupo I – Região Interior Norte – com base nos resultados do Tabela 20, é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas de pelo menos dois distritos;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a **sobrecargas térmicas acumuladas** (STA) do dia anterior e do próprio dia;
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, existindo uma maior prevalência do limiar com o valor mais baixo;
- Inesperadamente, apenas um modelo, R III, incluiu de forma não forçada⁴² a temperatura de Vila Real (definida em 3.3.2. com de Referência para este grupo). Aliás, o modelo que procurava ensaiar essa hipótese, o modelo R V, apesar da aparente melhor explicação dos dados (sem incluir 1991), não originou boas qualidades estatísticas e não ofereceu um racional diferente do modelo R I, por exemplo;
- **Modelo R I** – é um modelo simples em termos de número de variáveis que se mostraram significativas e com normalidade dos resíduos;
- **Modelo R II** – é um modelo ligeiramente mais complexo, um pouco mais explicativo mas com a desvantagem de não incluir a experiência da onda de calor de 1991;
- **Modelo R III** – não incluiu variáveis de **sobrecargas térmicas acumuladas generalizadas** (STAG), mas apresenta um relativamente bom ajustamento e boas qualidades estatísticas (normalidade dos resíduos do modelo);

⁴² O modelo R V testava esta hipótese forçando a utilização da temperatura de referência. Esta afirmação surge por este facto surgir de forma natural de um modelo mais amplo e não deste modelo R V.

- **Modelo R IV** – modelo mais complexo, mais explicativo, sem resíduos normais, também não incluiu (por construção) a experiência de 1991; Quando comparado com o Modelo R II, demonstra que as variáveis STAG trazem uma adicional capacidade explicativa. Apesar de o modelo misturar variáveis STA e STAG e não apresenta resíduos normais;
- **Modelo R V** – modelo simples, com alguma capacidade explicativa, sem resíduos normais e que não inclui a experiência de 1991;
- **Modelo R VI** – modelo com maior poder explicativo, com boas qualidades estatísticas, integra variáveis STAG e EXC (excesso de temperatura no próprio dia), mas também não integra informação de 1991.

Dos seis modelos em estudo aquele que produziu melhores resultados a nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo VI, o qual explicou 66,8% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 20). O Modelo IV também teve valores muito semelhantes, explicando cerca de 63,7% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 20). Em todos os modelos, com excepção do Modelo IV e V, os resíduos foram considerados como ruído branco normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$). No entanto é de lembrar que só os modelos R I e R III modelavam simultaneamente os dados das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, e que os restantes modelos apenas consideravam os dados relativos às ondas de calor de 1981 e 2003, menos informação portanto.

Na Tabela 21 apresentam-se os resultados de validade dos modelos ensaiados para os dois limites de mortalidade estabelecidos. Os valores de especificidade são consistentemente elevados. Os valores preditivos positivos não são ideais mas apresentam valores apreciáveis para um fenómeno com prevalência tão baixa, acima de 55,6%. E a probabilidade de decisão correcta para ambos os limites ($L_1 = 42,5$ e $L_2 = 53$ óbitos) são também elevados em todos os modelos. É apreciável que a melhor capacidade de decisão correcta para o limite de ocorrência 1 (L_1), o de valor mais baixo, e desde logo aquele onde seria mais difícil ter os melhores níveis de decisão correcta, seja obtida com o Modelo R I. Para o limite de ocorrência 2 (L_2), os melhores valores são obtidos pelo modelo R III, mas a diferença para o modelo R I não é notória.

Tabela 20. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo I e avaliação da qualidade do ajustamento através do R²Ajustado e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R ² Ajustado | P _{K-S} |
|---------|-----------------------------------|-----------|-------|-------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | | | | | L _{INF} | L _{SUP} | | |
| R I | Constante | 28,229 | 0,552 | 0 | 27,142 | 29,315 | 0,444 | 0,073 |
| | Bragança STAG 32 _(t-1) | 0,24 | 0,041 | 0 | 0,159 | 0,321 | | |
| | Guarda STAG 32 _(t) | 0,41 | 0,113 | 0 | 0,188 | 0,632 | | |
| | lano 1981 | 2,883 | 0,884 | 0,001 | 1,142 | 4,623 | | |
| R II | Constante | 30,448 | 0,75 | 0 | 28,968 | 31,929 | 0,617 | 0,074 |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,341 | 0,05 | 0 | 0,243 | 0,44 | | |
| | Viseu STAG32 _(t) | 0,425 | 0,074 | 0 | 0,279 | 0,571 | | |
| | Bragança STAG35 _(t) | -0,614 | 0,178 | 0,001 | -0,966 | -0,262 | | |
| | lano 2003 | -2,262 | 0,943 | 0,018 | -4,123 | -0,401 | | |
| | Imês Julho | -2,21 | 0,962 | 0,023 | -4,109 | -0,311 | | |
| R III | Constante | 27,794 | 0,517 | 0 | 26,776 | 28,812 | 0,502 | 0,2 |
| | Bragança STA32 _(t-1) | 0,29 | 0,049 | 0 | 0,194 | 0,386 | | |
| | Viseu STA32 _(t) | 0,45 | 0,084 | 0 | 0,284 | 0,616 | | |
| | Viseu STA35 _(t) | -0,71 | 0,197 | 0 | -1,099 | -0,321 | | |
| | lano 1981 | 2,35 | 0,833 | 0,005 | 0,71 | 3,991 | | |
| | Bragança STA35 _(t) | -0,437 | 0,177 | 0,014 | -0,786 | -0,089 | | |
| R IV | Constante | 30,23 | 0,733 | 0 | 28,784 | 31,677 | 0,637 | 0,016 |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,362 | 0,055 | 0 | 0,254 | 0,471 | | |
| | lano 2003 | -2,125 | 0,922 | 0,022 | -3,945 | -0,306 | | |
| | Vila Real STAG35 _(t-1) | -0,688 | 0,264 | 0,01 | -1,208 | -0,167 | | |
| | Viseu STAG32 _(t) | 0,471 | 0,076 | 0 | 0,321 | 0,621 | | |
| | Bragança STA35 _(t) | -0,722 | 0,215 | 0,001 | -1,147 | -0,296 | | |
| | Viseu STA35 _(t-1) | 0,692 | 0,269 | 0,011 | 0,161 | 1,223 | | |
| | Imês Julho | -2,181 | 0,937 | 0,021 | -4,03 | -0,332 | | |
| R V | Constante | 28,894 | 0,526 | 0 | 27,855 | 29,932 | 0,522 | 0,002 |
| | Vila Real STAG32 _(t-1) | 0,311 | 0,072 | 0 | 0,169 | 0,454 | | |
| | Vila Real STAG32 _(t) | 0,21 | 0,072 | 0,004 | 0,068 | 0,353 | | |
| R VI | Constante | 28,728 | 0,75 | 0 | 27,245 | 30,211 | 0,668 | 0,2 |
| | Viseu EXC32 _(t) | 4,17 | 0,706 | 0 | 2,773 | 5,567 | | |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,334 | 0,037 | 0 | 0,261 | 0,408 | | |
| | Bragança EXC32 _(t) | -1,145 | 0,509 | 0,026 | -2,152 | -0,139 | | |
| | Viseu EXC35 _(t) | -3,426 | 1,373 | 0,014 | -6,14 | -0,712 | | |
| | Imês Julho | -2,141 | 1,047 | 0,043 | -4,211 | -0,071 | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF}- limite inferior do intervalo; L_{SUP}- limite superior do intervalo);

R²Ajustado- Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

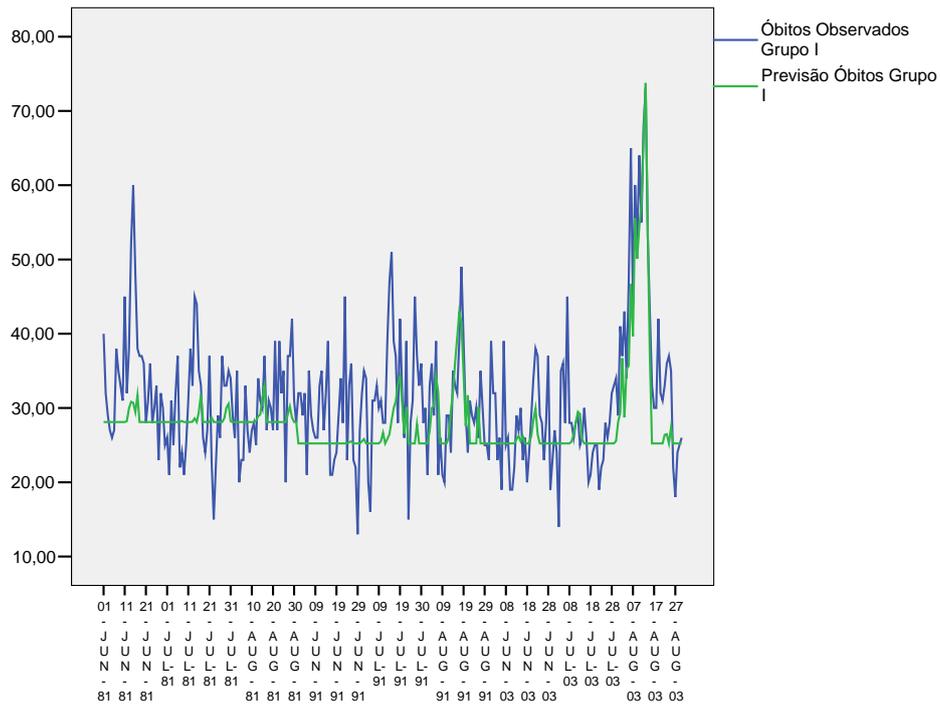
Da análise da especificidade, quando considerado o limiar de 42,5, os resultados para o Modelo R I e para o Modelo R III foram muito semelhantes. Para ambos os modelos, nos anos de 1981 e 2003 obteve-se o mesmo valor de especificidade (99,4%), enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo R I (99,9%) tem melhor especificidade do que o Modelo R III (99,3%). Quando considerado o limiar de 53, os modelos R I, R II e R III, apresentam resultados iguais em termos de especificidade.

Em relação à sensibilidade, quando foram considerados todos os anos em análise de (1981 a 2003), todos os modelos apresentaram um valor mais baixo do que se considerados apenas os dois anos de ondas de calor mais severas em Portugal (1981 e 2003).

Tabela 21. Avaliação da qualidade do ajustamento para os Modelos do Grupo I, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

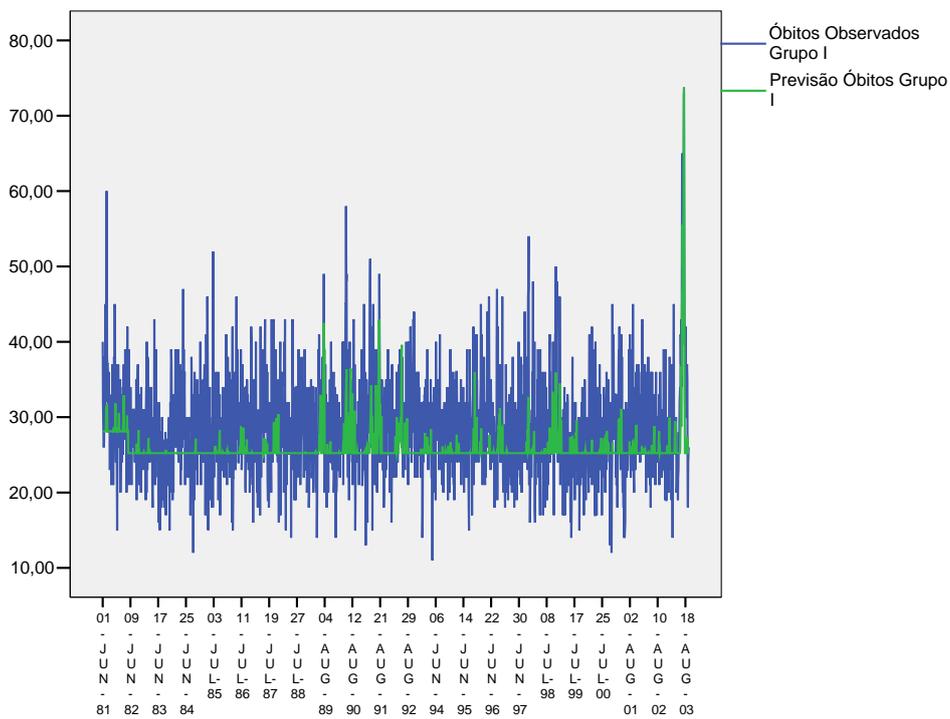
| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores Preditos + | Valores Preditos - | Prob. Correcto |
|----------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|--------------------|--------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 42,5) | R I | 1981 e 2003 | 0,421 | 0,994 | 0,006 | 0,579 | 0,889 | 0,937 | 0,935 |
| | | 1981 a 2003 | 0,148 | 0,999 | 0,001 | 0,852 | 0,75 | 0,975 | 0,974 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,632 | 0,982 | 0,018 | 0,368 | 0,8 | 0,959 | 0,946 |
| | | 1981 a 2003 | 0,426 | 0,964 | 0,036 | 0,574 | 0,263 | 0,983 | 0,949 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,526 | 0,994 | 0,006 | 0,474 | 0,909 | 0,948 | 0,946 |
| | | 1981 a 2003 | 0,213 | 0,993 | 0,007 | 0,787 | 0,464 | 0,977 | 0,97 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,684 | 0,982 | 0,018 | 0,316 | 0,813 | 0,964 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,443 | 0,961 | 0,039 | 0,557 | 0,252 | 0,983 | 0,946 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,474 | 0,994 | 0,006 | 0,526 | 0,9 | 0,943 | 0,94 |
| | | 1981 a 2003 | 0,344 | 0,975 | 0,025 | 0,656 | 0,288 | 0,98 | 0,957 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,579 | 0,8 | 0,2 | 0,421 | 0,25 | 0,943 | 0,777 |
| | | 1981 a 2003 | 0,344 | 0,958 | 0,042 | 0,656 | 0,194 | 0,98 | 0,94 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 53) | R I | 1981 e 2003 | 0,714 | 0,989 | 0,011 | 0,286 | 0,714 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,998 | 0,002 | 0,444 | 0,556 | 0,998 | 0,996 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,714 | 0,989 | 0,011 | 0,286 | 0,714 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,998 | 0,002 | 0,444 | 0,556 | 0,998 | 0,996 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,989 | 0,011 | 0,143 | 0,75 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,998 | 0,002 | 0,333 | 0,6 | 0,999 | 0,997 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,983 | 0,017 | 0,143 | 0,667 | 0,994 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,975 | 0,025 | 0,333 | 0,102 | 0,999 | 0,974 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,714 | 0,989 | 0,011 | 0,286 | 0,714 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,988 | 0,012 | 0,333 | 0,188 | 0,999 | 0,986 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,808 | 0,192 | 0,143 | 0,15 | 0,993 | 0,81 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,972 | 0,028 | 0,333 | 0,092 | 0,999 | 0,971 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos de implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I. É, neste caso, verdade que apresenta uma qualidade de ajustamento de 44,4% (R^2_{Ajustado}) reduzida (Tabela 20). Mas o modelo é bastante simples, tem boas qualidades estatísticas e de validade, e integra informação de todas as grandes ondas de calor conhecidas. As variáveis que entraram no modelo foram: Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t para o distrito da Guarda; a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$ para o distrito de Bragança; e a variável indicadora do ano de 1981.



Data

Figura 23: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003



Data

Figura 24: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003

Da observação da Figura 23, pode verificar-se o ajustamento do modelo R I às grandes ondas de calor. O modelo R I parece ajustar-se bem à onda de calor de 2003 e adaptar-se relativamente mal aos picos de mortalidade únicos de 1981 e 1991, sem, no entanto, deixar de os assinalar.

De acordo com a Figura 24, que nos oferece um panorama da mortalidade da região e do ajustamento do Modelo R I em 24 anos, este parece ajustar-se bem, como se disse, à onda de calor de 2003 e adaptar-se relativamente bem aos picos de mortalidade de Agosto de 1991. Esta região tem um número médio de óbitos diários baixo e com variabilidade elevada que torna a análise desta figura difícil.

3.3.3.2 Grupo II

Uma resenha breve e possível para os modelos obtidos para o Grupo II – Região Litoral Norte – com base nos resultados nas Tabela 22 e Tabela 23, é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas de pelo menos três distritos;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia.
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, tendo parecido existir uma maior prevalência do limiar com o valor mais elevado.
- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Leiria (definida em 3.2.2. como de Referência para este grupo) apareceu significativa na maioria dos modelos ensaiados. Esta temperatura, quando apareceu sem ser forçada, tendeu a mostrar-se associada ao nível de limiar de 32°C. No modelo V, onde o uso da temperatura máxima de Leiria foi forçada, foi o limiar de 35°C que se mostrou relevante.
- **Modelo R I** – É um modelo complexo (com um número considerável de variáveis), com bom ajustamento (76,6%) mas sem normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,007$); incluiu variáveis relativas às temperaturas de 5 dos 6 distritos da região; incluiu 5 variáveis STAG associadas ao limiar de 32°C e outras 5 associadas ao limiar de 35°C; o parâmetro associado à variável Porto STAG 35 (t-1) é negativo e de dimensão substancial, o que pode ser visto como algo circunstancial e parece corresponder a um limitador ou corrector da mortalidade da região.
- **Modelo R II** – É um modelo ligeiramente mais simples; apresenta um ajustamento aos dados aparentemente melhor (82,2%), mas também sem verificar a normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,001$), e com a desvantagem de não incluir a onda de calor de 1991; incluiu variáveis relativas às temperaturas de 5 dos 6 distritos da região; surgiram aqui 5 variáveis STAG associadas a limiares de 35°C, contra 3 variáveis associadas a limiares de 32°C; também neste modelo surge o parâmetro

associado à variável Porto STAG 35 (t-1), sendo negativo e de dimensão substancial, o que é digno de nota e de eventual discussão adicional.

- **Modelo R III** – Este modelo revelou-se particularmente complexo incluindo 20 variáveis, 9 STAG e 9 STA; a repartição pelos limiares de 32°C e 35°C foi igual; tem aparente bom ajustamento aos dados (81,1%) e as desejadas características estatísticas, não se rejeitando a hipótese de normalidade dos dados ($p=0,055$); misturou as variáveis STA e STAG; incluiu variáveis relativas às temperaturas de todos os 6 distritos da região; também nele surgiram variáveis STAG (t-1) com valores negativos e substanciais, nomeadamente relativos a 4 distritos: Porto, Braga, Aveiro e Viana do Castelo que merecerá reflexão adicional.
- **Modelo R IV** – modelo ligeiramente complexo (inclui maior número de variáveis que o modelo R II que está hierarquicamente próximo, mas menor que os modelos R I e R III), combinou variáveis STA e STAG gerando um bom ajustamento aos dados (82,9%) que pouco acresce ao modelo R II; as qualidades estatísticas desejáveis de normalidade dos resíduos não foram verificadas ($p<0,001$); incluiu informação de temperaturas de 4 dos 6 distritos do grupo; integrou 4 variáveis STA e 4 variáveis STAG; o limiar de temperatura de 35°C tendeu a ser mais prevalente, surgindo 6 vezes contra as 3 do limiar de 32°C; voltam nele a surgir variáveis STA e STAG associadas ao limiar de 35°C com valores negativos e substanciais, no caso Porto STA 35 (t-1) e Aveiro STAG 35 (t) – aumentando assim, a evidência de que existe algo que é específico deste grupo e que tende a ser controlado por essas variáveis.
- **Modelo R V** – O uso das temperaturas de referência não gerou um modelo muito explicativo (50,2%), quando comparado com os restantes do grupo; apresentou fracas características estatísticas, não se tendo verificado o pressuposto de normalidade dos dados ($p<0,001$); parece relevante que apenas tenham sobressaído variáveis STA e STAG com o limiar de 35°C; e mais uma vez se denotou que o uso de uma temperatura que melhor se relaciona com o seu grupo não resulta necessariamente na construção de um melhor modelo.
- **Modelo R VI** – Modelo relativamente complexo (mais variáveis que os modelos R II e R IV, com os quais se compara directamente); releva-se

neste modelo a inclusão de variáveis de excesso de temperatura mas respeitantes apenas aos distritos de Coimbra e Porto; apesar de conseguir maior capacidade de explicação (86,3%), não conservou as características estatísticas desejáveis, rejeitando-se a hipótese de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,004$); incluiu variáveis relativas às temperaturas de todos os 6 distritos do grupo e nele parecem prevalecer as variáveis relativas ao limiar 32°C; conseqüentemente o modelo resultou intrincado e de difícil interpretação.

Dos seis modelos em estudo aquele que produziu melhores resultados a nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo R VI, o qual explicou 86.3% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 23). O Modelo R IV também teve valores muito semelhantes, explicando cerca de 82.9% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 23). Somente no Modelo R III os resíduos foram considerados como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S}=0,055$). Para o modelo R I, os resíduos não se mostraram normais ($p_{K-S}= 0,007$). No entanto, é de notar novamente que só os modelos R I e R III modelavam simultaneamente os dados das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, já que os restantes modelos apenas consideravam os dados relativos às grandes ondas de calor de 1981 e 2003, incluindo assim menos informação.

Tabela 22. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|--|--|-----------|-------|---------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 85,694 | 1,495 | 0 | 82,749 | 88,638 | 0,766 | 0,007 |
| | Viana Castelo STAG 35 _(t-1) | 6,665 | 1,219 | 0 | 4,264 | 9,066 | | |
| | Braga STAG 35 _(t) | 3,337 | 0,982 | 0,001 | 1,403 | 5,271 | | |
| | Braga STAG 35 _(t-1) | 3,743 | 0,912 | 0 | 1,947 | 5,539 | | |
| | Aveiro STAG 32 _(t) | 1,931 | 0,683 | 0,005 | 0,587 | 3,275 | | |
| | Iano 1981 | -6,602 | 1,915 | 0,001 | -10,374 | -2,83 | | |
| | Porto STAG 35 _(t-1) | -13,69 | 3,273 | 0 | -20,135 | -7,244 | | |
| | Aveiro STAG 32 _(t-1) | 1,404 | 0,779 | 0,073 | -0,13 | 2,938 | | |
| | Viana Castelo STAG 35 _(t) | 2,407 | 1,065 | 0,025 | 0,31 | 4,505 | | |
| | Imês Junho | 5,206 | 1,657 | 0,002 | 1,944 | 8,468 | | |
| | Coimbra STAG 32 _(t) | 0,29 | 0,092 | 0,002 | 0,109 | 0,472 | | |
| | Iano 2003 | 5,688 | 1,916 | 0,003 | 1,916 | 9,461 | | |
| | Porto STAG 32 _(t-1) | 2,674 | 1,249 | 0,033 | 0,215 | 5,134 | | |
| Viana Castelo STAG 32 _(t-1) | -0,62 | 0,304 | 0,042 | -1,218 | -0,021 | | | |
| R II | Constante | 90,518 | 1,614 | 0 | 87,332 | 93,703 | 0,822 | 0,001 |
| | Viana Castelo STAG35(t-1) | 8,731 | 1,275 | 0 | 6,213 | 11,248 | | |
| | Iano 1981 | -12,078 | 1,958 | 0 | -15,943 | -8,213 | | |
| | Porto STAG35(t-1) | -11,414 | 2,729 | 0 | -16,8 | -6,028 | | |
| | Viana Castelo STAG35(t) | 3,688 | 1,003 | 0 | 1,707 | 5,668 | | |
| | Imês Junho | 7,28 | 2,061 | 0,001 | 3,211 | 11,348 | | |
| | Braga STAG35(t-1) | 7,091 | 0,95 | 0 | 5,216 | 8,966 | | |
| | Coimbra STAG32(t) | 0,666 | 0,115 | 0 | 0,438 | 0,894 | | |
| | Viana Castelo STAG32(t-1) | -1,424 | 0,334 | 0 | -2,083 | -0,765 | | |
| Aveiro STAG32(t) | 1,919 | 0,738 | 0,01 | 0,461 | 3,377 | | | |
| R III | Constante | 85,31 | 1,404 | 0 | 82,545 | 88,075 | 0,811 | 0,055 |
| | Viana Castelo STA35(t-1) | 8,325 | 1,642 | 0 | 5,092 | 11,559 | | |
| | Iano1981 | -6,367 | 1,735 | 0 | -9,784 | -2,95 | | |
| | Braga STAG35(t-1) | 23,895 | 5,871 | 0 | 12,333 | 35,457 | | |
| | Imês Junho | 3,75 | 1,538 | 0,015 | 0,721 | 6,779 | | |
| | Aveiro STAG32(t) | 6,744 | 1,882 | 0 | 3,037 | 10,451 | | |
| | Porto STAG35(t-1) | -11,775 | 3,076 | 0 | -17,833 | -5,717 | | |
| | Iano 2003 | 5,567 | 1,779 | 0,002 | 2,064 | 9,07 | | |
| | Aveiro STA35(t) | -12,295 | 4,417 | 0,006 | -20,995 | -3,596 | | |
| | Leiria STAG35(t) | 1,462 | 0,613 | 0,018 | 0,255 | 2,668 | | |
| | Viana Castelo STAG32(t-1) | -2,177 | 0,577 | 0 | -3,314 | -1,04 | | |
| | Coimbra STA32(t-1) | 0,855 | 0,204 | 0 | 0,454 | 1,256 | | |
| | Braga STA35(t-1) | -22,292 | 5,872 | 0 | -33,857 | -10,727 | | |
| | Coimbra STAG35(t-1) | -2,04 | 0,458 | 0 | -2,941 | -1,138 | | |
| | Braga STAG35(t) | 8,401 | 1,079 | 0 | 6,276 | 10,525 | | |
| | Leiria STA32(t-1) | 4,118 | 0,533 | 0 | 3,069 | 5,167 | | |
| | Leiria STAG32(t-1) | -2,344 | 0,367 | 0 | -3,067 | -1,622 | | |
| Aveiro STA35(t-1) | -10,195 | 3,665 | 0,006 | -17,413 | -2,976 | | | |
| Aveiro STA32(t) | -4,546 | 2,36 | 0,055 | -9,195 | 0,103 | | | |
| Porto STA32(t-1) | 4,487 | 1,193 | 0 | 2,138 | 6,837 | | | |
| Braga STAG32(t-1) | 0,624 | 0,242 | 0,01 | 0,148 | 1,101 | | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p- nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

Tabela 23. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|------------------|--------------------------|-----------|-------|---------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R IV | Constante | 90,787 | 1,528 | 0 | 87,769 | 93,804 | 0,829 | <0,001 |
| | Viana Castelo STA35(t-1) | 4,192 | 1,27 | 0,001 | 1,685 | 6,699 | | |
| | Braga STAG35(t) | 3,594 | 0,919 | 0 | 1,78 | 5,409 | | |
| | Iano 1981 | -12,208 | 1,942 | 0 | -16,042 | -8,374 | | |
| | Porto STA35(t-1) | -15,732 | 2,875 | 0 | -21,408 | -10,057 | | |
| | Coimbra STA35(t) | 1,431 | 0,402 | 0 | 0,637 | 2,225 | | |
| | Braga STA35(t-1) | 6,289 | 1,103 | 0 | 4,111 | 8,467 | | |
| | Imês Junho | 6,673 | 2,005 | 0,001 | 2,715 | 10,631 | | |
| | Aveiro STAG32(t-1) | 1,867 | 0,729 | 0,011 | 0,429 | 3,306 | | |
| | Aveiro STAG32(t) | 2,911 | 0,972 | 0,003 | 0,992 | 4,83 | | |
| Aveiro STAG35(t) | -15,714 | 4,536 | 0,001 | -24,668 | -6,76 | | | |
| Porto STA32(t) | 2,561 | 1,138 | 0,026 | 0,313 | 4,808 | | | |
| R V | Constante | 84,027 | 1,999 | 0 | 80,082 | 87,972 | 0,502 | <0,001 |
| | Leiria STA35(t-1) | 6,674 | 0,843 | 0 | 5,011 | 8,337 | | |
| | Leiria STAG35(t) | 4,744 | 0,699 | 0 | 3,365 | 6,122 | | |
| | Imês Junho | 14,505 | 3,365 | 0 | 7,865 | 21,146 | | |
| R VI | Constante | 89,905 | 1,497 | 0 | 86,948 | 92,861 | 0,863 | 0,004 |
| | Viana Castelo STA35(t-1) | 2,486 | 1,3 | 0,058 | -0,081 | 5,054 | | |
| | Braga STAG35(t) | 10,269 | 1,508 | 0 | 7,292 | 13,246 | | |
| | Coimbra EXC32(t) | 4,807 | 0,661 | 0 | 3,501 | 6,112 | | |
| | Iano 1981 | -12,486 | 1,816 | 0 | -16,071 | -8,9 | | |
| | Porto STA35(t-1) | -32,656 | 4,232 | 0 | -41,013 | -24,299 | | |
| | Braga STA35(t-1) | 7,902 | 1,286 | 0 | 5,362 | 10,442 | | |
| | Imes Junho | 6,052 | 1,909 | 0,002 | 2,282 | 9,821 | | |
| | Leiria STA35(t) | -3,216 | 0,941 | 0,001 | -5,074 | -1,358 | | |
| | Porto STAG32(t) | 8,107 | 1,761 | 0 | 4,629 | 11,585 | | |
| | Porto EXC32(t) | -17,886 | 3,214 | 0 | -24,232 | -11,539 | | |
| | Leiria STAG32(t) | 1,426 | 0,288 | 0 | 0,858 | 1,994 | | |
| | Braga STAG32(t) | -1,769 | 0,361 | 0 | -2,482 | -1,056 | | |
| Porto STA32(t-1) | 4,042 | 1,732 | 0,021 | 0,622 | 7,462 | | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p- nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

Das medidas da qualidade dos modelos para os dois níveis de ocorrência considerados ($L_1=121$ e $L_2=145$), verificou-se:

Da análise da especificidade, quando considerado o limiar mais baixo, os resultados para o Modelo R I e para o Modelo R IV foram muito semelhantes. Para ambos os modelos, nos anos de 1981 e 2003 obteve-se o mesmo valor de especificidade (99,4%), enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo R I (99,1%) tem melhor especificidade do que o Modelo R IV (98,7%). Para este nível de ocorrência a probabilidade de decisão correcta foi mais elevada no

modelo R I, quer para nos anos de 1981 e 2003, quer no conjunto de 24 anos de 1981 a 2002, do que no modelo R IV, apesar de a diferença não ser substancial. Quando considerado o limiar de valor mais elevado (145), o modelo R II, registou marginalmente melhores resultados que os modelos RI e R III (Tabela 24).

Entre o modelo R I e R III, o primeiro apresentou ligeiras vantagens nos indicadores qualitativos. Embora a qualidade estatística, para a técnica de regressão usada, parecesse melhor no modelo R III, no final, tendo em conta a avaliação qualitativa dos modelos, concluiu-se que a mistura de variáveis STAG e STA não adiantou realmente, ainda que o modelo R III aparentasse ser mais simples dado envolver menos variáveis.

Tabela 24. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo II, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. Correcto |
|---------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 121) | R I | 1981 e 2003 | 0,727 | 0,994 | 0,006 | 0,273 | 0,941 | 0,964 | 0,962 |
| | | 1981 a 2003 | 0,439 | 0,991 | 0,009 | 0,561 | 0,568 | 0,985 | 0,976 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,636 | 0,988 | 0,012 | 0,364 | 0,875 | 0,952 | 0,946 |
| | | 1981 a 2003 | 0,439 | 0,991 | 0,009 | 0,561 | 0,568 | 0,985 | 0,976 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,773 | 0,981 | 0,019 | 0,227 | 0,85 | 0,97 | 0,957 |
| | | 1981 a 2003 | 0,526 | 0,988 | 0,012 | 0,474 | 0,545 | 0,987 | 0,975 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,636 | 0,994 | 0,006 | 0,364 | 0,933 | 0,953 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,474 | 0,987 | 0,013 | 0,526 | 0,5 | 0,985 | 0,973 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,5 | 0,969 | 0,031 | 0,5 | 0,688 | 0,935 | 0,913 |
| | | 1981 a 2003 | 0,211 | 0,995 | 0,005 | 0,789 | 0,545 | 0,979 | 0,974 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,727 | 0,988 | 0,012 | 0,273 | 0,889 | 0,964 | 0,957 |
| | | 1981 a 2003 | 0,526 | 0,942 | 0,058 | 0,474 | 0,2 | 0,986 | 0,931 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 145) | R I | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,989 | 0,011 | 0,125 | 0,778 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,778 | 0,992 | 0,008 | 0,222 | 0,304 | 0,999 | 0,991 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,994 | 0,006 | 0,125 | 0,875 | 0,994 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,778 | 0,991 | 0,009 | 0,222 | 0,28 | 0,999 | 0,991 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,75 | 0,983 | 0,017 | 0,25 | 0,667 | 0,989 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,991 | 0,009 | 0,333 | 0,24 | 0,999 | 0,99 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,989 | 0,011 | 0,125 | 0,778 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,778 | 0,991 | 0,009 | 0,222 | 0,269 | 0,999 | 0,99 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,625 | 0,977 | 0,023 | 0,375 | 0,556 | 0,983 | 0,962 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,998 | 0,002 | 0,444 | 0,556 | 0,998 | 0,996 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 1 | 0,983 | 0,017 | 0 | 0,727 | 1 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,889 | 0,943 | 0,057 | 0,111 | 0,063 | 0,999 | 0,943 |

Em relação à sensibilidade, quando são considerados todos os anos em análise de (1981 a 2003), todos os modelos apresentam um valor mais baixo do que se

considerassem apenas os dois anos de ondas de calor mais severas em Portugal (1981 e 2003).

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I. A sua qualidade de ajustamento de 76,6% (R^2_{Ajustado}) é apreciável (Tabela 22). As variáveis que acabaram por ser relevantes no modelo foram: a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$ e t para o distrito de Viana do Castelo, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t e $t-1$ para o distrito de Braga, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t e $t-1$ para o distrito de Aveiro, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C e 35°C até ao dia $t-1$ para o distrito do Porto e as variáveis indicadoras do mês de Junho e dos anos 1981 e 2003.

Da observação da Figura 25

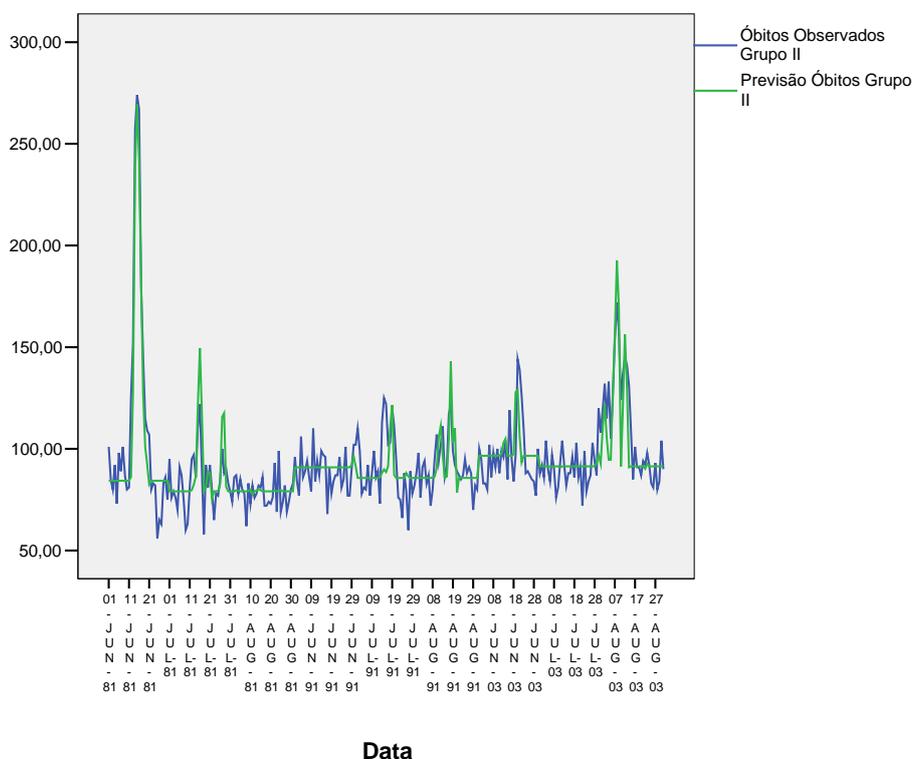


Figura 25, pode verificar-se o ajustamento do modelo RI às grandes ondas de calor registadas em Portugal. O modelo R I prevê muito bem o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003 desta região (grupo de distritos).

A Figura 26 oferece-nos um panorama da mortalidade da região e do ajustamento do Modelo R I em 23 anos. O modelo parece sobrestimar alguns excessos de óbitos da região, ficando por verificar se trata realmente de fenómenos associados ao calor. Seja como for, tal não implica que esses excessos de mortalidade não estejam a ser assinalados pelo modelo, apesar de não os reflectir rigorosamente na sua dimensão.

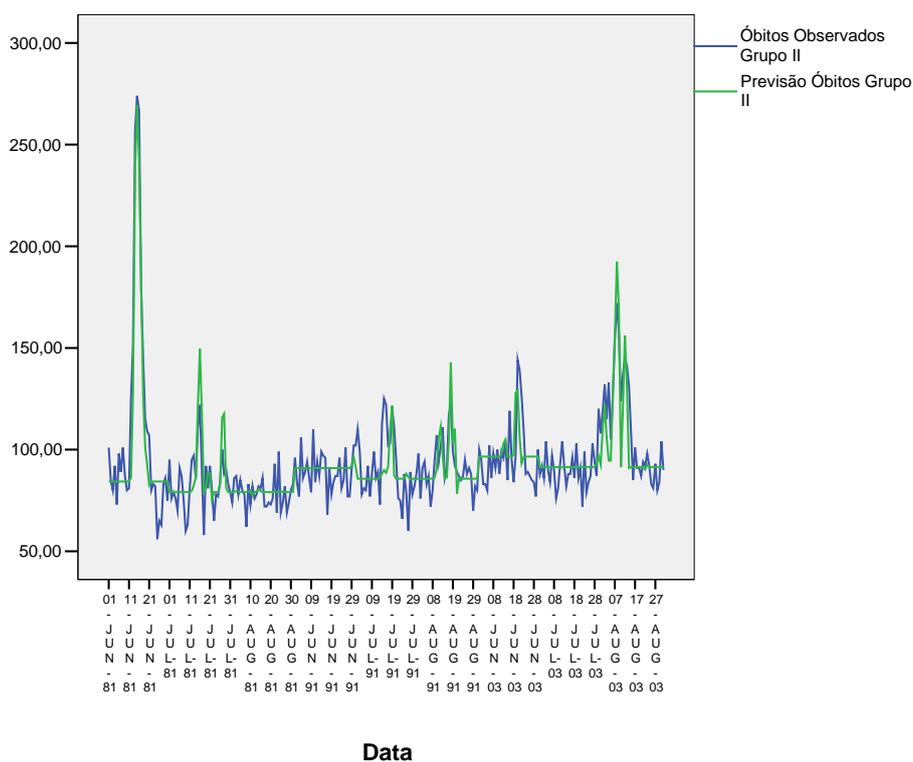


Figura 25: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003

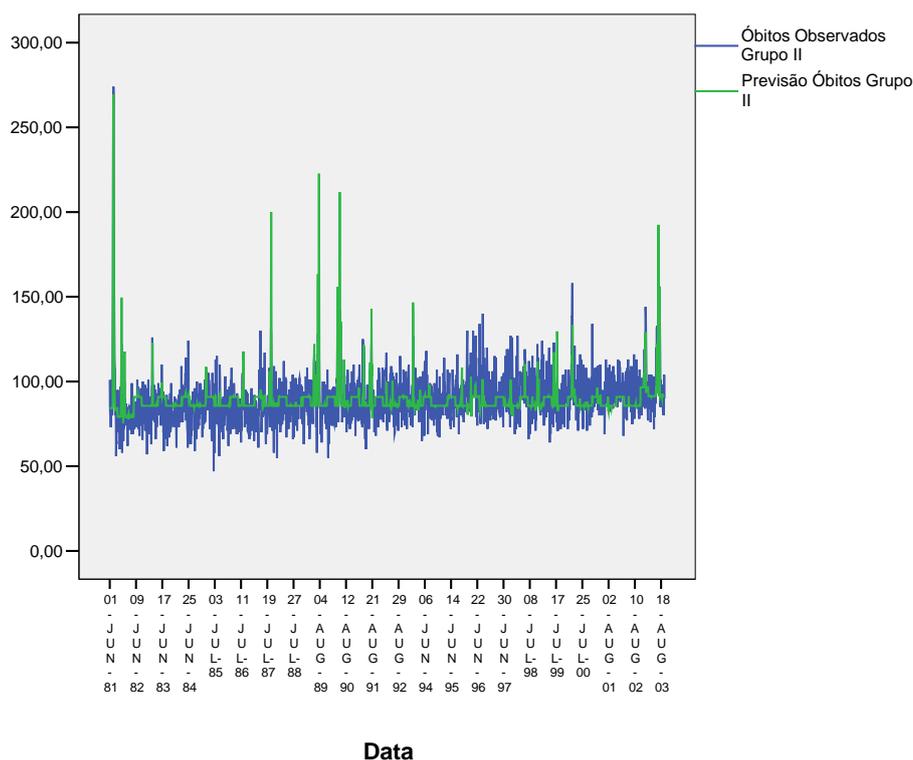


Figura 26: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003

3.3.3.3 Grupo III

Uma resenha para os modelos obtidos para o Grupo III – Região Litoral Norte – com base nos resultados nas Tabela 25 e na Tabela 26 – é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas dos três distritos da região, obviamente com excepção do modelo R V, onde tal não era possível acontecer por construção definida *a priori*;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia;
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, não tendo parecido existir qualquer prevalência de um ou de outro limiar, excepto, talvez, relativamente ao distrito de Setúbal, onde pareceu existir uma tendência para prevalecer o limiar de 35°C;
- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Lisboa (definida em 3.2.2. como de Referência para este grupo) apareceu significativa em

todos os modelos ensaiados, sempre associada a ambos os limiares considerados.

- **Modelo R I** – Resultou num modelo relativamente simples, com uma apreciável qualidade de ajustamento aos dados (67,2%), apesar de não ter as características estatísticas desejáveis (normalidade dos resíduos); incluiu variáveis relativas às temperaturas de todos os distritos da região, tendendo a predominar variáveis STAG com limiar de 35°C, tal se verificando porque não apareceu qualquer variável STAG 32°C do distrito de Santarém.
- **Modelo R II** – Resultou num modelo mais complexo (apesar de respeitar a menos informação), com uma qualidade explicativa apreciável (78,7%), mas não reuniu as características estatísticas desejáveis: reuniu variáveis STAG de todos os 3 distritos da região, devendo particularmente notar-se que para todos eles foram incluídas variáveis STAG relativas ao próprio dia (t) e ao dia anterior (t-1) e para ambos os limiares considerados de 32°C e 35°C, excepto no que respeita ao distrito de Santarém, para o qual também neste modelo não se revelou significativa a variável STAG com limiar de 32°C.
- **Modelo R III** – Revelou-se um modelo complexo, com apreciável capacidade explicativa (74,8%), mas sem garantir a característica estatística desejada de ter os respectivos resíduos com distribuição normal. As variáveis Lisboa STAG (t-1) e Santarém STA (t) surgiram como as mais importantes do modelo, o que levou a uma relativamente complexa teia de variáveis STA e STAG (Sobrecarga Térmica Acumulada e Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada), incluindo até Santarém STAG 32(t). Apesar de possuir maior poder explicativo que o modelo R I, torna a relação entre calor e mortalidade mais difícil de compreender, apesar de em nada de essencial ser diferente do enunciado no modelo R I.
- **Modelo R IV** – É um modelo complexo (semelhante ao modelo R III), com uma capacidade óptima de explicação dos dados (80,6%) e com as características estatísticas desejadas (normalidade dos resíduos). Tal como no modelo R III, é tecida uma relação complexa de variáveis STAG (Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada) que não esclarece

particularmente a relação entre mortalidade e calor, tendo o inconveniente adicional de não incluir informação de 1991.

- **Modelo R V** – É um modelo simples que pode ser visto como uma generalização do modelo ÍCARO 1999, apresentando uma capacidade de explicação razoável/boa (62,8%) - quase ao nível do modelo R I. Incluiu as variáveis Lisboa STAG 32 (t-1), Lisboa STAG 35 (t) e Lisboa STA 35 (t-1), o que é interessante dado que mantém todas as ideias reunidas no modelo construído para o distrito de Lisboa na secção 3.1..
- **Modelo R VI** – Configurou um modelo relativamente simples, que o das versões resultantes dos modelos hierarquicamente mais próximos (R II e R IV). A sua capacidade de explicação da variação dos dados subjacentes é relativamente boa (77,5%), apesar de, mais uma vez, não apresentar normalidade dos resíduos do modelo. Os indícios decorrentes dos modelos desta região parecem indicar que os modelos mais parcimoniosos e mais fáceis de entender poderão ser os que incluem os três tipos de variáveis: STA, STAG e EXC.

Dos seis modelos em estudo o que produziu melhores resultados ao nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo IV, o qual explicou 80,6% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 26). Somente no Modelo IV os resíduos se revelaram como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$). Para o modelo escolhido (modelo R I), foi rejeitada a hipótese de normalidade dos respectivos resíduos ($p_{K-S} < 0,001$, Tabela 25). No entanto é de notar novamente que só os modelos R I e R III modelavam simultaneamente os dados das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, enquanto os restantes modelos apenas consideravam os dados relativos às grandes ondas de calor de 1981 e 2003.

Tabela 25. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 68,789 | 1,5 | 0 | 65,836 | 71,743 | 0,672 | 0 |
| | Lisboa STAG 35 _(t-1) | 2,549 | 0,358 | 0 | 1,845 | 3,254 | | |
| | Santarém STAG 35 _(t) | 0,397 | 0,16 | 0,014 | 0,082 | 0,713 | | |
| | lano 2003 | 11,262 | 2,198 | 0 | 6,934 | 15,59 | | |
| | Imês Junho | 8,045 | 2,135 | 0 | 3,842 | 12,249 | | |
| | Lisboa STAG 35 _(t) | 2,877 | 0,522 | 0 | 1,85 | 3,904 | | |
| | Setúbal STAG 35 _(t) | -2,816 | 0,539 | 0 | -3,878 | -1,754 | | |
| | Setúbal STAG 32 _(t) | 0,53 | 0,14 | 0 | 0,255 | 0,805 | | |
| | Lisboa STAG 32 _(t-1) | 0,763 | 0,258 | 0,003 | 0,256 | 1,271 | | |
| R II | Constante | 78,475 | 1,84 | 0 | 74,843 | 82,106 | 0,787 | 0,02 |
| | Lisboa STAG35 _(t-1) | 6,203 | 0,614 | 0 | 4,991 | 7,415 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 1,135 | 0,24 | 0 | 0,662 | 1,608 | | |
| | lano1981 | -15,956 | 2,181 | 0 | -20,262 | -11,65 | | |
| | Imês Junho | 8,189 | 2,265 | 0 | 3,717 | 12,661 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t) | -5,434 | 0,739 | 0 | -6,893 | -3,975 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t) | 5,37 | 0,661 | 0 | 4,065 | 6,676 | | |
| | Setúbal STAG32 _(t) | 1,775 | 0,315 | 0 | 1,153 | 2,397 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t-1) | -4,018 | 0,729 | 0 | -5,457 | -2,579 | | |
| | Setúbal STAG32 _(t-1) | 1,284 | 0,275 | 0 | 0,742 | 1,827 | | |
| | Santarém STAG35 _(t-1) | 1,155 | 0,252 | 0 | 0,658 | 1,653 | | |
| Lisboa STAG32 _(t) | -1,831 | 0,583 | 0,002 | -2,982 | -0,679 | | | |
| Lisboa STAG32 _(t-1) | -1,807 | 0,612 | 0,004 | -3,015 | -0,6 | | | |
| R III | Constante | 71,179 | 1,854 | 0 | 67,527 | 74,831 | 0,748 | 0 |
| | Lisboa STAG35 _(t-1) | 3,947 | 0,649 | 0 | 2,669 | 5,226 | | |
| | Santarém STA35 _(t) | -1,591 | 0,492 | 0,001 | -2,561 | -0,622 | | |
| | lano 2003 | 7,819 | 2,273 | 0,001 | 3,344 | 12,294 | | |
| | Imês junho | 6,963 | 1,917 | 0 | 3,187 | 10,738 | | |
| | Setúbal STAG32 _(t-1) | 1,377 | 0,212 | 0 | 0,959 | 1,796 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t-1) | -7,096 | 0,945 | 0 | -8,957 | -5,235 | | |
| | Lisboa STAG32 _(t-1) | 3,686 | 0,49 | 0 | 2,722 | 4,65 | | |
| | lano 1981 | -5,542 | 2,203 | 0,013 | -9,881 | -1,203 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t) | -4,87 | 0,762 | 0 | -6,371 | -3,368 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t) | 2,842 | 0,564 | 0 | 1,732 | 3,953 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 2,604 | 0,442 | 0 | 1,734 | 3,473 | | |
| | Setúbal STA35 _(t-1) | 2,711 | 0,651 | 0 | 1,429 | 3,993 | | |
| | Lisboa STA32 _(t-1) | -2,561 | 0,632 | 0 | -3,806 | -1,316 | | |
| | Setúbal STA32 _(t) | 0,668 | 0,173 | 0 | 0,327 | 1,01 | | |
| Setúbal STA35 _(t) | 2,133 | 0,721 | 0,003 | 0,712 | 3,553 | | | |
| Santarém STAG32 _(t) | -0,215 | 0,094 | 0,023 | -0,401 | -0,03 | | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p- nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

Tabela 26. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L _{INF} | L _{SUP} | | |
| R IV | Constante | 77,551 | 1,779 | 0 | 74,038 | 81,064 | 0,806 | 0,2 |
| | Setúbal STA32 _(t-1) | 1,73 | 0,469 | 0 | 0,804 | 2,656 | | |
| | Iano 1981 | -16,995 | 2,112 | 0 | -21,164 | -12,825 | | |
| | Santarém STA32 _(t-1) | 0,885 | 0,192 | 0 | 0,505 | 1,264 | | |
| | Imês Junho | 9,011 | 2,179 | 0 | 4,709 | 13,314 | | |
| | Setúbal STA35 _(t-1) | -3,578 | 0,93 | 0 | -5,415 | -1,742 | | |
| | Lisboa STA35 _(t-1) | 6,204 | 0,83 | 0 | 4,564 | 7,843 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 3,708 | 0,573 | 0 | 2,577 | 4,838 | | |
| | Lisboa STA32 _(t-1) | -1,198 | 0,61 | 0,051 | -2,402 | 0,006 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t) | -5,201 | 0,735 | 0 | -6,651 | -3,75 | | |
| | Setúbal STAG32 _(t) | 1,627 | 0,316 | 0 | 1,003 | 2,25 | | |
| | Santarém STA35 _(t) | -3,758 | 0,819 | 0 | -5,374 | -2,141 | | |
| | Lisboa STA35 _(t) | 4,993 | 0,759 | 0 | 3,495 | 6,491 | | |
| | Lisboa STAG32 _(t-1) | -1,224 | 0,465 | 0,009 | -2,141 | -0,307 | | |
| Lisboa STAG32 _(t) | -1,039 | 0,522 | 0,048 | -2,07 | -0,008 | | | |
| R V | Constante | 79,493 | 2,376 | 0 | 74,804 | 84,183 | 0,628 | 0 |
| | Iano 1981 | -13,031 | 2,853 | 0 | -18,66 | -7,401 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t) | 1,583 | 0,402 | 0 | 0,79 | 2,376 | | |
| | Imes Junho | 9,472 | 3,013 | 0,002 | 3,526 | 15,418 | | |
| | lisboa_STAG32 _(t-1) | 0,982 | 0,23 | 0 | 0,528 | 1,437 | | |
| | lisboa_STA35 _(t-1) | 2,998 | 0,536 | 0 | 1,94 | 4,056 | | |
| R VI | Constante | 78,736 | 2,002 | 0 | 74,781 | 82,69 | 0,775 | 0,019 |
| | Santarém EXC35 _(t-1) | 3,201 | 1,416 | 0,025 | 0,405 | 5,997 | | |
| | Iano1981 | -16,759 | 2,445 | 0 | -21,588 | -11,929 | | |
| | Setubal STA32 _(t-1) | 3,019 | 0,438 | 0 | 2,154 | 3,883 | | |
| | Imês Junho | 11,149 | 2,67 | 0 | 5,875 | 16,422 | | |
| | Setúbal EXC35 _(t-1) | -22,825 | 3,037 | 0 | -28,824 | -16,826 | | |
| | Lisboa EXC35 _(t-1) | 37,145 | 6,229 | 0 | 24,843 | 49,448 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 0,667 | 0,142 | 0 | 0,387 | 0,947 | | |
| Lisboa STA35 _(t-1) | -6,331 | 1,53 | 0 | -9,352 | -3,309 | | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p- nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF}- limite inferior do intervalo; L_{SUP}- limite superior do intervalo);

R²_{Ajustado}- Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S}- valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

Das medidas da qualidade dos modelos para os dois níveis de ocorrência considerados (L1=126 e L2=162), no Tabela 27, verificou-se o que em seguida se expõe relativamente a cada um dos aspectos relevantes:

Na análise da especificidade, quando considerado o limiar de 126 órbitos, os resultados para o Modelo I e para o Modelo III foram muito semelhantes. Para ambos os modelos, nos anos de 1981 e 2003 obteve-se o mesmo valor de especificidade (99,4%), enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo I (com 99,8%) tem melhor especificidade do que o Modelo III (99,3%). Em

termos de probabilidade de decisão correcta no conjunto dos 24 anos, também foram os modelos R I e R III que mostraram ter os melhores valores, com o primeiro a ser marginalmente melhor. Quando se analisou este indicador apenas cingido à análise dos anos 1981 e 2003, o modelo R III pareceu melhor que o modelo R I, e o modelo R IV melhor que estes outros. No entanto esta informação não parece relevante porque as diferenças são mínimas e o modelo R IV foi especificamente ajustado aos dados de 1981 e 2003.

Quando considerado o limiar de 162, os modelos R I e R V, apresentaram resultados iguais em termos de especificidade, com o modelo RI a ter ligeira vantagem da avaliação feita para o conjunto dos anos de 1981 a 2003. Em relação à sensibilidade, quando considerado o limiar de 162 óbitos, os resultados para os Modelo II, III e IV, foram iguais (1,000).

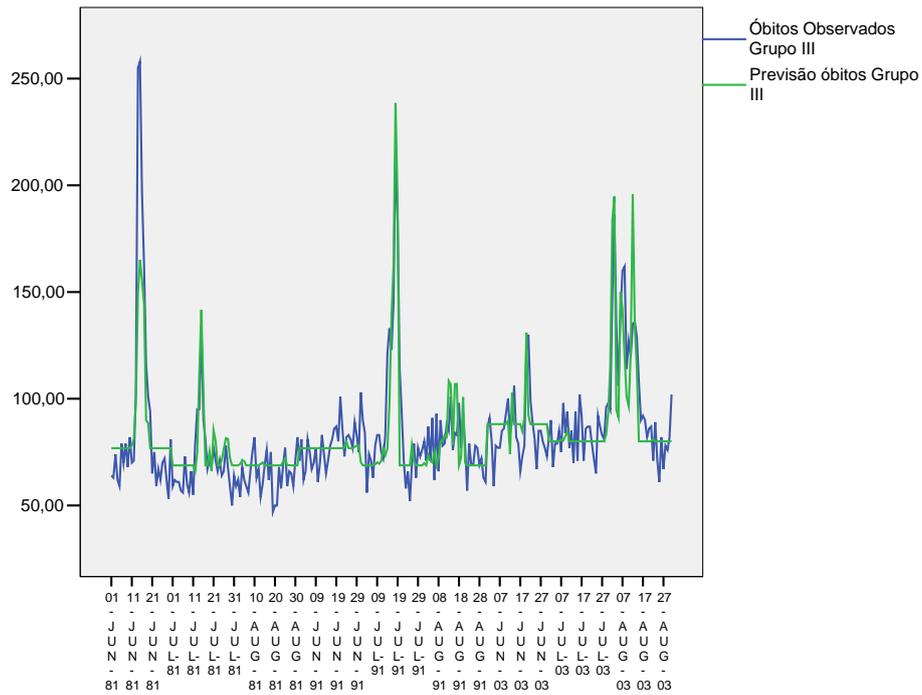
Tabela 27. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo III, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. Correcto |
|---------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 126) | R I | 1981 e 2003 | 0,706 | 0,994 | 0,006 | 0,294 | 0,923 | 0,971 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,714 | 0,998 | 0,002 | 0,286 | 0,789 | 0,997 | 0,995 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,765 | 0,988 | 0,012 | 0,235 | 0,867 | 0,976 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,81 | 0,966 | 0,034 | 0,19 | 0,191 | 0,998 | 0,964 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,765 | 0,994 | 0,006 | 0,235 | 0,929 | 0,976 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,81 | 0,993 | 0,007 | 0,19 | 0,531 | 0,998 | 0,991 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,824 | 0,994 | 0,006 | 0,176 | 0,933 | 0,982 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,857 | 0,967 | 0,033 | 0,143 | 0,205 | 0,999 | 0,966 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,647 | 0,982 | 0,018 | 0,353 | 0,786 | 0,965 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,996 | 0,004 | 0,333 | 0,609 | 0,997 | 0,992 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,765 | 0,928 | 0,072 | 0,235 | 0,52 | 0,975 | 0,913 |
| | | 1981 a 2003 | 0,81 | 0,831 | 0,169 | 0,19 | 0,046 | 0,998 | 0,83 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 162) | R I | 1981 e 2003 | 0,6 | 0,989 | 0,011 | 0,4 | 0,6 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,714 | 0,999 | 0,001 | 0,286 | 0,714 | 0,999 | 0,998 |
| | R II | 1981 e 2003 | 1 | 0,978 | 0,022 | 0 | 0,556 | 1 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 1 | 0,987 | 0,013 | 0 | 0,206 | 1 | 0,987 |
| | R III | 1981 e 2003 | 1 | 0,978 | 0,022 | 0 | 0,556 | 1 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 1 | 0,997 | 0,003 | 0 | 0,538 | 1 | 0,997 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 1 | 0,989 | 0,011 | 0 | 0,714 | 1 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 1 | 0,99 | 0,01 | 0 | 0,25 | 1 | 0,99 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,6 | 0,989 | 0,011 | 0,4 | 0,6 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,714 | 0,999 | 0,001 | 0,286 | 0,714 | 0,999 | 0,998 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,8 | 0,922 | 0,078 | 0,2 | 0,222 | 0,994 | 0,918 |
| | | 1981 a 2003 | 0,857 | 0,85 | 0,15 | 0,143 | 0,019 | 0,999 | 0,85 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I. A sua qualidade de ajustamento aos dados é de 67,2% (R^2_{Ajustado}), Tabela 25. As variáveis que entraram no modelo foram: a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$ para o distrito da Lisboa, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t para o distrito de Santarém e a variável indicadora do ano de 2003, a variável indicadora do mês de Junho, a *Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada* acima de 35°C até ao dia t para o distrito da Lisboa, a *Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada* acima de 35°C até ao dia t para o distrito da Setúbal, a *Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada* acima de 32°C até ao dia t para o distrito da Setúbal, e a *Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada* acima de 32°C até ao dia $t-1$ para o distrito da Lisboa.

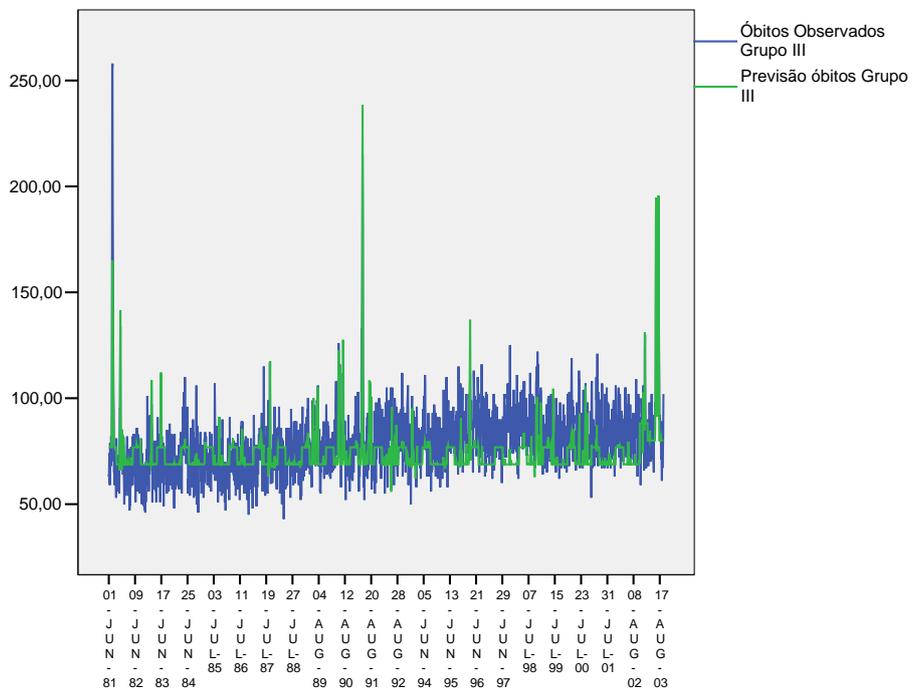
Da observação da Figura 27, pode verificar-se o ajustamento do modelo R I às grandes ondas de calor. O modelo RI parece assinalar com sucesso os picos de mortalidade e prever o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003 com boa acuidade, embora a previsão do pico de mortalidade fique aquém do desejável. no entanto ajusta-se bem às ondas de calor de 2003 e de 1991.

De acordo com a Figura 28, o modelo sobrestima ligeiramente a mortalidade ocorrida durante a onda de calor de Agosto 1991 e Agosto 2003.



Data

Figura 27: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003



Data

Figura 28: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003

3.3.3.4 Grupo IV

O resumo para o conjunto dos modelos obtidos para o Grupo IV – Região Interior e Sul –, com base nos resultados da Tabela 28, é o seguinte:

- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a temperaturas de, pelo menos, dois distritos da região, obviamente excepto o modelo R V, onde tal não era possível;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia;
- Não pareceu existir uma particular consistência nos modelos para se fixarem num dos limiares considerados: o modelo R I manteve o limiar de 35°C como exclusivo, o modelo R II teve um predomínio deste limiar, os modelos R III e R IV tiveram o limiar de 32°C comum exclusivo e os restantes um predomínio deste último limiar;
- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Évora (definida em 3.3.2. como de referência para este grupo) tendeu a não surgir significativamente nos modelos ensaiados. Essa temperatura só apareceu no modelo R III, onde se revelou associada ao limiar de 35°C.
- **Modelo R I** – Resultou num modelo relativamente simples, com uma qualidade de ajustamento aos dados razoável (63%); satisfaz o pressuposto estatístico de ter os resíduos normais; incluiu variáveis relativas às temperaturas de dois dos cinco distritos que formam a região; os distritos considerados pelo modelo foram os de Portalegre e Castelo Branco, e apenas os limiares de 35°C se revelaram relevantes;
- **Modelo R II** – Resultou num modelo também relativamente simples, apenas com mais uma variável que o modelo R I, (apesar de respeitar a menos informação); teve uma qualidade explicativa apreciável (71,6%), reunindo as características estatísticas desejáveis de normalidade dos respectivos resíduos ($p > 0,2$); reuniu variáveis STAG de dois distritos da região; foram, assim, em particular considerados pelo modelo os distritos de Beja e Faro, para o primeiro relevando somente limiares de 35°C no próprio dia e para o dia anterior e o segundo, apenas o limiar de 32°C e no próprio dia;

- **Modelo R III** – Constitui num modelo um pouco mais complexo, mas de fácil interpretação, com uma capacidade de explicação da variabilidade dos dados muito apreciável (71,9%), e manteve a normalidade dos resíduos ($p > 0,20$); digno de nota é o facto de este modelo ter considerado variáveis que se referem às temperaturas máximas de todos os distritos que formam a região, e ainda o facto de, em 8 destas variáveis, cinco serem STA (versão não generalizada) e apenas 3 se relacionaram com limiares de 35°C, curiosamente todas STA;
- **Modelo R IV** – Constitui um modelo relativamente simples (com o mesmo número de variáveis que o modelo R II, embora uma delas seja uma variável relativa às temperaturas distritais); apresenta um poder explicativo da variação dos dados subjacentes apreciável (72,6%) e consegue manter a normalidade dos resíduos ($p=0,097$); por outro lado, incluiu informação das temperaturas de quatro distritos da região, já que, relativamente ao modelo R II, adicionou informação do distrito de Portalegre; também aqui pareceu existir uma preferência pelas variáveis STA (não generalizadas), com 3 variáveis em 4, apenas para Faro sendo considerada a respectiva versão generalizada. Estes aspectos merecem alguma reflexão, dado que parecem estabelecer um padrão diferente do observado nas restantes Regiões, podendo acontecer tratar-se duma região extensa e maioritariamente interior, que os limiares de temperatura não sejam os mais adequados, do detalhe que é possível observar na Figura 29, já que em 2003 não existiu uma mortalidade tão recortada como o observado no grupo III (Figura 27), o que indicia que não terão ocorrido “arrefecimentos” (como preconizado pelas STAG) nesta região, embora pareça ter existido um primeiro arrefecimento pois surgem dois picos de mortalidade em Julho/Agosto de 2003 (mas, claramente, a ser assim parece desenhar um processo algo diferente das outras regiões).
- **Modelo R V** – Resultou num modelo simples, com uma capacidade de explicação da variação dos dados razoável (67,2%) apesar de ser, neste grupo, o único modelo ensaiado que não verificou o pressuposto de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,023$); também este modelo se apoia exclusivamente em variáveis STA (*Sobrecarga Térmica*

Acumulada não generalizada) e, curiosamente, no limiar 32°C, limiar particularmente baixo para este distrito em causa, o que pode constituir uma explicação para a não selecção das versões generalizadas da variável (STA); fica no entanto, por esclarecer por que o modelo selecciona o limiar de temperatura de 32°C, talvez se relacione com algo específico que aconteceu nesta região/grupo.

- **Modelo R VI** – constitui um modelo mais complexo, apresentando uma capacidade de ajustamento aos dados subjacentes muito apreciável (76,3%); mantém a qualidade estatística de normalidade dos respectivos resíduos ($p > 0,20$); parece melhorar os modelos R II e R IV, que estão hierarquicamente próximos; reúne informação relativa a temperaturas de apenas três dos cinco distritos, mas parece estabelecer-se em torno da temperatura de Beja, incluindo 4 variáveis relativas a esta informação: uma STAG, uma STA, e duas EXC; das seis variáveis relativas a temperaturas que entraram no modelo uma foi uma STAG, duas foram STA e as restantes três, EXC.

Dos seis modelos em estudo o que produziu melhores resultados a nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo VI, o qual explicou 76,3% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 28). No Modelo VI, os resíduos foram considerados como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$). Para o modelo R I, também se verificou serem os resíduos normais ($p_{K-S} = 0,069$). Mais uma vez se faz notar que só os modelos R I e R III modelavam simultaneamente os dados das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, considerando os restantes modelos apenas os dados relativos às grandes ondas de calor de 1981 e 2003. Sendo neste Grupo IV, obviamente de particular relevo, que o modelo R III pareceu adicionar mais conhecimento ao estabelecido pelo modelo R I. Aliás, no Grupo IV, a hierarquização dos modelos mostrou-se inteiramente razoável, adicionando sempre conhecimento e sentido às respectivas construções, o que corresponde às razões que levaram a estabelecer a metodologia *a priori*.

Das medidas da qualidade dos modelos para os dois níveis de ocorrência considerados ($L1=51,5$ e $L2=65$), na Tabela 29, verificou-se o seguinte:

Tabela 28. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo IV e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|------------------------------|---|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 32,797 | 0,69 | 0 | 31,438 | 34,156 | 0,63 | 0,069 |
| | Portalegre STAG 35 _(t) | 0,651 | 0,082 | 0 | 0,489 | 0,813 | | |
| | Castelo Branco STAG 35 _(t-1) | 0,35 | 0,069 | 0 | 0,214 | 0,486 | | |
| | Imês Agosto | -3,275 | 1,051 | 0,002 | -5,343 | -1,207 | | |
| | Iano 2003 | 2,065 | 1,048 | 0,05 | 0,001 | 4,129 | | |
| R II | Constante | 33,307 | 0,913 | 0 | 31,505 | 35,109 | 0,716 | > 0,20 |
| | Beja STAG35 _(t-1) | 0,508 | 0,084 | 0 | 0,342 | 0,673 | | |
| | Faro STAG32 _(t) | -0,522 | 0,127 | 0 | -0,773 | -0,271 | | |
| | Iano 1981 | -4,014 | 1,082 | 0 | -6,149 | -1,879 | | |
| | Beja STAG35 _(t) | 0,216 | 0,069 | 0,002 | 0,081 | 0,352 | | |
| Imês Junho | 2,382 | 1,136 | 0,037 | 0,14 | 4,625 | | | |
| R III | Constante | 29,386 | 0,792 | 0 | 27,828 | 30,944 | 0,719 | > 0,20 |
| | Portalegre STA32 _(t) | 0,144 | 0,061 | 0,019 | 0,024 | 0,265 | | |
| | Beja STA35 _(t-1) | 0,456 | 0,083 | 0 | 0,291 | 0,62 | | |
| | Beja STAG32 _(t-1) | -0,071 | 0,014 | 0 | -0,099 | -0,044 | | |
| | Faro STA32 _(t) | -0,519 | 0,153 | 0,001 | -0,82 | -0,219 | | |
| | Castelo Branco STA32 _(t-1) | 0,232 | 0,05 | 0 | 0,133 | 0,332 | | |
| | Faro STA35 _(t) | 1,845 | 0,925 | 0,047 | 0,025 | 3,666 | | |
| | Beja STAG32 _(t) | 0,038 | 0,013 | 0,004 | 0,013 | 0,064 | | |
| | Imês Junho | 2,437 | 0,953 | 0,011 | 0,56 | 4,313 | | |
| | Iano 2003 | 3,834 | 1 | 0 | 1,864 | 5,804 | | |
| Évora STA35 _(t-1) | -0,208 | 0,1 | 0,039 | -0,405 | -0,01 | | | |
| R IV | Constante | 33,952 | 0,805 | 0 | 32,364 | 35,54 | 0,726 | 0,097 |
| | Portalegre STA32 _(t) | 0,136 | 0,066 | 0,041 | 0,006 | 0,266 | | |
| | Beja STA35 _(t-1) | 0,632 | 0,102 | 0 | 0,43 | 0,834 | | |
| | Faro STAG32 _(t) | -6,134 | 1,831 | 0,001 | -9,747 | -2,522 | | |
| | Iano 1981 | -3,874 | 1,071 | 0 | -5,988 | -1,76 | | |
| | Faro STA32 _(t) | 5,934 | 1,94 | 0,003 | 2,105 | 9,764 | | |
| R V | Constante | 32,106 | 0,993 | 0 | 30,146 | 34,066 | 0,679 | 0,023 |
| | Évora STA32 _(t) | 0,269 | 0,047 | 0 | 0,175 | 0,362 | | |
| | Imês Junho | 3,488 | 1,21 | 0,004 | 1,1 | 5,876 | | |
| | Évora STA32 _(t-1) | 0,133 | 0,047 | 0,005 | 0,04 | 0,227 | | |
| | Iano 1981 | -2,872 | 1,15 | 0,013 | -5,14 | -0,603 | | |
| R VI | Constante | 33,738 | 0,906 | 0 | 31,95 | 35,527 | 0,763 | > 0,20 |
| | Portalegre STA32 _(t) | 0,231 | 0,051 | 0 | 0,131 | 0,331 | | |
| | Iano 1981 | -3,818 | 1,02 | 0 | -5,831 | -1,805 | | |
| | Castelo Branco EXC35 _(t-1) | 3,182 | 0,637 | 0 | 1,924 | 4,44 | | |
| | Beja STAG32 _(t-1) | -0,147 | 0,029 | 0 | -0,204 | -0,09 | | |
| | Beja STA32 _(t-1) | 0,177 | 0,047 | 0 | 0,084 | 0,271 | | |
| | Beja EXC32 _(t) | 1,726 | 0,522 | 0,001 | 0,696 | 2,757 | | |
| | Imês Julho | -2,867 | 1,057 | 0,007 | -4,953 | -0,781 | | |
| Beja EXC35 _(t) | -1,756 | 0,794 | 0,028 | -3,323 | -0,188 | | | |

Coef. (B)- coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p- nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95%- Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

Na análise da especificidade, quando considerado o limiar de valor mais baixo, os resultados para o Modelo I e para o Modelo III são muito semelhantes. Para ambos os modelos, nos anos de 1981 e 2003, obteve-se o mesmo valor de especificidade (100%), enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo I (99,6%) tem melhor especificidade do que o Modelo III (99,5%). No conjunto dos 24 anos, de 1981 a 2003, os modelos R I, III, IV e VI mostraram-se equivalentes na capacidade de dar uma decisão correcta

Em relação à sensibilidade, os Modelos I, V e VI, apresentam resultados iguais para o limiar 65.

Ainda para este valor de ocorrência, em termos de probabilidade de decisão correcta, os Modelo R I, III e V mostraram ter as melhores qualidades, com discrepâncias mínimas entre si.

Tabela 29. Avaliação da qualidade do ajustamento para os Modelos do Grupo IV, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. Correcto |
|----------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 51,5) | R I | 1981 e 2003 | 0,591 | 1 | 0 | 0,409 | 1 | 0,947 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,396 | 0,996 | 0,004 | 0,604 | 0,7 | 0,985 | 0,981 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,636 | 1 | 0 | 0,364 | 1 | 0,953 | 0,957 |
| | | 1981 a 2003 | 0,642 | 0,971 | 0,029 | 0,358 | 0,366 | 0,991 | 0,963 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,818 | 1 | 0 | 0,182 | 1 | 0,976 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,528 | 0,995 | 0,005 | 0,472 | 0,718 | 0,988 | 0,983 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,773 | 1 | 0 | 0,227 | 1 | 0,97 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,566 | 0,993 | 0,007 | 0,434 | 0,667 | 0,989 | 0,982 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,591 | 1 | 0 | 0,409 | 1 | 0,947 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,415 | 0,99 | 0,01 | 0,585 | 0,524 | 0,985 | 0,976 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,909 | 0,994 | 0,006 | 0,091 | 0,952 | 0,988 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,577 | 0,993 | 0,007 | 0,423 | 0,682 | 0,989 | 0,983 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 65) | R I | 1981 e 2003 | 0,7 | 0,994 | 0,006 | 0,3 | 0,875 | 0,983 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,571 | 0,998 | 0,002 | 0,429 | 0,667 | 0,997 | 0,995 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,7 | 0,983 | 0,017 | 0,3 | 0,7 | 0,983 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,786 | 0,983 | 0,017 | 0,214 | 0,234 | 0,999 | 0,982 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,7 | 0,989 | 0,011 | 0,3 | 0,778 | 0,983 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,786 | 0,995 | 0,005 | 0,214 | 0,524 | 0,999 | 0,994 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,5 | 0,983 | 0,017 | 0,5 | 0,625 | 0,972 | 0,957 |
| | | 1981 a 2003 | 0,571 | 0,995 | 0,005 | 0,429 | 0,444 | 0,997 | 0,992 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,7 | 0,989 | 0,011 | 0,3 | 0,778 | 0,983 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,571 | 0,999 | 0,001 | 0,429 | 0,727 | 0,997 | 0,996 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,7 | 0,983 | 0,017 | 0,3 | 0,7 | 0,983 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,571 | 0,981 | 0,019 | 0,429 | 0,167 | 0,997 | 0,978 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I. A sua qualidade de ajustamento é de 63,0% (R^2_{Ajustado}), Tabela 28. As variáveis que entraram no modelo foram: Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t para o distrito da Portalegre; a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$ para o distrito de Castelo Branco e a variável indicadora do ano de 2003.

Da observação da Figura 29 pode verificar-se o ajustamento do modelo ensaiado às grandes ondas de calor. O modelo parece prever o excesso de óbitos na onda de calor de 2003. Mas adapta-se relativamente mal aos picos de mortalidade únicos de 1981 e 1991.

Da visualização da Figura 30, o modelo parece subestimar a mortalidade no seu primeiro pico, e sobrestima-la na parte final da onda de calor de 2003.

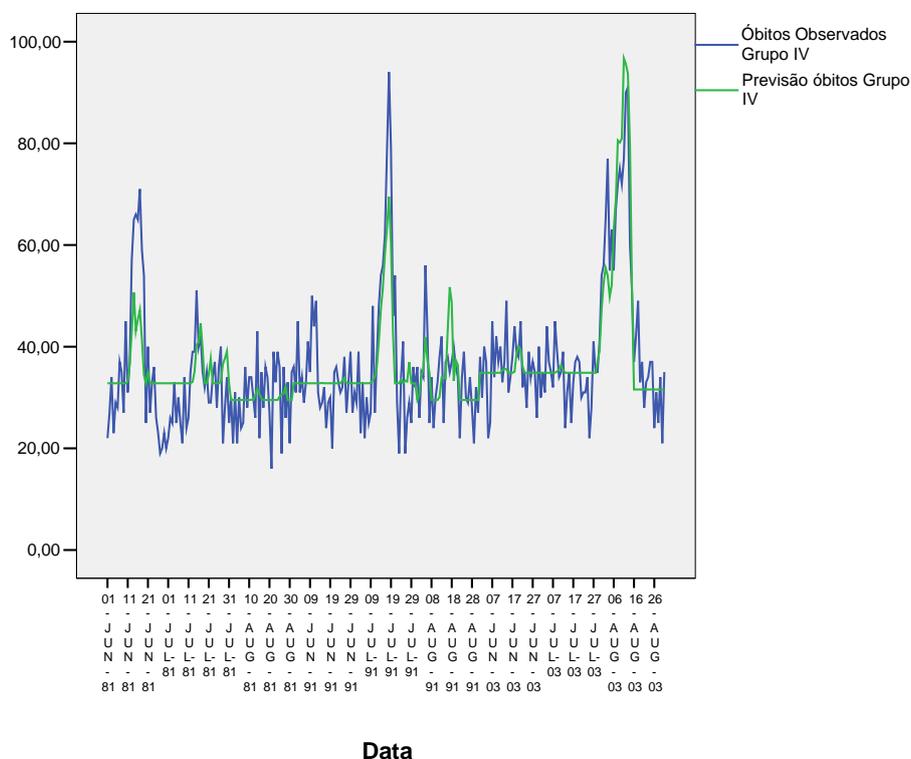
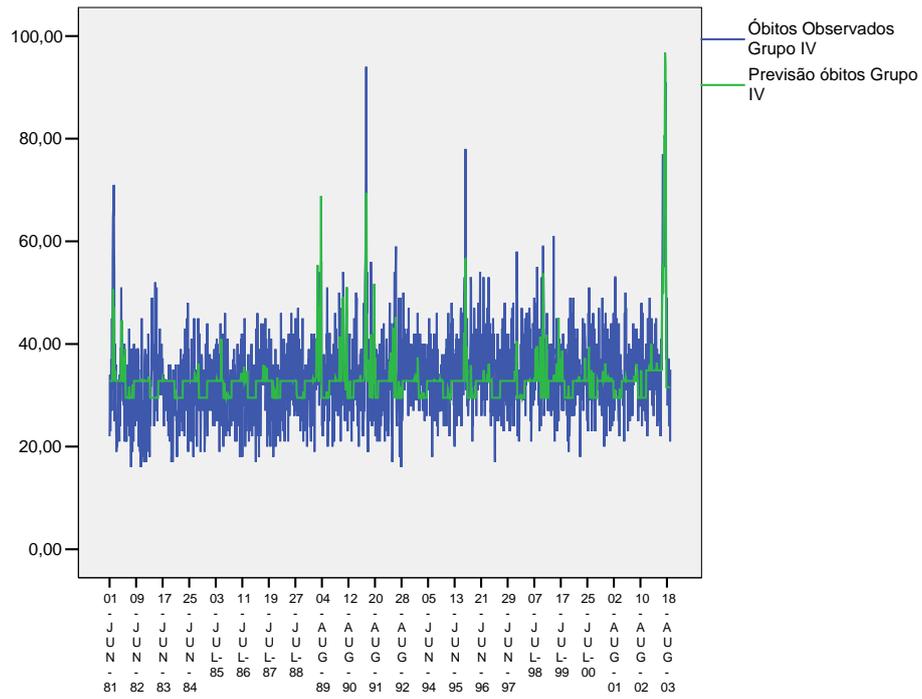


Figura 29: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003



Data

Figura 30: Óbitos observados e óbitos previstos para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981 a 2003

3.3.4. Modelos por região para os Óbitos Diários do grupo etário ≥ 75 anos

3.3.4.1 Grupo I

O resumo para os modelos obtidos para o Grupo I – Região Interior Norte –, com base nos resultados da Tabela 30, é o seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas de dois dos distritos da região, excepto, obviamente, o modelo R V onde tal não era possível;
- Todos os modelos incluíram pelo menos uma variável de Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada do dia anterior e do próprio dia (excepto o modelo R V, que só incluiu a do dia anterior);
- No global dos modelos pareceram predominar variáveis assentes no limiar de 32°C ;
- As diferentes evoluções dos modelos (I \rightarrow III; II \rightarrow IV \rightarrow VII) parecem apontar para a natural coexistência de variáveis STAG, STA e EXC.
- **Modelo R I** – Resultou num modelo relativamente simples, apresentou apreciável qualidade de ajustamento aos respectivos dados (76,4%) e manteve a normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,063$); para além do seu grande poder explicativo em relação ao modelo equivalente no conjunto de todos os grupos etários (Tabela 21): é de notar que o modelo se mantém no essencial o mesmo, conservando as STAG de Bragança e Guarda em torno do limiar de 32°C , embora acrescentando agora, neste âmbito, a variável Guarda STAG 35°C , que apresenta um coeficiente negativo e substancial (grande em valor absoluto), que pode ser encarado com um limitador da estimativa do excesso de óbitos, pois as temperaturas acima dos 32°C mostram-se associadas a aumento da mortalidade mas temperaturas acima dos 35°C parecem reduzi-la abruptamente. Será importante perceber em que situação tal ocorreu, uma vez que, tendo sido incluídos dados da onda de calor de 2003, existe um potencial efeito de uma eventual intervenção não planeada resultante da atenção que foi dada publicamente ao evento.

- **Modelo R II** – revelou-se exactamente o mesmo modelo que para a respectiva mortalidade no conjunto de todos os grupos etários (comparem-se os resultados da Tabela 30 como os da Tabela 20); demonstrou um melhor poder explicativo (82,6%); e também não rejeitou a hipótese de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,064$).
- **Modelo R III** – Constituiu um modelo mais simples do que o obtido para respectiva mortalidade no conjunto de todos os grupos etários; possui um maior poder explicativo dos dados (77,5%); não verificou o pressuposto estatístico de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,007$); baseou-se unicamente em variáveis STA (não generalizadas) relativas aos distritos de Bragança e Guarda, parecendo ser uma simplificação do modelo R I (desta secção) e do equivalente modelo R I da secção 3.3. respeitante à mesma mortalidade no conjunto de todos os grupos etários. Em certa medida este modelo R III é tão simples como o modelo R I da secção 3.3.3. (Tabela 21), parecendo sugerir alguma validação daquele.
- **Modelo R IV** – Resultou num modelo simples, tão simples como o modelo R II, ao qual retirou uma variável STAG 35 (t) para incluir uma STA 32 (t), ambas relativas ao distrito de Bragança; relativamente ao respectivo poder explicativo, o nível obtido foi o mesmo no modelo R II (esta secção) (82,6%) e no qual se verificou o pressuposto estatístico de normalidade dos respectivos resíduos ($p>0,20$); revelou-se um modelo mais simples que a sua contrapartida para a mortalidade total (mostrado na secção 3.3.3. , Tabela 21), sem alterar o racional estabelecido entre calor e mortalidade;
- **Modelo R V** – Resultou num modelo mais simples que a sua contrapartida para a mortalidade de todos os grupos etários (secção 3.3.3. , Tabela 21), mostrando que a mortalidade dos indivíduos idosos da região num determinado dia depende da sobrecarga térmica acumulada generalizada do dia anterior (t-1) relativa ao limiar de 32°C; o poder explicativo deste modelo foi apreciavelmente elevado (75,7%); mas não reuniu as condições desejáveis de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,011$). É interessante notar que apenas neste modelo (R V) onde se forçou a entrada da temperatura de Vila Real, de acordo com o critério

estabelecido em 3.2.2., nesta secção (3.3.4.), nenhum outro modelo do mesmo grupo se mostrou dependente das temperaturas deste distrito, tornando mais evidente que a temperatura que com maior correlação com as dos distritos vizinhos não parece ter qualquer relevância para este tipo de modelos.

- **Modelo R VI** – Constituiu o modelo mais simples deste grupo, com a excepção do modelo R V; mostrou ter elevado poder explicativo (83,4%); não verificou a hipótese estatística de normalidade dos respectivos resíduos ($p=0,031$); pareceu relevante que o modelo só dependesse de limiares de temperaturas de 32°C; na essência a respectiva STAG de Bragança foi transversal a todos os modelos deste grupo (neste grupo etário), excepto no caso do modelo R V, como expectável.

Comparando globalmente os modelos aqui obtidos com as suas respectivas contrapartidas para a mortalidade total (todos os grupos etários), conclui-se que resultaram na maioria dos casos ligeiramente menos complexos, mas com acréscimo de poder explicativo. No conjunto dos modelos pareceu existir uma certa validação do conhecimento anteriormente adquirido na explicação e compreensão do fenómeno da relação entre calor e mortalidade.

Dos seis modelos em estudo, aquele que produziu melhores resultados a nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo VI, o qual explicou 83,4% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 30). Em todos os modelos com excepção do Modelo III, V e VI, os resíduos foram considerados como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$).

Na Tabela 31 apresentam-se os resultados de validade do modelo escolhido para os dois limites de mortalidade estabelecidos ($L_1 = 27$ e $L_2 = 36$ óbitos). Os valores de especificidade são consistentemente elevados. Os valores preditivos positivos, situando-se acima de 75,0%, não são ideais, mas apresentam valores apreciáveis para um fenómeno com prevalência tão baixa. E as probabilidades de decisão correcta, para ambos os limites considerados, são também consistentemente elevadas.

Tabela 30. Coeficientes dos parâmetros para o Modelo do Grupo I e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 13,574 | 0,416 | 0 | 12,755 | 14,394 | 0,764 | 0,063 |
| | Guarda STAG 32 _(t) | 0,947 | 0,123 | 0 | 0,705 | 1,189 | | |
| | Iano 2003 | 9,601 | 0,701 | 0 | 8,221 | 10,981 | | |
| | Bragança STAG 32 _(t-1) | 0,168 | 0,034 | 0 | 0,102 | 0,235 | | |
| | Guarda STAG 35 _(t) | -13,413 | 5,186 | 0,01 | -23,624 | -3,201 | | |
| R II | Constante | 12,373 | 0,654 | 0 | 11,081 | 13,664 | 0,826 | 0,064 |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,442 | 0,043 | 0 | 0,356 | 0,528 | | |
| | Iano 2003 | 10,63 | 0,823 | 0 | 9,006 | 12,254 | | |
| | Viseu STAG32 _(t) | 0,261 | 0,064 | 0 | 0,134 | 0,388 | | |
| | Imês Julho | -1,846 | 0,839 | 0,029 | -3,503 | -0,19 | | |
| Bragança STAG35 _(t) | -0,328 | 0,156 | 0,036 | -0,635 | -0,021 | | | |
| R III | Constante | 12,265 | 0,597 | 0 | 11,09 | 13,44 | 0,775 | 0,007 |
| | Bragança STA32 _(t-1) | 0,309 | 0,043 | 0 | 0,224 | 0,394 | | |
| | Iano 2003 | 10,163 | 0,786 | 0 | 8,615 | 11,71 | | |
| | Guarda STA32 _(t) | 0,5 | 0,108 | 0 | 0,287 | 0,713 | | |
| | Imês Junho | 1,372 | 0,679 | 0,044 | 0,036 | 2,708 | | |
| Iano 1991 | 1,524 | 0,771 | 0,049 | 0,006 | 3,041 | | | |
| R IV | Constante | 12,538 | 0,639 | 0 | 11,277 | 13,799 | 0,826 | 0,2 |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,489 | 0,057 | 0 | 0,376 | 0,602 | | |
| | Iano 2003 | 10,632 | 0,822 | 0 | 9,01 | 12,255 | | |
| | Viseu STAG32 _(t) | 0,26 | 0,063 | 0 | 0,135 | 0,385 | | |
| | Bragança STA32 _(t) | -0,171 | 0,079 | 0,032 | -0,326 | -0,015 | | |
| Imes Julho | -1,8 | 0,839 | 0,033 | -3,455 | -0,145 | | | |
| R V | Constante | 11,406 | 0,648 | 0 | 10,128 | 12,684 | 0,757 | 0,011 |
| | Vila Real STAG32 _(t-1) | 0,594 | 0,033 | 0 | 0,528 | 0,659 | | |
| | Iano 2003 | 11,847 | 0,915 | 0 | 10,041 | 13,652 | | |
| R VI | Constante | 12,591 | 0,957 | 0 | 10,698 | 14,484 | 0,834 | 0,031 |
| | Bragança STAG32 _(t-1) | 0,438 | 0,029 | 0 | 0,382 | 0,494 | | |
| | Iano 2003 | 10,281 | 0,986 | 0 | 8,33 | 12,231 | | |
| | Viseu EXC32 _(t) | 1,275 | 0,303 | 0 | 0,677 | 1,873 | | |
| Imês Julho | -2,014 | 0,95 | 0,036 | -3,893 | -0,135 | | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

P - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t)- Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t ;

STAG 32_(t-1)- Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$;

STAG 35_(t)- Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t ;

STAG 35_(t-1)- Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$;

Iano - variável indicadora do ano;

Imês - variável indicadora do mês.

Para o limite de ocorrência 1, de valor mais baixo, L1, os modelos que apresentaram os melhores níveis de especificidade, taxa de falsos positivos, valores preditivos positivos e probabilidade de decisão correcta foram os modelos R I e R III, com o primeiro a ter uma vantagem marginal mínima. Em

particular relativamente à especificidade, o Modelo R I, nos anos de 1981 e 2003 obteve o valor de especificidade 99,3%, enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, esse valor foi de 99,8%.

Quando considerado o limite de ocorrência 2, L2, o modelo R III apresentou resultados em termos de especificidade de 100%. Nestas condições o modelo R III revelou-se o melhor modelo, não se afastando porém substancialmente do modelo R I.

Tabela 31. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo I, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valores Preditos + | Valores Preditos - | Prob. Correcto |
|--------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|--------------------|--------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 27) | R I | 1981 e 2003 | 0,444 | 0,993 | 0,007 | 0,556 | 0,941 | 0,88 | 0,886 |
| | | 1981 a 2003 | 0,283 | 0,998 | 0,002 | 0,717 | 0,773 | 0,979 | 0,977 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,472 | 0,966 | 0,034 | 0,528 | 0,773 | 0,883 | 0,87 |
| | | 1981 a 2003 | 0,333 | 0,969 | 0,031 | 0,667 | 0,238 | 0,98 | 0,951 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,417 | 0,986 | 0,014 | 0,583 | 0,882 | 0,874 | 0,875 |
| | | 1981 a 2003 | 0,267 | 0,998 | 0,002 | 0,733 | 0,762 | 0,979 | 0,977 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,472 | 0,966 | 0,034 | 0,528 | 0,773 | 0,883 | 0,87 |
| | | 1981 a 2003 | 0,35 | 0,969 | 0,031 | 0,65 | 0,25 | 0,981 | 0,952 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,472 | 0,98 | 0,02 | 0,528 | 0,85 | 0,884 | 0,88 |
| | | 1981 a 2003 | 0,35 | 0,975 | 0,025 | 0,65 | 0,288 | 0,981 | 0,957 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,5 | 0,764 | 0,236 | 0,5 | 0,34 | 0,863 | 0,712 |
| | | 1981 a 2003 | 0,367 | 0,959 | 0,041 | 0,633 | 0,208 | 0,981 | 0,942 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 36) | R I | 1981 e 2003 | 0,692 | 0,994 | 0,006 | 0,308 | 0,9 | 0,977 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,692 | 0,999 | 0,001 | 0,308 | 0,75 | 0,998 | 0,997 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,846 | 0,982 | 0,018 | 0,154 | 0,786 | 0,988 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,846 | 0,988 | 0,012 | 0,154 | 0,297 | 0,999 | 0,987 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,846 | 1 | 0 | 0,154 | 1 | 0,988 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,846 | 1 | 0 | 0,154 | 1 | 0,999 | 0,999 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,846 | 0,982 | 0,018 | 0,154 | 0,786 | 0,988 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,846 | 0,988 | 0,012 | 0,154 | 0,306 | 0,999 | 0,987 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,846 | 0,994 | 0,006 | 0,154 | 0,917 | 0,988 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,846 | 0,985 | 0,015 | 0,154 | 0,262 | 0,999 | 0,984 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,846 | 0,807 | 0,193 | 0,154 | 0,25 | 0,986 | 0,81 |
| | | 1981 a 2003 | 0,846 | 0,971 | 0,029 | 0,154 | 0,153 | 0,999 | 0,97 |

A qualidade óptima (elevados valores de sensibilidade, de especificidade, de valores preditivos e de probabilidade correcta de predição de excesso de mortalidade), simplicidade e clareza dos modelos deste grupo, no conjunto de todos os grupos etários, mas em particular no grupo de indivíduos idosos, pareceu dever-se ao facto de o fenómeno das ondas de calor nesta região quase

se circunscrever ao episódio de 2003, e deste episódio haver tido um comportamento global semelhante a um pico único de calor e mortalidade.

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I, que apresenta uma qualidade de ajustamento de 76,4% (R^2_{Ajustado}) (Tabela 30) e excelentes valores de validade (Tabela 31). Neste modelo, as variáveis que entraram no modelo foram: a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$ do distrito de Bragança, a Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t do distrito da Guarda e a variável indicadora do ano de 1981.

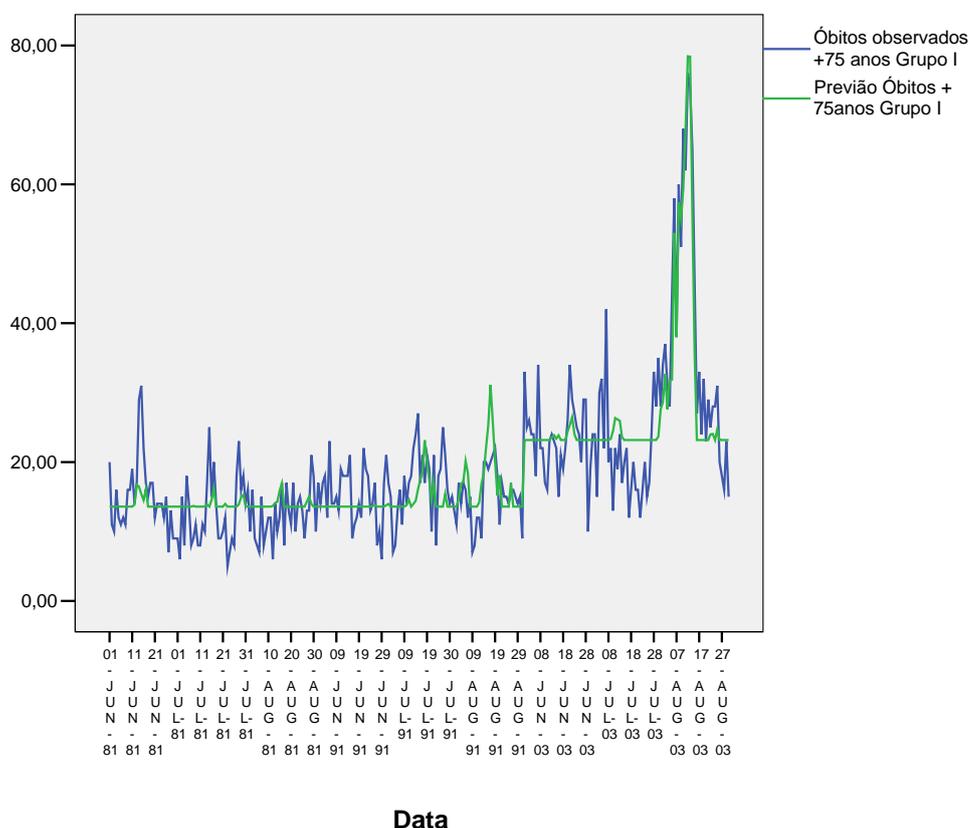


Figura 31: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo I, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003

Da observação da Figura 31, pode verificar-se o ajustamento do modelo ensaiado às grandes ondas de calor. O modelo parece ajustar-se bem à onda de calor de 2003 e adaptar-se relativamente mal aos picos de mortalidade únicos de 1981 e 1991.

3.3.4.2 Grupo II

Uma resenha breve e possível para os modelos obtidos para o Grupo II – Região Litoral Norte – com base nos resultados das Tabelas 32 e 33, é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas de pelo menos três distritos;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia;
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, tendo parecido existir uma ligeira maior prevalência do limiar com o valor mais elevado;
- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Leiria (definida em 3.2.2. com de Referência para este grupo) apareceu significativa na maioria dos modelos ensaiados. Esta temperatura, quando apareceu sem ser forçada, tendeu a mostrar-se associada ao nível de limiar de 32°C. No modelo V, onde o uso da temperatura máxima de Leiria foi obrigatória, foi o limiar de 35°C que se mostrou relevante.
- **Modelo R I** – É um modelo complexo, com bom ajustamento (77,7%) mas com fracas características estatísticas, não verificando o pressuposto de normalidade dos resíduos ($p < 0,001$); incluiu variáveis relativas às temperaturas todos os 6 distritos da região; apresenta 6 variáveis STAG associadas ao limiar de 35°C e outras 2 associadas ao limiar de 32°C.
- **Modelo R II** – É um modelo ligeiramente mais simples que o modelo R I desta subsecção (embora ainda possa ser considerado complexo), que apresenta um ajustamento aos dados aparentemente melhor (81,8%), mas também sem as desejáveis qualidades estatísticas ($p = 0,007$) e com a desvantagem de não incluir a experiência da onda de calor de 1991; baseia-se em variáveis relativas às temperaturas de 5 dos 6 distritos da região, omitindo apenas Coimbra, e inclui 5 variáveis STAG com limiar de 35°C contra 3 de limiar de 32°C.
- **Modelo R III** – Modelo relativamente mais simples, com aparente bom ajustamento aos dados (79%), ainda que sem que as desejadas características estatísticas de normalidade dos respectivos resíduos se verifiquem ($p < 0,001$). Este modelo misturou as variáveis STA e STAG, em particular com mais variáveis assentes no limiar 32°C do que no

limiar mais elevado, e incluiu variáveis relativas às temperaturas de 5 dos 6 distritos da região.

- **Modelo R IV** – Modelo ligeiramente complexo (como o modelo R II), que também combinou variáveis STA e STAG, gerando um bom ajustamento aos dados (85,5%) e com as qualidades estatísticas desejáveis de normalidade dos resíduos ($p=0,086$), mas que também não inclui a experiência de 1991; baseou-se em informação de temperaturas de 4 dos 6 distritos do grupo; gerou uma teia de variáveis STA e STAG e os dois limiares usados dos distritos de Braga e Coimbra, que se mostra complexa e difícil de entender; 7 das variáveis incluídas no modelo assentavam no limiar de 35°C contra as duas que assentavam no limiar de 32°C.
- **Modelo R V** – O uso das temperaturas de referência não gerou um modelo muito explicativo (65,5%) quando comparado com os restantes do grupo (embora se situe acima dos níveis de explicação conseguidos nos modelos para o Grupo I); apresentou fracas características estatísticas com a rejeição da normalidade dos respectivos resíduos ($p<0,001$); e parece relevante que apenas tenha sobressaído em razão das variáveis STA e STAG com o limiar de 35°C. Mais uma vez se denotou que o uso da temperatura que melhor se correlaciona com as temperaturas de todos os distritos do seu grupo não resulta necessariamente na construção de um melhor modelo;
- **Modelo R VI** – É um modelo relativamente complexo (mais complexo que os modelos R II e R IV, com os quais se compara directamente); ensaia-se nele a inclusão de variáveis de excesso de temperatura que só se relevaram significativas relativamente ao distrito de Braga; e apesar de conseguir maior capacidade de explicação (88,3%), não conserva as características estatísticas desejáveis ($p=0,007$ para a normalidade dos resíduos). Assim, o modelo tornou-se mais intrincado e difícil de entender: incluiu variáveis relativas às temperaturas de 5 dos 6 distritos do grupo, só relativamente ao distrito de Coimbra surgindo 4 variáveis diferentes; nele pareceram prevalecer as variáveis relativas ao limiar 32°C; e, é digno de nota o facto de surgirem as variáveis Porto STA 35 (t-1) e Braga EXC 35 (t) que têm valores negativos e substanciais, parecendo

servir de limitador para a mortalidade, como já vimos acontecer noutros grupos.

Comparando globalmente os modelos para o grupo etário mais idosos, obtidos nesta secção, com as suas respectivas contrapartidas para a mortalidade total (todos os grupos etários) obtidos na secção 3.3.3. anterior, estes para o grupo etário específico resultaram, na maioria dos casos, ligeiramente mais complexos (excepção para o modelo R I), com ligeiro acréscimo de poder explicativo. No seu conjunto (dos 6 modelos) não resultou desta abordagem, ao grupo etário particular, capacidade adicional para a compreensão do fenómeno da relação entre calor e mortalidade.

Pareceu mesmo algo inesperado que desta abordagem (estudo da mortalidade restrita ao grupo etário mais idoso) não resultassem modelos mais simples e substancialmente mais explicativos.

Dos seis modelos em estudo aquele que produziu melhores resultados ao nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo VI, o qual explica 88,3% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 33). Apenas no Modelo IV os resíduos foram considerados como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$) (Tabelas 32 e 33).

Na Tabela 34 apresentam-se os resultados de validade do modelo escolhido para os dois limites de mortalidade estabelecidos ($L_1 = 72$ e $L_2 = 93$ óbitos). Quanto aos valores de especificidade, quando considerado o limiar de 72, os resultados para o Modelo I, nos anos de 1981 e 2003 obteve-se o valor de especificidade de 98,8%, enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, conduziram a um valor de 99,2%. Quando usado como critério a probabilidade de decisão correcta no conjunto dos 24 anos (1981 a 2003), foi o modelo R V e R I que apresentaram as melhores performances com valores de 99,1% e 98,7%, respectivamente.

Tabela 32. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|---------------------------------------|--|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 40,756 | 1 | 0 | 38,786 | 42,726 | 0,777 | 0 |
| | Braga STAG 35 _(t-1) | 3,396 | 0,497 | 0 | 2,418 | 4,375 | | |
| | Iano 2003 | 12,991 | 1,283 | 0 | 10,465 | 15,518 | | |
| | Iano 1981 | -9,138 | 1,28 | 0 | -11,659 | -6,618 | | |
| | Viana Castelo STAG 35 _(t) | 1,223 | 0,68 | 0,073 | -0,117 | 2,563 | | |
| | Imês Junho | 3,947 | 1,109 | 0 | 1,762 | 6,131 | | |
| | Leiria STAG 35 _(t) | 0,987 | 0,41 | 0,017 | 0,179 | 1,795 | | |
| | Aveiro STAG 32 _(t-1) | 1,414 | 0,465 | 0,003 | 0,498 | 2,331 | | |
| | Porto STAG 35 _(t-1) | -6,113 | 1,502 | 0 | -9,071 | -3,155 | | |
| | Viana Castelo STAG 35 _(t-1) | 2,398 | 0,676 | 0 | 1,066 | 3,73 | | |
| | Braga STAG 35 _(t) | 1,598 | 0,67 | 0,018 | 0,277 | 2,918 | | |
| Coimbra STAG 32 _(t) | 0,139 | 0,061 | 0,025 | 0,018 | 0,26 | | | |
| R II | Constante | 53,254 | 1,132 | 0 | 51,02 | 55,488 | 0,818 | 0,007 |
| | Braga STAG35 _(t-1) | 4,987 | 0,65 | 0 | 3,704 | 6,27 | | |
| | Iano 1981 | -21,64 | 1,388 | 0 | -24,379 | -18,901 | | |
| | Viana Castelo STAG35 _(t) | 2,611 | 0,603 | 0 | 1,421 | 3,801 | | |
| | Imês Junho | 5,532 | 1,437 | 0 | 2,695 | 8,368 | | |
| | Aveiro STAG32 _(t-1) | 1,25 | 0,512 | 0,016 | 0,239 | 2,261 | | |
| | Porto STAG35 _(t-1) | -7,276 | 1,772 | 0 | -10,773 | -3,779 | | |
| | Leiria STAG32 _(t) | 0,52 | 0,086 | 0 | 0,349 | 0,69 | | |
| | Viana Castelo STAG35 _(t-1) | 2,835 | 0,905 | 0,002 | 1,048 | 4,622 | | |
| Viana Castelo STAG32 _(t-1) | -0,541 | 0,223 | 0,016 | -0,982 | -0,101 | | | |
| R III | Constante | 40,12 | 0,951 | 0 | 38,246 | 41,993 | 0,79 | 0 |
| | Iano 2003 | 13,916 | 1,24 | 0 | 11,474 | 16,357 | | |
| | Braga STAG35 _(t) | 2,827 | 0,447 | 0 | 1,947 | 3,708 | | |
| | Iano 1981 | -8,311 | 1,227 | 0 | -10,726 | -5,896 | | |
| | Imês Junho | 3,583 | 1,067 | 0,001 | 1,483 | 5,683 | | |
| | Viana Castelo STA32 _(t-1) | 2,583 | 0,324 | 0 | 1,944 | 3,222 | | |
| | Viana Castelo STAG32 _(t-1) | -2,039 | 0,307 | 0 | -2,643 | -1,435 | | |
| | Braga STAG35 _(t-1) | 5,057 | 0,515 | 0 | 4,044 | 6,07 | | |
| Coimbra STA32 _(t) | 0,291 | 0,066 | 0 | 0,161 | 0,421 | | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t ;

STAG 32_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$;

STAG 35_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t ;

STAG 35_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$;

Iano - variável indicadora do ano;

Imês - variável indicadora do mês.

Tabela 33. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo II e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L _{INF} | L _{SUP} | | |
| R IV | Constante | 53,565 | 0,982 | 0 | 51,626 | 55,504 | 0,855 | 0,086 |
| | Braga STA35 _(t-1) | 5,035 | 0,621 | 0 | 3,81 | 6,26 | | |
| | Iano 1981 | -22,364 | 1,223 | 0 | -24,777 | -19,95 | | |
| | Braga STAG35 _(t) | 13,797 | 2,356 | 0 | 9,146 | 18,449 | | |
| | Imês Junho | 3,246 | 1,293 | 0,013 | 0,693 | 5,799 | | |
| | Coimbra STA35 _(t-1) | 4,172 | 0,416 | 0 | 3,35 | 4,993 | | |
| | Coimbra STAG35 _(t-1) | -4,985 | 0,581 | 0 | -6,133 | -3,838 | | |
| | Coimbra STA32 _(t-1) | 0,743 | 0,165 | 0 | 0,418 | 1,069 | | |
| | Braga STA35 _(t) | -8,84 | 2,53 | 0,001 | -13,834 | -3,846 | | |
| | Aveiro STA35 _(t-1) | -7,313 | 2,389 | 0,003 | -12,03 | -2,596 | | |
| | Leiria STA32 _(t-1) | 0,677 | 0,234 | 0,004 | 0,216 | 1,138 | | |
| Aveiro STA35 _(t) | -4,904 | 2,023 | 0,016 | -8,899 | -0,91 | | | |
| R V | Constante | 51,259 | 1,498 | 0 | 48,302 | 54,216 | 0,655 | 0 |
| | Iano1981 | -18,108 | 1,826 | 0 | -21,712 | -14,504 | | |
| | Leiria STAG35 _(t) | 2,906 | 0,402 | 0 | 2,113 | 3,699 | | |
| | Imês Junho | 8,694 | 1,926 | 0 | 4,894 | 12,494 | | |
| | Leiria STA35 _(t-1) | 4,081 | 0,483 | 0 | 3,128 | 5,034 | | |
| R VI | Constante | 52,853 | 0,934 | 0 | 51,009 | 54,698 | 0,883 | 0,007 |
| | Iano 1981 | -22,049 | 1,139 | 0 | -24,298 | -19,8 | | |
| | Braga STAG35 _(t) | 13,019 | 1,207 | 0 | 10,636 | 15,403 | | |
| | Imês Junho | 3,781 | 1,204 | 0,002 | 1,404 | 6,159 | | |
| | Porto STA35 _(t-1) | -18,881 | 2,403 | 0 | -23,627 | -14,135 | | |
| | Braga EXC35 _(t) | -18,888 | 2,733 | 0 | -24,285 | -13,491 | | |
| | Coimbra STAG32 _(t) | 0,201 | 0,096 | 0,039 | 0,01 | 0,391 | | |
| | Coimbra STAG32 _(t-1) | -1,521 | 0,227 | 0 | -1,97 | -1,072 | | |
| | Coimbra STA32 _(t-1) | 2,399 | 0,281 | 0 | 1,843 | 2,954 | | |
| | Braga STA32 _(t-1) | 1,871 | 0,263 | 0 | 1,352 | 2,391 | | |
| | Viana Castelo STAG32 _(t-1) | -1,694 | 0,391 | 0 | -2,466 | -0,922 | | |
| | Porto STA32 _(t-1) | 6,194 | 0,744 | 0 | 4,725 | 7,663 | | |
| | Coimbra STAG35 _(t-1) | -2,311 | 0,433 | 0 | -3,167 | -1,456 | | |
| | Leiria STA32 _(t-1) | 0,629 | 0,205 | 0,002 | 0,225 | 1,034 | | |
| Leiria STA32 _(t) | 0,537 | 0,17 | 0,002 | 0,202 | 0,872 | | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF}- limite inferior do intervalo; L_{SUP}- limite superior do intervalo);

R²_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia *t*;

STAG 32_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia *t-1*;

STAG 35_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia *t*;

STAG 35_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia *t-1*;

Iano - variável indicadora do ano;

Imês - variável indicadora do mês.

Quando considerado o limite de ocorrência 2, os modelo R I e RV, seguidos de R III, apresentaram-se com óptimas qualidades, com probabilidade de decisão correcta de 99,5%, 99,5% e 99,1%, respectivamente.

Como se pode verificar na Figura 32, o desafio de modelação dos impactos das ondas de calor era nesta região notavelmente maior do que o que se verificava na região 1. Dai que o facto de os modelos parecerem surgir complexos se possa relacionar com a complexidade do desafio.

Tabela 34. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo II, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. Correcto |
|--------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 72) | R I | 1981 e 2003 | 0,682 | 0,988 | 0,012 | 0,318 | 0,882 | 0,958 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,992 | 0,008 | 0,444 | 0,484 | 0,994 | 0,987 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,727 | 0,994 | 0,006 | 0,273 | 0,941 | 0,964 | 0,962 |
| | | 1981 a 2003 | 0,593 | 0,989 | 0,011 | 0,407 | 0,421 | 0,995 | 0,984 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,591 | 1 | 0 | 0,409 | 1 | 0,947 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,519 | 0,992 | 0,008 | 0,481 | 0,452 | 0,994 | 0,986 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,682 | 1 | 0 | 0,318 | 1 | 0,959 | 0,962 |
| | | 1981 a 2003 | 0,593 | 0,984 | 0,016 | 0,407 | 0,32 | 0,995 | 0,979 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,591 | 0,994 | 0,006 | 0,409 | 0,929 | 0,947 | 0,946 |
| | | 1981 a 2003 | 0,519 | 0,997 | 0,003 | 0,481 | 0,7 | 0,994 | 0,991 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,773 | 1 | 0 | 0,227 | 1 | 0,97 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,741 | 0,919 | 0,081 | 0,259 | 0,106 | 0,996 | 0,917 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 93) | R I | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,989 | 0,011 | 0,125 | 0,778 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,778 | 0,996 | 0,004 | 0,222 | 0,467 | 0,999 | 0,995 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,989 | 0,011 | 0,125 | 0,778 | 0,994 | 0,984 | 0,875 |
| | | 1981 a 2003 | 0,994 | 0,006 | 0,222 | 0,368 | 0,999 | 0,993 | 0,778 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,625 | 1 | 0 | 0,375 | 1 | 0,983 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,995 | 0,005 | 0,444 | 0,333 | 0,998 | 0,993 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,75 | 1 | 0 | 0,25 | 1 | 0,989 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,992 | 0,008 | 0,333 | 0,273 | 0,999 | 0,991 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,375 | 0,977 | 0,023 | 0,625 | 0,429 | 0,972 | 0,951 |
| | | 1981 a 2003 | 0,333 | 0,998 | 0,002 | 0,667 | 0,429 | 0,997 | 0,995 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 1 | 0,994 | 0,006 | 0 | 0,889 | 1 | 0,995 |
| | | 1981 a 2003 | 0,889 | 0,941 | 0,059 | 0,111 | 0,061 | 0,999 | 0,941 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I que apresenta uma qualidade de ajustamento de 77,7% (R^2_{Ajustado}), Tabela 32. Nesse modelo, que não é propriamente simples, mais que enunciar todas as suas variáveis parece de relevar antes o princípio global que o inspira: o modelo é constituído de variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada para todos os distritos da região, tendencialmente incluindo sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia e maioritariamente recorrendo ao limiar de temperatura de 35°C.

Pela observação da Figura 32 pode verificar-se o ajustamento do modelo ensaiado às grandes ondas de calor. O modelo parece prever com apreciável precisão o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003.

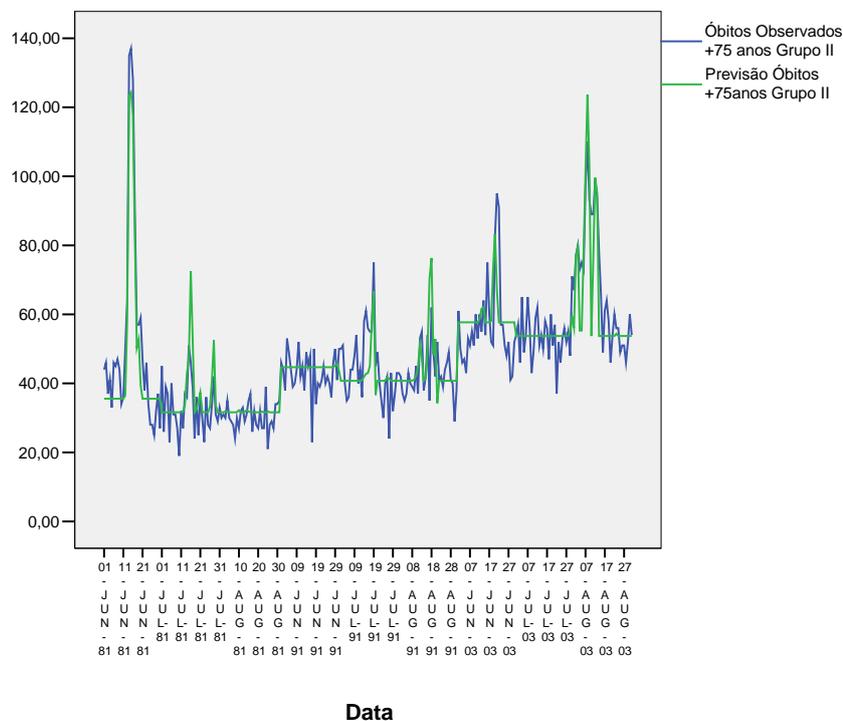


Figura 32: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo II, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003

3.3.4.3 Grupo III

Uma resenha para os modelos obtidos para o Grupo III – Região Litoral Centro – com base nos resultados das Tabela 35 e Tabela 36, é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas dos três distritos da região, obviamente excepto o modelo R V onde tal não podia acontecer;
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia;
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, não tendo parecido existir qualquer prevalência de um limiar sobre o outro, excepto, talvez, relativamente ao distrito de Setúbal onde pareceu existir uma tendência para prevalecer o limiar de 35°C;

- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Lisboa (definida em 3.2.2. como de Referência para este grupo) apareceu significativa em todos os modelos ensaiados. Esta temperatura surgiu sempre associada a ambos os limiares considerados.
- **Modelo R I** – Resultou num modelo ligeiramente complexo, com uma qualidade de ajustamento aos dados apreciável (79%), apesar de não ter a característica estatística desejável de normalidade dos resíduos ($p < 0,001$); e incluiu variáveis relativas às temperaturas de todos os distritos da região: neste modelo tenderam a predominar variáveis STAG com limiar de 35°C .
- **Modelo R II** – Resultou num modelo mais complexo que o modelo R I (apesar de respeitar a menos informação), tem uma qualidade explicativa apreciável (86,2%), mas não reuniu a característica estatística desejável de normalidade dos respectivos resíduos ($p = 0,001$). Reuniu variáveis STAG de todos os 3 distritos da região e é particularmente de notar que para todos os distritos foram incluídas variáveis STAG relativas ao próprio dia (t) e ao dia anterior (t-1) e, para ambos, os limiares considerados de 32°C e 35°C . Exceptua-se o distrito de Santarém, para o qual também neste modelo não se considerou a variável STAG com limiar de 32°C ;
- **Modelo R III** – Revelou-se um modelo complexo, com apreciável capacidade explicativa (80,8%), mas sem garantir a característica estatística desejada de ter os respectivos resíduos com distribuição normal ($p < 0,001$); as variáveis Lisboa STAG (t-1) e Santarém STA (t) surgiram como as mais importantes do modelo, o que levou a uma relativa complexa teia de variáveis STA e STAG, incluído até Santarém com a STA $32(t)$. Apesar de possuir maior poder explicativo que o modelo R I, torna a relação entre calor e mortalidade mais difícil de compreender, apesar de em nada de essencial ser diferente do enunciado no modelo R I;
- **Modelo R IV** – Modelo complexo (semelhante ao modelo R III); com uma capacidade ótima de explicação dos dados (86,6%) e com a característica estatística desejada de normalidade dos resíduos ($p > 0,20$); tal como no modelo R III, é tecida uma relação complexa de variáveis

STAG e STA, que não esclareceu particularmente a relação entre mortalidade e calor, tendo o inconveniente adicional de não incluir informação de 1991;

- **Modelo R V** – Modelo simples, que pode ser visto como uma generalização do modelo ÍCARO 1999; apresenta uma capacidade de explicação apreciavelmente boa (76,6%), quase ao nível do modelo R I; incluiu as variáveis Lisboa STAG 32 (t-1), Lisboa STAG 35 (t) e Lisboa STA 35 (t-1), o que é interessante dado que mantém todas as ideias reunidas no modelo construído para o distrito de Lisboa na secção 3.1..
- **Modelo R VI** – Resultou num modelo relativamente simples, pelo menos mais simples que as versões resultantes dos modelos hierarquicamente mais próximos (R II e R IV); a capacidade de explicação da variação dos dados subjacentes foi relativamente boa (85,2%), apesar de, mais uma vez, não se conseguir garantir a normalidade dos resíduos do modelo ($p=0,007$).

Os indícios resultantes dos seis modelos desta região pareceram apontar para que os modelos mais parcimoniosos, que incluem informação relativa a temperaturas de mais que um distrito e que são mais fáceis de entender, poderão ser aqueles que incluem os três tipos de variáveis: STA, STAG e EXC.

Comparando globalmente os modelos aqui obtidos com as suas respectivas contrapartidas para a mortalidade total (todos os grupos etários), resultaram, na maioria dos casos, ligeiramente menos complexos (com menos variáveis), mas com acréscimo de poder explicativo. No conjunto dos modelos pareceu existir uma certa validação do conhecimento anteriormente adquirido na explicação e compreensão do fenómeno da relação entre calor e mortalidade.

O modelo R V reveste-se de alguma importância por se comparar com os modelos desenvolvidos para o distrito de Lisboa (secção 3.2.4.). Na comparação directa os modelos finais não resultaram diferentes, mas verificou-se uma nuance na variável mais significativa interessante e compatível com a experiência empírica: na modelação da mortalidade de todos os grupos etários desta região foi a variável STAG 35 (t-1) que surgiu com o papel principal, e

quando se modelou a mortalidade do grupo etário mais idoso o papel principal foi assumido pela variável STA 32 (t-1).

Dos seis modelos em estudo o que produziu melhores resultados ao nível de qualidade de ajustamento foi o Modelo IV, o qual explica 86,6% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 35 e Tabela 36). Somente no Modelo IV, os resíduos foram considerados como ruído branco Normal, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} > 0,20$). Para o modelo R I, os resíduos não se mostraram normais ($p_{K-S} < 0,001$). No entanto é de notar uma vez mais que só os modelos R I e R III modelavam simultaneamente os dados das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, enquanto os restantes modelos apenas consideravam os dados relativos às grandes ondas de calor de 1981 e 2003, menos informação portanto.

No tocante à qualidade dos modelos para os dois níveis de ocorrência considerados (L1=66 e L2=87), na Tabela 37 verificou-se o seguinte:

- a) Da análise da especificidade, quando considerado o nível de ocorrência 1 (L1), os resultados para o Modelo I e para o Modelo III, foram semelhantes. Para estes os modelos, nos anos de 1981 e 2003 obteve-se um valor de especificidade 99,4% e 98,8%, respectivamente, enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo I (99,8%) tem menor especificidade do que o Modelo III (99,9%).
- b) Em relação à sensibilidade, quando são considerados todos os anos em análise de (1981 a 2003), todos os modelos apresentam um valor mais baixo do que se considerar apenas os dois anos de ondas de calor mais severas em Portugal (1981 e 2003), para o limiar 66.
- c) Quando considerado o limiar de 87, os modelos III e IV, apresentaram resultados iguais em termos de especificidade (100%).

Tabela 35. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|---------|----------------------------------|-----------|-------|-------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 25,444 | 1,038 | 0 | 23,4 | 27,488 | 0,79 | 0 |
| | Lisboa STAG 32 _(t-1) | 1,244 | 0,165 | 0 | 0,919 | 1,568 | | |
| | Iano 2003 | 22,542 | 1,373 | 0 | 19,839 | 25,246 | | |
| | Lisboa STAG 35 _(t) | 1,984 | 0,295 | 0 | 1,404 | 2,564 | | |
| | Iano 1991 | 7,859 | 1,392 | 0 | 5,118 | 10,599 | | |
| | Lisboa STAG 35 _(t-1) | 1,401 | 0,263 | 0 | 0,883 | 1,919 | | |
| | Setúbal STAG 35 _(t) | -1,16 | 0,226 | 0 | -1,605 | -0,714 | | |
| | Santarém STAG 35 _(t) | 0,243 | 0,088 | 0,006 | 0,069 | 0,417 | | |
| | Imês Junho | 4,099 | 1,189 | 0,001 | 1,758 | 6,439 | | |
| | Setúbal STAG 35 _(t-1) | -1,575 | 0,336 | 0 | -2,237 | -0,913 | | |
| | Setúbal STAG 32 _(t-1) | 0,381 | 0,081 | 0 | 0,221 | 0,542 | | |
| R II | Constante | 46,929 | 1,111 | 0 | 44,736 | 49,122 | 0,852 | 0,001 |
| | Setúbal STAG32 _(t-1) | 0,717 | 0,16 | 0 | 0,401 | 1,032 | | |
| | Iano 1981 | -23,291 | 1,32 | 0 | -25,897 | -20,685 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t-1) | 2,585 | 0,336 | 0 | 1,921 | 3,249 | | |
| | Imês Junho | 4,879 | 1,371 | 0 | 2,172 | 7,585 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t-1) | -2,295 | 0,43 | 0 | -3,144 | -1,447 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t-1) | 3,162 | 0,391 | 0 | 2,391 | 3,933 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t) | -2,521 | 0,44 | 0 | -3,39 | -1,652 | | |
| | Santarem STAG35 _(t-1) | 0,517 | 0,115 | 0 | 0,29 | 0,743 | | |
| | Setubal STAG32 _(t) | 0,745 | 0,181 | 0 | 0,388 | 1,103 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 0,559 | 0,145 | 0 | 0,273 | 0,845 | | |
| | lisboa STAG32 _(t) | -1,025 | 0,351 | 0,004 | -1,718 | -0,331 | | |
| R III | Constante | 24,655 | 1,012 | 0 | 22,662 | 26,648 | 0,808 | 0 |
| | Lisboa STAG32 _(t-1) | 0,802 | 0,187 | 0 | 0,433 | 1,17 | | |
| | Iano 2003 | 22,392 | 1,311 | 0 | 19,812 | 24,973 | | |
| | Lisboa STA35 _(t) | 1,196 | 0,358 | 0,001 | 0,491 | 1,901 | | |
| | Iano 1991 | 7,942 | 1,322 | 0 | 5,339 | 10,545 | | |
| | Lisboa STA35 _(t-1) | 2,974 | 0,99 | 0,003 | 1,025 | 4,923 | | |
| | Santarém STA32 _(t-1) | 0,239 | 0,06 | 0 | 0,12 | 0,357 | | |
| | Imês Junho | 4,46 | 1,135 | 0 | 2,225 | 6,695 | | |
| | Setúbal STAG35 _(t) | -1,428 | 0,25 | 0 | -1,92 | -0,936 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 1,333 | 0,226 | 0 | 0,887 | 1,779 | | |
| | Santarém STA35 _(t) | -1,421 | 0,316 | 0 | -2,044 | -0,798 | | |
| | Setúbal STA32 _(t) | 0,397 | 0,102 | 0 | 0,197 | 0,598 | | |
| | Lisboa STA32 _(t) | 0,512 | 0,199 | 0,011 | 0,12 | 0,904 | | |
| | Lisboa STAG35 _(t-1) | -2,232 | 1,019 | 0,029 | -4,238 | -0,226 | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t ;

STAG 32_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$;

STAG 35_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t ;

STAG 35_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$;

Iano - variável indicadora do ano;

Imês - variável indicadora do mês.

Tabela 36. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo III e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S} (continuação)

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R IV | Constante | 46,121 | 1,082 | 0 | 43,985 | 48,257 | 0,866 | 0,2 |
| | Setúbal STA32 _(t-1) | 1,587 | 0,231 | 0 | 1,131 | 2,044 | | |
| | Iano 1981 | -22,59 | 1,265 | 0 | -25,087 | -20,093 | | |
| | Santarém STAG35 _(t-1) | 1,808 | 0,319 | 0 | 1,178 | 2,437 | | |
| | Imês Junho | 5,528 | 1,316 | 0 | 2,93 | 8,125 | | |
| | Setúbal STA35 _(t-1) | -2,506 | 0,514 | 0 | -3,521 | -1,492 | | |
| | Setúbal STA35 _(t) | -2,425 | 0,394 | 0 | -3,203 | -1,646 | | |
| | Lisboa STA35 _(t-1) | 4,53 | 1,115 | 0 | 2,328 | 6,731 | | |
| | Santarém STA35 _(t-1) | -1,758 | 0,438 | 0 | -2,623 | -0,894 | | |
| | Lisboa STA35 _(t) | 3,142 | 0,469 | 0 | 2,215 | 4,068 | | |
| | Setúbal STAG32 _(t) | 0,541 | 0,133 | 0 | 0,279 | 0,803 | | |
| | Lisboa STAG32 _(t) | -0,624 | 0,231 | 0,008 | -1,079 | -0,168 | | |
| Lisboa STAG35 _(t-1) | -2,131 | 0,991 | 0,033 | -4,088 | -0,174 | | | |
| R V | Constante | 47,811 | 1,378 | 0 | 45,092 | 50,529 | 0,766 | 0 |
| | Lisboa STAG32 _(t-1) | 1,042 | 0,132 | 0 | 0,781 | 1,303 | | |
| | Iano 1981 | -22,162 | 1,655 | 0 | -25,427 | -18,897 | | |
| | Lisboa STA35 _(t) | 1,15 | 0,254 | 0 | 0,649 | 1,651 | | |
| | Lisboa STA35 _(t-1) | 1,129 | 0,326 | 0,001 | 0,485 | 1,772 | | |
| | Imês Junho | 5,256 | 1,748 | 0,003 | 1,806 | 8,705 | | |
| R VI | Constante | 46,512 | 1,18 | 0 | 44,182 | 48,842 | 0,852 | 0,007 |
| | Santarém EXC35 _(t-1) | 3,485 | 0,931 | 0 | 1,647 | 5,324 | | |
| | Iano 1981 | -23,183 | 1,43 | 0 | -26,007 | -20,359 | | |
| | Setúbal STA32 _(t-1) | 1,681 | 0,251 | 0 | 1,185 | 2,177 | | |
| | Imês Junho | 6,931 | 1,573 | 0 | 3,824 | 10,038 | | |
| | Setúbal EXC35 _(t-1) | -8,027 | 1,346 | 0 | -10,687 | -5,368 | | |
| | Santarém STAG35 _(t) | 0,327 | 0,094 | 0,001 | 0,142 | 0,511 | | |
| | Lisboa EXC35 _(t-1) | 5,964 | 1,673 | 0 | 2,66 | 9,269 | | |
| | Lisboa STA32 _(t-1) | -0,94 | 0,343 | 0,007 | -1,618 | -0,261 | | |
| Lisboa STAG32 _(t-1) | 0,324 | 0,161 | 0,046 | 0,006 | 0,642 | | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t ;

STAG 32_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$;

STAG 35_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t ;

STAG 35_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$;

Iano - variável indicadora do ano;

Imês - variável indicadora do mês.

- d) Globalmente todos os modelos deste grupo e deste grupo etário apresentaram ótimos valores de especificidade, taxas de falsos positivos, valores preditivos positivos e probabilidade de decisão correcta.

- e) Relativamente ao limite de ocorrência 1, no conjunto dos 24 anos, 1981 a 2003, os modelos R I e R III apresentaram a melhor probabilidade de decisão correcta (99,4%).
- f) Relativamente ao limite de ocorrência 2, também no conjunto dos 24 anos, 1981 a 2003, foi o modelo R III que apresentou os melhores valores de decisão correcta (99,8%), seguido de muito perto pelos modelos R I e R V (99,7%).

Tabela 37. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo III, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. |
|--------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|-------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 66) | R I | 1981 e 2003 | 0,81 | 0,994 | 0,006 | 0,19 | 0,944 | 0,976 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,69 | 0,998 | 0,002 | 0,31 | 0,833 | 0,996 | 0,994 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,905 | 0,982 | 0,018 | 0,095 | 0,864 | 0,988 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,828 | 0,956 | 0,044 | 0,172 | 0,209 | 0,998 | 0,955 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,81 | 0,988 | 0,012 | 0,19 | 0,895 | 0,976 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,69 | 0,999 | 0,001 | 0,31 | 0,87 | 0,996 | 0,994 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,905 | 0,982 | 0,018 | 0,095 | 0,864 | 0,988 | 0,973 |
| | | 1981 a 2003 | 0,828 | 0,958 | 0,042 | 0,172 | 0,214 | 0,998 | 0,956 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,667 | 0,982 | 0,018 | 0,333 | 0,824 | 0,958 | 0,946 |
| | | 1981 a 2003 | 0,586 | 0,988 | 0,012 | 0,414 | 0,395 | 0,994 | 0,982 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 1 | 0,933 | 0,067 | 0 | 0,656 | 1 | 0,94 |
| | | 1981 a 2003 | 0,931 | 0,815 | 0,185 | 0,069 | 0,065 | 0,999 | 0,816 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 87) | R I | 1981 e 2003 | 0,667 | 0,988 | 0,012 | 0,333 | 0,8 | 0,977 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,714 | 0,999 | 0,001 | 0,286 | 0,833 | 0,998 | 0,997 |
| | R II | 1981 e 2003 | 1 | 0,994 | 0,006 | 0 | 0,923 | 1 | 0,995 |
| | | 1981 a 2003 | 1 | 0,988 | 0,012 | 0 | 0,359 | 1 | 0,988 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,667 | 1 | 0 | 0,333 | 1 | 0,977 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,714 | 1 | 0 | 0,286 | 1 | 0,998 | 0,998 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,917 | 0,994 | 0,006 | 0,083 | 0,917 | 0,994 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,929 | 0,991 | 0,009 | 0,071 | 0,406 | 1 | 0,991 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0,966 | 0,967 |
| | | 1981 a 2003 | 0,571 | 1 | 0 | 0,429 | 0,889 | 0,997 | 0,997 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,75 | 0,942 | 0,058 | 0,25 | 0,474 | 0,982 | 0,929 |
| | | 1981 a 2003 | 0,786 | 0,849 | 0,151 | 0,214 | 0,034 | 0,998 | 0,849 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I, que apresentou uma qualidade de ajustamento de 79,0% (R^2_{ajustado}), Tabela 35. Neste modelo, que não é complicado, mais que enunciar todas as suas variáveis parece de relevar antes o princípio global emanado, ou seja, que o modelo é constituído de

variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada para todos os distritos da região, tendencialmente incluindo sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia e maioritariamente recorrendo ao limiar de temperatura de 35°C, sucedendo que, embora para o distrito de Santarém apareça apenas no modelo a variável STAG 35(t), para os restantes distritos a modelo incluiu ainda as variáveis STAG 32 (t-1) facto que se relaciona de perto com o modelo ÍCARO 1999 original.

Pela análise da Figura 33, pode verificar-se o ajustamento do modelo ensaiado às grandes ondas de calor. O modelo parece prever apreciavelmente bem o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1991 e 2003, e se bem que tenha alguma dificuldade em ajustar a mortalidade extrema observada na onda de calor de 1981, assinala claramente o evento.

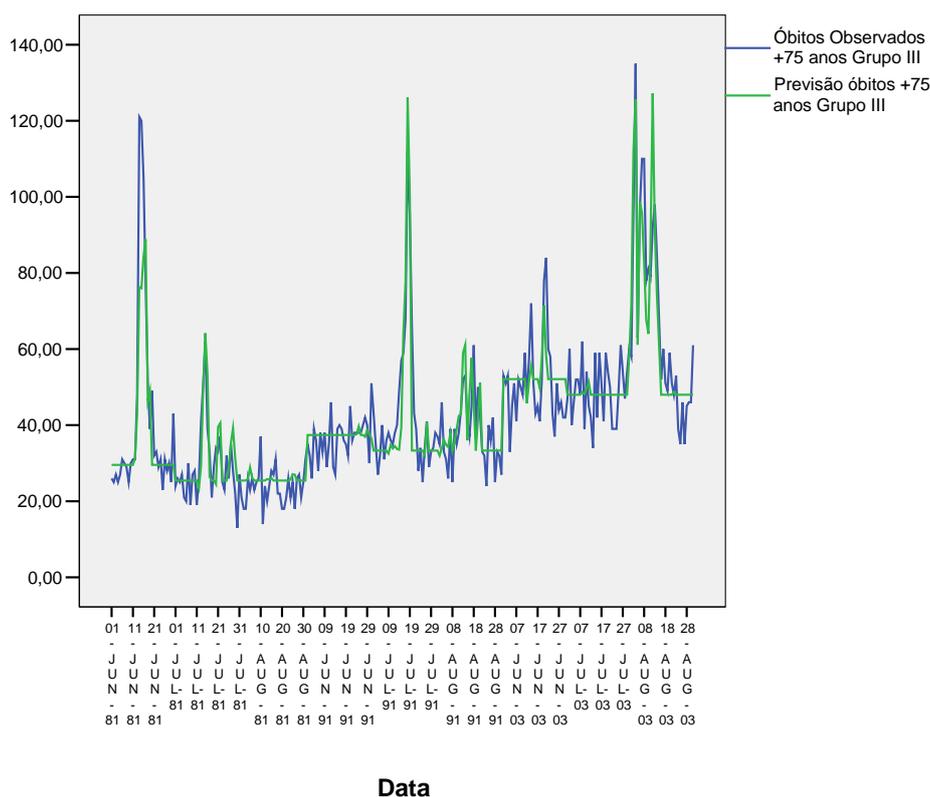


Figura 33: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo III, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003

3.3.4.4 Grupo IV

Uma resenha breve e possível para os modelos obtidos para o Grupo IV – Região Interior e Sul – com base nos resultados da Tabela 38, é a seguinte:

- Todos os modelos incluíram temperaturas de pelo menos dois distritos da região, obviamente excepto o modelo R V, onde tal não era possível de acontecer; em particular, o modelo R III incluiu variáveis relativas a temperaturas de todos os distritos da região.
- Todos os modelos incluíram variáveis relativas a sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia.
- Surgiram nos modelos ambos os limiares de temperaturas considerados, 32°C e 35°C, tendo parecido existir alguma predominância do limiar de 35°C.
- A temperatura máxima do ar observada no distrito de Évora (definida em 3.2.2. com de Referência para este Grupo) apareceu significativa apenas em dois modelos: R V (onde era compulsória) e R III.
- **Modelo R I** – Resultou num modelo ligeiramente complexo, com uma qualidade de ajustamento aos dados apreciável (76,3%), apesar de não ter a característica estatística desejável de normalidade dos resíduos ($p=0,012$); incluiu variáveis relativas às temperaturas de 3 dos 5 distritos da região; nele tenderam a predominar variáveis STAG com limiar de 35°C, designadamente variáveis STAG associadas ao dia anterior;
- **Modelo R II** – Traduz-se num modelo mais simples que o modelo R I (o que era à priori expectável mas, como já vimos, nem sempre aconteceu), apresentando uma qualidade explicativa apreciável (84,8%) e a característica estatística desejável de normalidade dos respectivos resíduos ($p>0,20$); incluiu variáveis relativas às temperaturas de 3 dos 5 distritos da região, nele tendendo a predominar variáveis STAG e variáveis associadas ao limiar de 32°C o que não foi regra para esta região e grupo etário; predominaram no entanto variáveis STAG associadas ao dia anterior, o que, ao invés, constitui regra para esta região e grupo etário;
- **Modelo R III** – Revelou-se um modelo relativamente complexo (ligeiramente mais variáveis que o modelo R I), com apreciável

capacidade explicativa (80%), garantindo a característica estatística desejada de ter os respectivos resíduos com distribuição normal ($p > 0,20$). Este modelo conseguiu a proeza de garantir a presença de variáveis relativas às temperaturas máximas de todos os distritos do grupo, constituindo neste aspecto o único modelo a conseguir tal façanha nesta região e grupo etário; essas variáveis foram mais frequentemente associadas ao limiar de 35°C e relativas ao dia anterior;

- **Modelo R IV** – Modelo ligeiramente mais simples que R II, com uma capacidade óptima de explicação dos dados (84,6%) e com a característica estatística desejada de normalidade dos resíduos ($p > 0,20$): reuniu apenas informação relativa a temperaturas de 2 dos 5 distritos da região. Tendo o modelo um reduzido número de variáveis STAG tornou-se difícil aferir as tendências, uma vez que 2 destas variáveis, em 3, são relativas ao dia anterior, apresentando-se na mesma proporção o limiar de 32°C ao contrário do que foi mais comum nesta região e grupo etário;
- **Modelo R V** – Modelo simples, apresentando uma capacidade de explicação apreciavelmente boa (82,1%). Incluiu duas variáveis STAG, uma para o próprio dia e outra para o dia seguinte, sendo cada uma relativa a um dos limiares de temperatura considerados;
- **Modelo R VI** – Resultou num modelo simples, como o mesmo número de variáveis que o modelo R IV. A capacidade de explicação da variação dos dados subjacentes foi relativamente boa (85,1%) tendo também conseguido garantir a normalidade dos resíduos do modelo ($p > 0,20$). Só incluiu variáveis relativas às temperaturas de dois distritos, omitiu variáveis STAG, só tendo considerado variáveis STA e EXC, aliando, no entanto, às variáveis STA relativas ao próprio dia e ao dia anterior a variável EXC relativa ao dia anterior. Apenas o limiar de 35°C foi contemplado neste modelo.

Comparando globalmente os modelos assim obtidos, com as suas respectivas contrapartidas para a mortalidade total (todos os grupos etários), resultaram eles na maioria dos casos menos complexos (com menos variáveis) exceptuando o modelo R I, mas com acréscimo substancial de poder explicativo e maior capacidade de verificar o pressuposto estatístico de normalidade dos resíduos.

Observaram-se algumas mudanças subtis entre os dois enquadramentos, consistindo no ganho de importância das variáveis de sobrecarga térmica (generalizada e não generalizada) relativas ao dia anterior e algum ganho de importância do limiar de 35°C como limiar da temperatura máxima no grupo etário mais idoso. No conjunto dos modelos pareceu existir uma certa validação do conhecimento anteriormente adquirido na explicação e compreensão do fenómeno da relação entre calor e mortalidade.

Dos seis modelos em estudo, o que produziu melhores resultados ao nível de qualidade de ajustamento, foi o Modelo VI, o qual explica 85,1% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 38). O Modelo II também teve valores muito semelhantes, explicando 84,8% da variabilidade dos óbitos diários (Tabela 38). Em todos os modelos, com excepção do Modelo I, os resíduos foram considerados como ruído branco, através do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ($p_{K-S} \geq 0,05$). Como já mencionado, os resíduos do modelo R I, não verificaram o pressuposto de normalidade dos respectivos resíduos ($p_{K-S} = 0,012$).

Tabela 38. Coeficientes dos parâmetros para os Modelos do Grupo IV e avaliação da qualidade do ajustamento através do R^2_{Ajustado} e p_{K-S}

| Modelos | Parâmetros | Coef. (B) | Erro | p | IC (B) 95% | | R^2_{Ajustado} | p_{K-S} |
|---|---------------------------------------|-----------|-------|-------|------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| | | | | | L_{INF} | L_{SUP} | | |
| R I | Constante | 17,338 | 0,615 | 0 | 16,128 | 18,548 | 0,763 | 0,012 |
| | Portalegre STAG 35 _(t-1) | 0,237 | 0,128 | 0,066 | -0,016 | 0,489 | | |
| | Iano 1981 | -4,159 | 0,752 | 0 | -5,64 | -2,677 | | |
| | Iano 2003 | 4,064 | 0,781 | 0 | 2,526 | 5,602 | | |
| | Portalegre STAG 35 _(t) | 0,377 | 0,076 | 0 | 0,227 | 0,526 | | |
| | Imês Junho | 2,712 | 0,669 | 0 | 1,394 | 4,029 | | |
| | Faro STAG 32 _(t-1) | 0,207 | 0,068 | 0,003 | 0,073 | 0,341 | | |
| | Faro STAG 32 _(t) | -0,169 | 0,076 | 0,028 | -0,319 | -0,018 | | |
| Castelo Branco STAG 35 _(t-1) | 0,155 | 0,074 | 0,038 | 0,009 | 0,302 | | | |
| R II | Constante | 21,216 | 0,564 | 0 | 20,104 | 22,328 | 0,848 | |
| | Iano1981 | -8,794 | 0,658 | 0 | -10,093 | -7,496 | | |
| | Beja STAG35 _(t-1) | 0,184 | 0,037 | 0 | 0,112 | 0,257 | | |
| | Imês Junho | 2,583 | 0,69 | 0 | 1,222 | 3,945 | | |
| | Portalegre STAG32 _(t-1) | 0,261 | 0,037 | 0 | 0,189 | 0,333 | | |
| | Faro STAG32 _(t) | -0,289 | 0,077 | 0 | -0,441 | -0,136 | | |
| | Faro STAG32 _(t-1) | 0,175 | 0,063 | 0,006 | 0,05 | 0,3 | | |
| R III | Constante | 16,541 | 0,642 | 0 | 15,276 | 17,806 | 0,8 | 0,2 |
| | Iano 1981 | -4,422 | 0,744 | 0 | -5,887 | -2,958 | | |
| | Iano 2003 | 4,934 | 0,781 | 0 | 3,396 | 6,473 | | |
| | Beja STA35 _(t-1) | 0,313 | 0,06 | 0 | 0,194 | 0,432 | | |
| | Faro STA32 _(t) | -0,258 | 0,081 | 0,002 | -0,417 | -0,1 | | |
| | Imês Junho | 2,523 | 0,628 | 0 | 1,286 | 3,76 | | |
| | Portalegre STAG35 _(t) | 0,324 | 0,064 | 0 | 0,198 | 0,449 | | |
| | Beja STAG35 _(t-1) | -0,082 | 0,023 | 0 | -0,127 | -0,037 | | |
| | Faro STAG32 _(t-1) | 0,164 | 0,067 | 0,014 | 0,033 | 0,295 | | |
| | Évora STA35 _(t-1) | -0,148 | 0,07 | 0,034 | -0,285 | -0,011 | | |
| Castelo Branco STA32 _(t-1) | 0,147 | 0,031 | 0 | 0,086 | 0,209 | | | |
| R IV | Constante | 21,3 | 0,563 | 0 | 20,189 | 22,41 | 0,846 | 0,2 |
| | Iano 1981 | -8,566 | 0,659 | 0 | -9,867 | -7,265 | | |
| | Portalegre STA32 _(t) | 0,192 | 0,038 | 0 | 0,118 | 0,267 | | |
| | Imês Junho | 2,698 | 0,692 | 0 | 1,332 | 4,063 | | |
| | Portalegre STA32 _(t-1) | 0,182 | 0,038 | 0 | 0,107 | 0,257 | | |
| | Faro STA35 _(t-1) | 1,144 | 0,455 | 0,013 | 0,245 | 2,042 | | |
| R V | Constante | 21,415 | 0,61 | 0 | 20,212 | 22,619 | 0,821 | 0,2 |
| | Évora STA35 _(t) | 0,248 | 0,046 | 0 | 0,157 | 0,339 | | |
| | Iano 1981 | -8,534 | 0,712 | 0 | -9,939 | -7,129 | | |
| | Évora STA32 _(t-1) | 0,16 | 0,027 | 0 | 0,106 | 0,214 | | |
| | Imês Junho | 2,572 | 0,747 | 0,001 | 1,098 | 4,045 | | |
| R VI | Constante | 21,637 | 0,548 | 0 | 20,556 | 22,719 | 0,851 | 0,2 |
| | Portalegre STA35 _(t-1) | 0,269 | 0,076 | 0 | 0,12 | 0,418 | | |
| | Iano1981 | -9,06 | 0,663 | 0 | -10,369 | -7,751 | | |
| | Imês Junho | 2,442 | 0,682 | 0 | 1,097 | 3,787 | | |
| | Castelo Branco EXC35 _(t-1) | 1,694 | 0,308 | 0 | 1,086 | 2,301 | | |
| | Portalegre STA35 _(t) | 0,283 | 0,073 | 0 | 0,14 | 0,426 | | |

Coef. (B) - coeficientes dos parâmetros no modelo de regressão linear múltipla;

p - nível de significância dos coeficientes;

IC (B) 95% - Intervalo de confiança 95% para os coeficientes dos parâmetros (L_{INF} - limite inferior do intervalo; L_{SUP} - limite superior do intervalo);

R^2_{Ajustado} - Coeficiente de determinação ajustado;

p_{K-S} - valor de prova, teste Kolmogorov-Smirnov;

STAG 32_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia t ;

STAG 32_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 32°C até ao dia $t-1$;

STAG 35_(t) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia t ;

STAG 35_(t-1) - Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acima de 35°C até ao dia $t-1$;

Iano - variável indicadora do ano; **Imês** - variável indicadora do mês.

Das medidas da qualidade dos modelos para os dois níveis de ocorrência considerados (L1=35 e L2=47), na Tabela 39, verificou-se o seguinte:

Da análise da especificidade, quando considerado o limite L1, os resultados para os Modelos R I, R II e R III, foram iguais (100%), nos anos de 1981 e 2003, enquanto para todos os anos de 1981 a 2003, o Modelo R I (99,8%) teve melhor especificidade do que os Modelos R II (96,4%) e R III (99,7%). Quando considerado o limite L2, os Modelos R I e R IV apresentaram resultados muito semelhantes em termos de especificidade.

Globalmente todos os modelos deste Grupo IV e deste grupo etário apresentaram ótimos valores de especificidade, taxas de falsos positivos, valores preditivos positivos e probabilidade de decisão correcta.

No que respeita à probabilidade de decisão correcta, relativamente ao limite de ocorrência 1 (L1), o conjunto dos Modelos R I, R III e R V tiveram o valor mais elevado (99,1%) no período global de 1981 a 2003; no que respeitou ao limite de ocorrência 2 (L2), o modelo que mostrou melhores resultados, no mesmo conjunto de 24 anos, foi o Modelo R IV (99,8%), seguido do conjunto dos modelos R I, R III e R V (90,7%), sendo a diferença muito ténue.

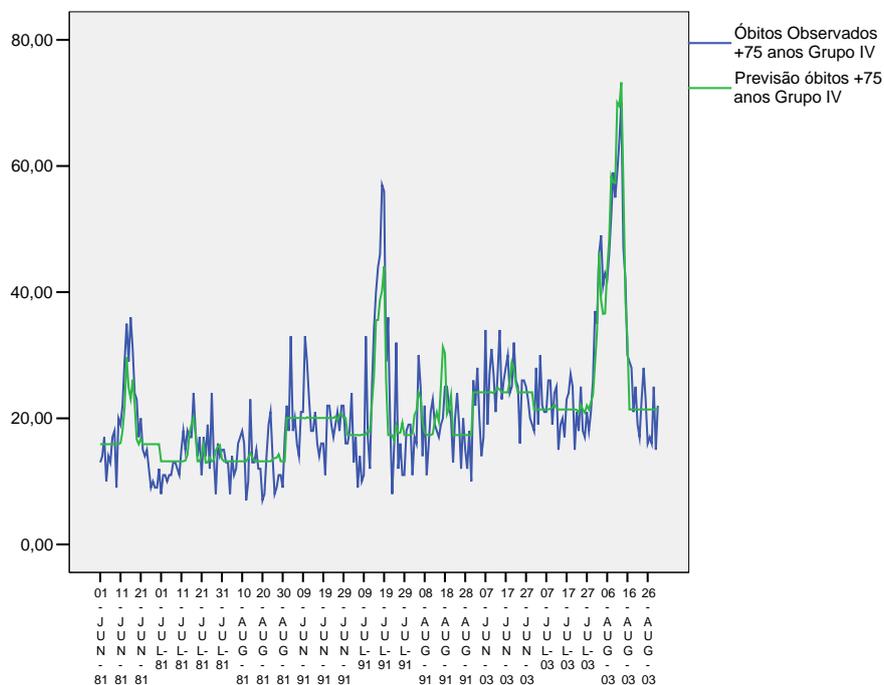
Tabela 39. Avaliação da qualidade do ajustamento para o Modelo do Grupo IV, através da sensibilidade, especificidade e valores preditivos

| Limites | Modelo | Anos | Sensibilidade | Especificidade | Falsos + | Falsos - | Valor Preditivo + | Valores Preditivo - | Prob. Correcto |
|--------------------------|--------|-------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------------|----------------|
| OCORRÊNCIA 1 (L1= 35) | R I | 1981 e 2003 | 0,875 | 1 | 0 | 0,125 | 1 | 0,988 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,588 | 0,998 | 0,002 | 0,412 | 0,833 | 0,993 | 0,991 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,875 | 1 | 0 | 0,125 | 1 | 0,988 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,735 | 0,964 | 0,036 | 0,265 | 0,25 | 0,996 | 0,96 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,875 | 1 | 0 | 0,125 | 1 | 0,988 | 0,989 |
| | | 1981 a 2003 | 0,618 | 0,997 | 0,003 | 0,382 | 0,75 | 0,994 | 0,991 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,994 | 0,006 | 0,125 | 0,933 | 0,988 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,676 | 0,993 | 0,007 | 0,324 | 0,622 | 0,995 | 0,988 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,994 | 0,006 | 0,125 | 0,933 | 0,988 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,588 | 0,997 | 0,003 | 0,412 | 0,769 | 0,993 | 0,991 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,875 | 0,994 | 0,006 | 0,125 | 0,933 | 0,988 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,618 | 0,98 | 0,02 | 0,382 | 0,333 | 0,994 | 0,974 |
| OCORRÊNCIA 2 (L2= 47) | R I | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,989 | 0,011 | 0,143 | 0,75 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,998 | 0,002 | 0,333 | 0,6 | 0,999 | 0,997 |
| | R II | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,989 | 0,011 | 0,143 | 0,75 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,889 | 0,982 | 0,018 | 0,111 | 0,178 | 1 | 0,982 |
| | R III | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,983 | 0,017 | 0,143 | 0,667 | 0,994 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,889 | 0,997 | 0,003 | 0,111 | 0,571 | 1 | 0,997 |
| | R IV | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,983 | 0,017 | 0,143 | 0,667 | 0,994 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,889 | 0,998 | 0,002 | 0,111 | 0,667 | 1 | 0,998 |
| | R V | 1981 e 2003 | 0,714 | 0,989 | 0,011 | 0,286 | 0,714 | 0,989 | 0,978 |
| | | 1981 a 2003 | 0,556 | 0,999 | 0,001 | 0,444 | 0,625 | 0,998 | 0,997 |
| | R VI | 1981 e 2003 | 0,857 | 0,989 | 0,011 | 0,143 | 0,75 | 0,994 | 0,984 |
| | | 1981 a 2003 | 0,667 | 0,984 | 0,016 | 0,333 | 0,15 | 0,999 | 0,983 |

Como definido à partida opta-se, para efeitos implementação e de ensaio em âmbito de vigilância de ondas de calor, por usar o Modelo R I, que apresenta uma qualidade de ajustamento de 76,3% (R^2_{Ajustado}), Tabela 38. Neste modelo, que não é particularmente simples, mais que enunciar todas as suas variáveis, parece de relevar antes o princípio global: o modelo é constituído por variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada para 3 (Castelo Branco, Faro e Portalegre) dos 5 distritos da região, tendencialmente incluindo sobrecargas térmicas do dia anterior e do próprio dia e maioritariamente recorrendo ao limiar de temperatura de 35°C, com excepção do distrito de Castelo Branco, para o qual só apareceu no modelo a variável STAG 35(t-1), e do distrito de Faro, para o qual o único limiar que se lhe associou foi o de 32°C.

Pela observação da Figura 34, pode verificar-se o ajustamento do modelo ensaiado às grandes ondas de calor. O modelo parece prever razoavelmente o excesso de óbitos nas ondas de calor de 1981, 1991 e 2003, talvez subestimando

um pouco o impacto das ondas de 1981 e 1991, e com uma aderência muito boa ao observado na grande onda de calor de 2003. Indubitavelmente o modelo assinala bem as ocorrências de excesso de mortalidade associadas a calor.



Data

Figura 34: Óbitos observados no grupo etário +75 anos e óbitos previstos no grupo etário +75 anos, para o Grupo IV, para os meses de Junho a Agosto nos anos de 1981, 1991 e 2003

3.3.5. *Discussão e conclusões*

A obtenção de um conjunto de regiões ou grupos de distritos não foi complicada, mas não surgiu como um processo imediato. Definiram-se quatro regiões que não coincidem com divisões territoriais administrativas usualmente usadas, mas que dividiram o país (Portugal Continental) aproximadamente entre norte e sul, e litoral e interior. Esta divisão é consentânea com a distribuição geográfica dos impactos das ondas de calor de 1981, 1991 e 2003 e correspondem, grosso modo aos gradientes Norte-Sul e Oeste-Este dos limiares de impacto do calor descritos na literatura (25).

A definição de uma temperatura de referência, isto é, a utilização da temperatura diária de um único distrito que compunha cada um dos grupos de

distritos (regiões) definidos, oferecia-se, à partida, como uma ideia simples e que parecia apoiada pelos resultados obtidos para os modelos relativos à previsão da mortalidade de Verão do distrito de Lisboa mas era difícil de antever qual seria o seu resultado.

Os resultados obtidos são concludentes, **a utilização de uma temperatura de referência**, neste caso foi usada a temperatura do distrito com maior correlação com as temperaturas dos restantes distritos do grupo, **não resultou** num racional a seguir quando comparado com os resultados obtidos com a introdução simultânea das temperaturas de todos os distritos do respectivo grupo.

De facto **o modelo R V** procurava testar a hipótese da utilização da temperatura de referência e revelou de tanto virtudes como falta destas. Por um lado, **gerou sempre um modelo relativamente mais simples** que os restantes; **mas com o inconveniente de ser quase em regra dos modelos menos explicativos dos testados** (nos grupos II e III foi o modelo menos explicativo, no grupo IV foi o segundo menos explicativo, para o Grupo I foi o terceiro modelo menos explicativo, e **em todos esteve sempre próximo do modelo R I em termos de explicação da variação da mortalidade observada no grupo – R^2 ajustado**). **Nos modelos para o número total de óbitos de cada grupo de distritos o resultado do modelo R V tendeu a ser muito diverso de grupo para grupo.** No Grupo I gerou um modelo simples apenas baseado na variável STAG e no limiar 32°C com características estatísticas desejáveis; no Grupo II gerou um modelo simples reunindo as variáveis STA e STAG e o limiar de 35°C sem as características estatísticas desejáveis; no Grupo IV gerou um modelo simples apenas baseado na variável STA e no limiar de 32°C e também não reuniu as desejáveis características estatísticas; no Grupo III resultou igualmente num modelo simples com um nível explicativo bastante razoável e que, igualmente, não reúne as desejadas características estatísticas, reúne, no entanto, ambas as variáveis STA e STAG, mistura os limiares 32 e 35°C e envolve o próprio dia e o anterior (esta última característica é transversal a todos os Grupos). Ou seja, para o Grupo III obteve-se para este modelo R V um resultado que colige todas as ideias do modelo obtido para o distrito de Lisboa.

Estes resultados relativos ao modelo RV podem resultar da densidade populacional do distrito de que se considerou a temperatura, tal poderia explicar os resultados do grupo III onde a temperatura de referência foi a de Lisboa. Não foi feito o teste para essa hipótese específica. **É de notar porém que os resultados qualitativos do modelo R V são notáveis.** Se se atentar, a título de exemplo, na estimativa de probabilidade de decisão correcta para os limiares de mortalidade L1 e L2 definidos em cada Grupo, para a decisão no conjunto de 23 anos (1981 a 2003), esta está sempre ao nível dos modelos R I e R III. **Se não existissem outros modelos mais explicativos, este modelo R V com recurso a apenas à temperatura de um distrito, conferiria bons resultados para a vigilância das ondas de calor em cada uma das regiões.**

O conjunto de seis modelos testados pretendia a obtenção de múltiplas informações o dificultou a interpretação dos resultados obtidos.

Existiu no entanto uma quantidade sólida de resultados transversais aos quatro Grupos de distritos (regiões):

- **Todos os modelos testados seriam bons modelos para serem usados para efeitos da vigilância das ondas de calor.**
 - Foi **notória a pior probabilidade de decisão correcta para os dois limites de excesso de óbitos definidos para cada Grupo, L1 e L2, estimada a partir dos dados diários de 23 anos:**
 - **No conjunto de toda a mortalidade** (todos os grupos etários),
 - **Para o limite L1 os valores mais baixos foram** 0,940 (R VI), 0,931 (R VI), 0,83 (R VI) e 0,962 (R II) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Para o limite L2 os valores mais baixos foram** 0,971 (R VI), 0,943 (R VI), 0,850 (R VI) e 0,982 (R II) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Na mortalidade do grupo etário mais idoso** (75 ou mais anos de idade),

- **Para o limite L1 os valores mais baixos foram** 0,942 (R VI), 0,917 (R VI), 0,816 (R VI) e 0,960 (R II) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Para o limite L2 os valores mais baixos foram** 0,970 (R VI), 0,941 (R VI), 0,849 (R VI) e 0,982 (R II) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
- Foi **também notória a melhor probabilidade de decisão correcta para os dois limites de excesso de óbitos definidos para cada Grupo**, L1 e L2, estimada a partir dos dados diários de 23 anos:
- **No conjunto de toda a mortalidade** (todos os grupos etários),
 - **Para o limite L1 os valores mais elevados foram** 0,974 (R I), 0,976 (R I + R II), 0,995 (R I) e 0,983 (R III + R VI) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Para o limite L2 os valores mais elevados foram** 0,997 (R III), 0,996 (R V), 0,998 (R I + R V) e 0,996 (R II) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Na mortalidade do grupo etário mais idoso** (75 ou mais anos de idade),
 - **Para o limite L1 os valores mais elevados foram** 0,977 (R I + R III) , 0,991 (R V), 0,994 (R I + R III) e 0,991 (R I + R III + R V) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
 - **Para o limite L2 os valores mais elevados foram** 0,999 (R III), 0,995 (R I + R V), 0,998 (R III) e 0,998 (R IV) para os Grupos I, II, III, IV, respectivamente;
- Estes valores significam que no pior dos casos em níveis de mortalidade moderados associados ao calor existirão no máximo

10 a 15 dias em que não se acerta no respectivo nível e de um a 3 dias em que não se acerta num valor extremo de mortalidade num período de 180 dias de vigilância. Tendo em conta que os dias com estes níveis de mortalidade tenderão a agrupar-se torna-se praticamente impossível deixar passar um período de dois ou três dias de excesso de calor que provoque mortalidade acrescida.

- **Todos os modelos incluíram temperaturas de vários distritos;**
- **Todos os modelos incluíram variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA ou STAG) do dia anterior e do próprio dia;**
- **Todos os modelos consideraram ambos os limiares de temperatura usados de 32 e 35°C;**
- **Todos os modelos apresentaram ótimos valores de especificidade** (próximos ou acima de 0,99);
- **Globalmente⁴³ os modelos apresentam muito bons valores de sensibilidade**, estimada para os dados diários no conjunto de 23 anos (1981 a 2003), sobretudo para valores elevados de mortalidade (limiar L2):
 - **Modelos para todas as idades**
 - Grupo I: 55.6%-66.7%; Grupo II: 66,7%-88,9%; grupo III: 71,4%-100% (neste grupo os valores de sensibilidade também são particularmente bons para o limite L1: 71.4%-85.7%); grupo IV: 57,1%-78,6%);
 - **Modelos o Grupo etário mais idoso**
 - Grupo I: 69.2%-84.6%; Grupo II: 55,6%-99,4%; grupo III: 71,4%-92.9% (neste grupo os valores de sensibilidade

⁴³ Omite-se desta análise o Modelo R V, por se assumir que não é um racional adequado no presente quadro de modelos testados.

também são particularmente bons para o limite L1: 69.0%-93.1%); grupo IV: 66,7%-88,9%);

- Resulta de imediato destes valores que **os modelos para o grupo etário mais idoso** são em regra mais elevados, ou seja, os respectivos modelos **são mais sensíveis para valores elevados de mortalidade associados ao calor.**
- Porque podemos então afirmar que os valores apresentados de sensibilidade são muito bons?
 - Por que nos garantem elevadas probabilidades de detecção de um fenómeno onda de calor que se prolongue por vários dias consecutivos⁴⁴;
 - Acresce ainda que no facto de não detecção de um dia de onda de calor como dia de onda de calor com excesso muito elevado estão incluídas as possibilidades de detecção de dia com excesso de mortalidade ligeiro ou moderado, o que aumenta as probabilidades de detecção do fenómeno de ondas de calor.

⁴⁴ De facto em períodos de ondas de calor existem sempre vários dias consecutivos de temperaturas e mortalidades elevadas.

Assumindo a sensibilidade como a probabilidade p de correcta detecção de um dia de onda de calor; em n dias consecutivos de onda de calor a probabilidade de detectar pelo menos um dos vários dias como de mortalidade extrema será dada por $1 - (1 - p)^n$ quanto maior for o n – número de dias consecutivos de onda de calor – maior é a probabilidade de detectarmos um evento muito importante de mortalidade. Vejamos o seguinte quadro para ilustração numérica.

Tabela rodapé 1. Exemplos numérico de aplicação dos valores de sensibilidade: Probabilidade de detecção de pelo menos um dos dias de onda de calor como um dia de mortalidade muito elevada

| Sensibilidade | | Dias consecutivos de onda de calor | | | | |
|----------------------|------------|---|----------|----------|----------|----------|
| p | 1-p | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0,5 | 0,5 | 0,75 | 0,875 | 0,9375 | 0,96875 | 0,984375 |
| 0,6 | 0,4 | 0,84 | 0,936 | 0,9744 | 0,98976 | 0,995904 |
| 0,7 | 0,3 | 0,91 | 0,973 | 0,9919 | 0,99757 | 0,999271 |
| 0,8 | 0,2 | 0,96 | 0,992 | 0,9984 | 0,99968 | 0,999936 |
| 0,9 | 0,1 | 0,99 | 0,999 | 0,9999 | 0,99999 | 0,999999 |
| 0,95 | 0,05 | 0,9975 | 0,999875 | 0,999994 | 1 | 1 |

- **O modelo R I escolhido *a priori* para implementação e teste em ambiente de vigilância real de ondas de calor apresentou óptima probabilidade de decisão correcta**
 - quer para o limite L1 (0,974; 0,976; 0,975 e 0,981 para os Grupos I, II, III e IV, respectivamente) o que corresponderia no máximo a 3 dias de falha num período de vigilância de 180 dias;
 - quer para o limite L (0,996; 0,991; 0,998 e 0,995 para os Grupos I, II, III e IV, respectivamente) o que corresponderia a menos de um dia de falha num período de vigilância de 180 dias;
- **Se se tivesse optado pelo modelo R III**, hierarquicamente próximo de R I, que acrescenta o recurso às variáveis STA e STAG **os resultados teriam sido completamente semelhantes** dado que as respectivas probabilidades de decisão correcta foram em média uma milésima inferiores o que é completamente negligenciável.

Quando comparados os modelos obtidos para os dois conjuntos de mortalidade considerados, mortalidade total (todas as idades) e mortalidade do grupo etário mais idoso, os resultados não são particularmente discrepantes. O que é em parte expectável dado que a mortalidade do grupo etário mais idoso é uma parte muito substancial de toda a mortalidade. Foram observadas no entanto algumas nuances que distinguem os modelos para estes dois conjuntos de mortalidade o que significará que existem diferentes vulnerabilidades e ou adaptações ao perigo que constitui a ocorrência de calor, cujo estudo se coloca como um grande desafio dado o reduzido número de óbitos que ocorrem em grupos etários menos idosos.

Nesta comparação pareceu relevante salientar:

- **O ajustamento** – em termos de *R² Ajustado* – **dos modelos aos dados foi em regra mais elevado na mortalidade do grupo etário mais idoso**. Tendo sido observado um acréscimo substancial para o conjunto de distritos do Norte Interior (Grupo I), nos restantes grupos (II, III e IV) existiu sempre (no conjunto global dos modelos) um melhor ajustamento com a região II a mostrar o menor diferencial.

- **Em termos de simplicidade** (menos variáveis no modelo⁴⁵) **os modelos nos dois grupos de mortalidade foram muito semelhantes mostrando alguma tendência para a simplificação no grupo etário mais idoso.** Esta simplificação ou menor complexidade foi notória no grupo I e mais moderada nos grupos II e III. Na região IV este padrão de simplificação não foi observado aconteceu mesmo que o modelo R I se mostrou mais complexo para a mortalidade do grupo etário mais idoso. Este facto pode prender-se com o facto a região definida ser particularmente extensa e pouco densa, o que pode representar falta de potência para detectar fenómeno e presença de múltiplos mecanismos distintos entre distritos mais a norte e mais a sul que misturam e tornam os modelos mais difusos.
- **Em termos de estimativas de probabilidade correcta de decisão (valores mais elevados) os modelos nos dois grupos de grupos de mortalidade apresentaram diferenças mínimas, notando-se porém uma tendência de melhores valores (mais elevados) na mortalidade do grupo etário mais idoso,** pareceu fugir um pouco a esta excepção o Grupo II (a região Litoral Norte).
- Transversalmente a todos os Grupos (regiões) definiram-se linhas ténues de diferenças entre os modelos para a mortalidade total e para a mortalidade do grupo etário mais idoso. Pareceu ocorrer ganho de importância das variáveis Sobrecarga Térmica Acumulada (generalizada e não generalizada) relativa ao dia anterior no grupo etário mais idosos; e, papéis distintos para os limiares de temperatura 32°C e 35°C, por exemplo no Grupo IV (região Interior e Sul) foi mais importante o limiar 35°C para modelar a mortalidade do grupo etário mais idoso, por sua vez na Grupo III (Região Litoral Centro, aquela que inclui o distrito de Lisboa) pareceu ganhar importância o limiar de 32°C. Estes resultados talvez se expliquem pelos diferentes níveis de adaptação a temperaturas médias nas regiões e que talvez se devam testar outros níveis de limiares de temperatura para ter oportunidade de esclarecer o significado destas

⁴⁵ Quando a diferença foi de uma variável (a mais ou a menos) considerou-se que os modelos foram de complexidade idêntica.

diferenças entre enquadramentos (mortalidade total vs. Mortalidade grupo etário mais idosos) e regiões.

Tabela 40. Resumo das características dos modelos regionais testados para a mortalidade total (todos os grupos etários)

| Características | | Grupo I | Grupo II | Grupo III | Grupo IV | |
|--|----|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Todos os modelos incluíram temperaturas de vários distritos | | ≥ 2 | ≥ 3 | 3 | ≥ 2 | |
| Todos os modelos incluíram variáveis STA ou STAG do dia anterior e do próprio dia | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Todos os modelos incluíram os limiares de 32°C e 35°C | | ✓ Predomínio 32°C | ✓ Predomínio 35°C | ✓ = | ✓ = | |
| Todos os modelos apresentaram valores elevados de especificidade | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Todos os modelos apresentaram valores óptimos de sensibilidade (para o limite de previsão mais elevado L2) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Probabilidade de decisão correcta | L1 | R I | 0,974 | 0,976 | 0,995 | 0,981 |
| | | R III | 0,97 | 0,975 | 0,991 | 0,983 |
| | L2 | R I | 0,996 | 0,992 | 0,998 | 0,995 |
| | | R III | 0,997 | 0,99 | 0,997 | 0,994 |
| Probabilidade de decisão correcta (valor mais baixo) | L1 | Prob modelo | 0,94 R VI | 0,931 R VI | 0,83 R VI | 0,963 R II |
| | | Prob modelo | 0,971 R VI | 0,943 R VI | 0,85 R VI | 0,982 R II |
| | L2 | Prob modelo | 0,974 R I | 0,976 R I + R II | 0,995 R I | 0,983 R III + R VI |
| | | Prob modelo | 0,997 R III | 0,996 R V | 0,998 R I + R V | 0,996 R V |

Tabela 41. Resumo das características dos modelos regionais testados para a mortalidade total (Grupo etário 75 ou mais anos)

| Características | | Grupo I | Grupo II | Grupo III | Grupo IV | |
|--|----|----------------------|----------------------|-------------|--------------------|-------|
| Todos os modelos incluíram temperaturas de vários distritos | | ≥ 2 | ≥ 3 | 3 | ≥ 2 | |
| Todos os modelos incluíram variáveis STA ou STAG do dia anterior e do próprio dia | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Todos os modelos incluíram os limiares de 32°C e 35°C | | ✓ Predomínio 32°C | ✓ Predomínio 35°C | ✓ = | ✓ = | |
| Todos os modelos apresentaram valores elevados de especificidade | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Todos os modelos apresentaram valores óptimos de sensibilidade (para o limite de previsão mais elevado L2) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Probabilidade de decisão correcta | L1 | R I | 0,977 | 0,987 | 0,994 | 0,991 |
| | | R III | 0,977 | 0,986 | 0,994 | 0,991 |
| | L2 | R I | 0,997 | 0,995 | 0,997 | 0,997 |
| | | R III | 0,999 | 0,993 | 0,998 | 0,997 |
| Probabilidade de decisão correcta (valor mais baixo) | L1 | Prob modelo | 0,942 | 0,917 | 0,816 | 0,96 |
| | | R VI | R VI | R VI | R VI | R II |
| | L2 | Prob modelo | 0,97 | 0,941 | 0,849 | 0,982 |
| | | R VI | R VI | R VI | R VI | R II |
| Probabilidade de decisão correcta (valor mais elevado) | L1 | Prob modelo | 0,977 | 0,991 | 0,994 | 0,991 |
| | | R I | R V | R I + R III | R I + R III + R VI | |
| | L2 | Prob modelo | 0,999 | 0,995 | 0,998 | 0,998 |
| | | R III | RI + R V | R III | R IV | |

É de notar que para todos os grupos de distritos (regiões) definidos e em termos qualitativos, cálculo da probabilidade de decisão correcta (para os limiares de mortalidade L1 e L2), surgiram os modelos R I e RIII como melhores neste critério. O modelo R V mostrou-se uma opção igualmente viável nos Grupos II e IV.

Estes factos apoiam a opção feita *a priori* de escolher para teste do Sistema de Vigilância de Ondas de Calor o modelo R I.

Existe a possibilidade de os modelos RI e RIII surgirem como melhores porque incluem mais informação, e informação da onda de calor de 1991. Esta informação foi omitida nos outros modelos testados para verificar se usando apenas dados de grandes ondas de calor emergia alguma diferença substancial. Tal não aconteceu.

É interessante que o modelo R V, que também não incluiu informação da onda de calor de 1991, depois na avaliação global para todos os anos revele uma boa resposta. Pode isto significar que a escolha de uma temperatura de referência, com o critério usado, terá aspectos positivos como este de ser mais sensível a fenómenos moderados de ondas de calor.

Parece ser relevante dar-se mais importância à capacidade dos modelos detectarem níveis de mortalidade moderada e severamente elevados no conjunto de 8400 dias, do que às qualidades estatísticas de modelos que se baseiam em dados que não excedem um conjunto total 300 dias.

3.4 Construção de um Índice-ÍCARO Nacional e definição de um sistema nacional de vigilância de ondas de calor

3.4.1. Construção e definição do Índice-ÍCARO

3.4.1.1 Definição do Índice-ÍCARO

Em 1998, na sequência de investigação realizada no então Observatório Nacional de Saúde (ONSA) no Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, foi estabelecido um modelo para a relação entre a ocorrência de calor e a mortalidade do distrito de Lisboa cujo principal resultado foi publicado em (36). Como descrito acima na secção 3.2.2. , este modelo partiu da modelação da mortalidade do ano inteiro, o que exigiu então o uso de técnicas de séries temporais. Como se descreveu em (75) este modelo pode ser simplificado quando restringida a análise ao período de Maio a Setembro, período em que a mortalidade (quer ao nível nacional quer ao nível do distrito de Lisboa) é um processo estacionário⁴⁶ passível de ser modelado usando modelos de regressão linear.

Do ponto de vista prático, pareceu fundamental na altura considerar o modelo como possuindo na sua essência duas componentes. Uma componente centrada no efeito provocado pelo excesso de calor no processo de óbitos e a outra centrada na estrutura corrente do processo de óbitos (que se podia estimar com os dados da mortalidade dos anos mais recentes).

Existem duas estimativas possíveis do número de óbitos: o número de óbitos esperados sem o efeito do calor (estimado pelo processo conhecido) e o número de óbitos esperados com o efeito do calor. A partir destas duas estimativas definiu-se o Índice-ÍCARO:

⁴⁶ Isto é, o processo de óbitos segue aproximadamente uma distribuição Normal com valor médio e variância estáveis ao longo do tempo.

$$\text{Índice ÍCARO} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de óbitos esperados com o efeito do calor}}{\text{N}^\circ \text{ de óbitos esperados sem o efeito do calor}} - 1$$

No numerador da fracção deste índice, o número de óbitos esperados com o efeito do calor é o número de óbitos estimado pelo modelo da relação temperatura-mortalidade a partir das temperaturas observadas e previstas (pelo Instituto de Meteorologia). No denominador fica o número médio de óbitos esperados durante o Verão na ausência de ondas de calor, como foi descrito acima.

Assim, este índice pode ser também interpretado como o incremento estimado de óbitos devido a efeitos do calor, ponderado pelo número médio de óbitos esperados quando não existe efeito do calor.

O Índice está delineado para que seja zero sempre que não exista qualquer previsão de efeito do calor na mortalidade.

Para exemplificar o comportamento do Índice Ícaro e facilitar a sua discussão utilizaram-se os dados da mortalidade de 1981 e de 1991, obtidos a partir da base de dados da mortalidade do Instituto Nacional de Estatística, de Maio a Setembro, e as respectivas temperaturas.

Para aferir a aderência do índice, e, conseqüentemente, do modelo, aos dados de mortalidade observados, apresenta-se o Índice-ÍCARO calculado retrospectivamente durante cada uma das ondas de calor e também o Índice-ÍCARO-Real.

O Índice-ÍCARO-Real é calculado com a fórmula do Índice Ícaro, usando o número de óbitos observados em cada dia em vez das respectivas estimativas obtidas através do modelo.

As Figura 35 e Figura 36 apresentam o Índice-ÍCARO tal como ele foi implementado em 1999 e tal como ele teria sido calculado diariamente, quer durante a onda de calor de 1981 (Figura 35), quer durante a onda de calor de 1991 (Figura 36). Incluem-se também dois traçados, um superior e outro inferior, correspondentes aos limites de 95% de confiança para o processo de

mortes sem efeitos de onda de calor, acrescentando-se em cada caso o valor do Índice-ÍCARO-Real.

É visível que o índice-ÍCARO 1999 se adaptava bem à onda de calor de 1981, funcionando adequadamente tanto na sua detecção como na determinação da sua amplitude. Em Julho, existe um pequeno excesso de mortalidade que é antecipado pelo índice, mas sobrestimado. Existem ainda duas pequenas perturbações em Julho que não pareceram ter correspondência em termos de óbitos.

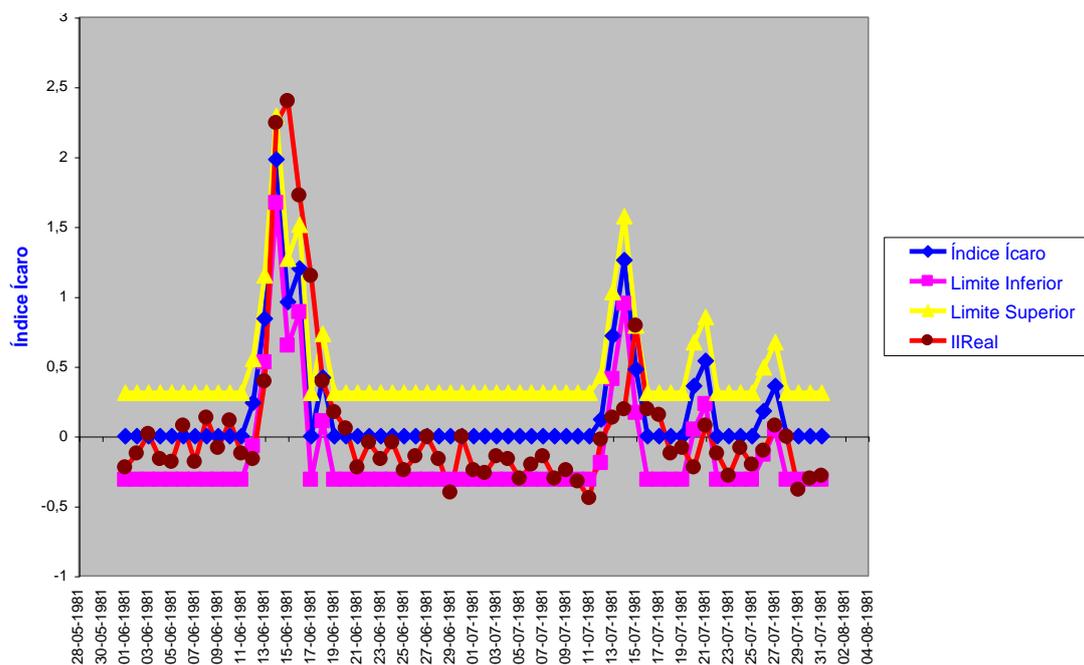


Figura 35. Comparação da previsão do modelo ÍCARO 1999 com o Índice-ÍCARO real observado para o período da onda de calor de 1981

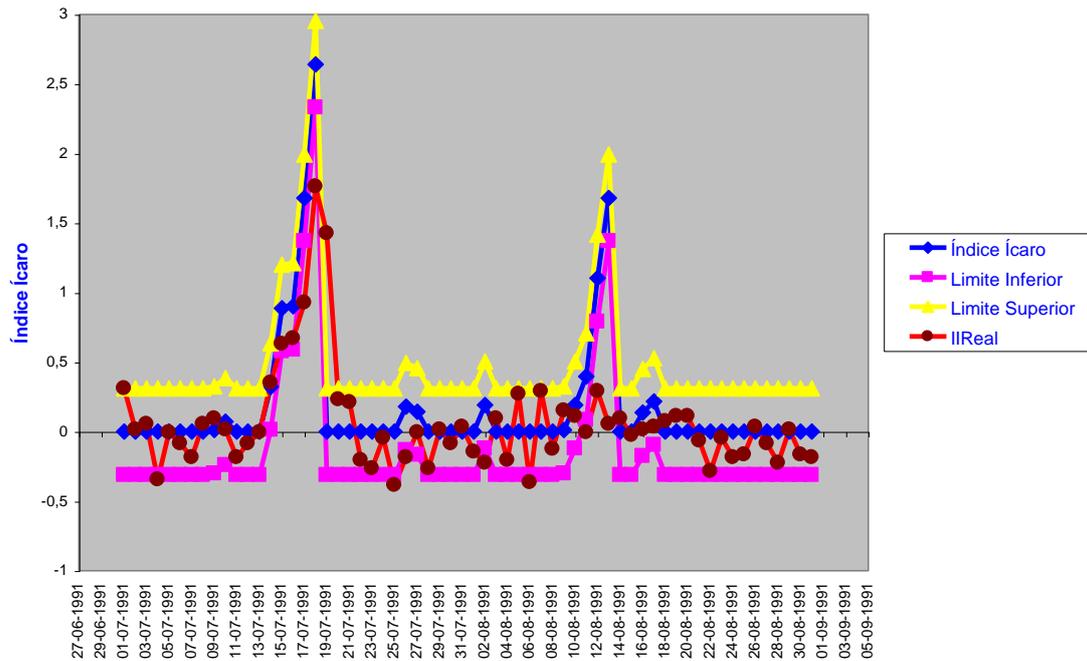


Figura 36. Comparação da previsão do modelo ÍCARO 1999 com o Índice-ÍCARO real observado para o período da onda de calor de 1991

Em 1991 existiu uma onda de calor em Julho, a qual o índice-ÍCARO 1999 detectou, mas sobrestimando a sua severidade. De facto, o índice aponta para valores semelhantes aos verificados em Junho de 1981, mas não se verificaram esses níveis em termos de óbitos. Existe um claro falso alarme em Agosto de 1991, onde o número de óbitos observados não acompanhou o previsto pelo modelo ÍCARO 1999. Este tipo de situação esteve na origem de grande parte da investigação sobre os modelos de previsão que se apresenta ao longo desta tese.

3.4.1.2 Propriedades de um Índice-ÍCARO

O índice-ÍCARO foi originariamente proposto numa base *ad-hoc*, com o intuito de fazer circular informação entre as partes envolvidas na decisão das acções a tomar no âmbito da vigilância das ondas de calor sem veicular números de excesso de mortes previstas. Como tal, não existiu desde logo uma definição das respectivas propriedades: todas as definições originais foram empíricas. Tenta-se agora fundamentar essas ideias.

Atendendo à definição de um Índice ÍCARO,

$$\Delta = \frac{O}{E} - 1 = \frac{O - E}{E}$$

Podemos fazer as seguintes afirmações

1. **A soma de dois Índices Ícaro não é um índice-ÍCARO;**
2. **A média de dois índices-ÍCARO é um índice-ÍCARO;**
3. **A multiplicação da soma de índices-ÍCARO pelo número médio de óbitos**, do processo de mortalidade que lhe dá origem, **resulta na diferença entre óbitos observados e esperados** no período considerado.

Vejamos as respectivas demonstrações:

1. Consideremos dois índices-ÍCARO relativos ao mesmo processo de mortalidade, $\Delta_1 = \frac{O_1}{E} - 1$ e $\Delta_2 = \frac{O_2}{E} - 1$ e procedamos à respectiva soma,

$$\Delta_1 + \Delta_2 = \frac{O_1 - E}{E} + \frac{O_2 - E}{E} = \frac{O_1 + O_2 - 2E}{E} = \frac{O_1 + O_2}{E} - 2$$

Como se observa, a forma final não configura um índice-ÍCARO.

Esta conclusão pode ser generalizada para a soma genérica de Índices-ÍCARO, nos termos seguintes:

$$\sum_{i=1}^k \Delta_i = \sum_{i=1}^k \left(\frac{O_i}{E} - 1 \right) = \frac{\sum_{i=1}^k O_i}{E} - k,$$

cujo resultado, como se vê, que continua a não ter a forma de um índice-ÍCARO, o que prova que a soma de dois índices-ÍCARO não é nunca um índice-ÍCARO.

Este último resultado visto na forma,

$$\sum_{i=1}^k \Delta_i = \frac{\sum_{i=1}^k O_i - kE}{E}$$

Pode ser enunciado como sendo o excesso global de óbitos relativizado para o número de óbitos esperado num único dia.

2. Consideremos a média de dois índices-ÍCARO relativos ao mesmo

processo de mortalidade, $\Delta_1 = \frac{O_1}{E} - 1$ e $\Delta_2 = \frac{O_2}{E} - 1$,

$$\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{\frac{O_1 - E}{E} + \frac{O_2 - E}{E}}{2} = \frac{O_1 + O_2 - 2E}{2E} = \frac{O_1 + O_2}{2E} - 1$$

Esta forma é um Índice-ÍCARO: temos a soma de óbitos de dois dias a dividir pelo número de óbitos esperados em dois dias menos 1.

Também este resultado pode ser generalizado para a média aritmética de Índices-ÍCARO,

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta_i}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \left(\frac{O_i}{E} - 1 \right)}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k O_i}{kE} - \frac{k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k O_i}{kE} - 1$$

Esta forma geral é um índice-ÍCARO, o que prova que a média de dois índices-ÍCARO é um índice-ÍCARO.

3. Esta propriedade resulta de forma directa da definição de índice-ÍCARO e a demonstração é imediata. Vejamos,

$$E \times \sum_{i=1}^k \Delta_i = E \times \sum_{i=1}^k \left(\frac{O_i}{E} - 1 \right) = E \times \frac{\sum_{i=1}^k O_i - kE}{E} = \sum_{i=1}^k O_i - kE = \sum_{i=1}^k (O_i - E).$$

3.4.2. Construção e definição do Sistema de Vigilância de Ondas de Calor (Sistema de Vigilância ÍCARO 1999 – versão original)

Com base nas temperaturas previstas e no respectivo Índice-ÍCARO, passou a ser elaborado diariamente, de Maio a Setembro, com início em 1999, um relatório do Índice-ÍCARO (Figura 37). Neste relatório eram apresentados os elementos considerados pertinentes, que incluíam:

- os vinte e dois valores mais recentes do índice Ícaro, incluindo as previsões para o próprio dia e para os dois dias seguintes, e os traçados correspondendo aos limites de 95% de confiança;
- os traçados basais correspondentes à situação de inexistência de efeitos de calor na mortalidade;
- os valores do Índice Ícaro Real atingidos durante as ondas de calor de 1981 e 1991, que servem como termo de comparação.

Era ainda incluída nesse relatório informação sobre valores para os dez dias mais recentes, nomeadamente o Índice-ÍCARO propriamente dito, os respectivos limites de 95% de confiança e as temperaturas observadas e previstas.

Com base na informação existente para os três últimos dias, respeitantes às previsões, era emitido automaticamente no próprio relatório um comentário consoante a situação em curso e que podia originar procedimentos diversos. As situações previstas são quatro, operacionalizadas através do limite inferior de 95% de confiança para o Índice Ícaro, da seguinte forma:

| | | |
|--|---|---|
| Índice-ÍCARO = 0 | → | Efeito nulo sobre a mortalidade. |
| $0 < \text{Índice-ÍCARO} \leq 0.31$ | → | Efeito não significativo sobre a mortalidade. |
| $0.31 < \text{Índice-ÍCARO} \leq 0.93$ | → | Provável efeito sobre a mortalidade. |
| $0.93 < \text{Índice-ÍCARO} \leq 1,54$ | → | Possível alerta de onda de calor em avaliação ⁴⁷ . |

⁴⁷ Este “em avaliação” foi regulado pela direcção geral da saúde e implica a concertação entre instituições conforme descrito no plano de continência de calor.

Índice-ÍCARO > 1,54 → Alerta de Onda de Calor, esperadas consequências graves em termos de saúde e mortalidade⁴⁸

Estas situações podem ser consideradas como tendo graus de severidade crescente. Assim, diariamente, ao conjunto de previsões para três dias atribui-se a severidade mais elevada prevista.

A informação contida no relatório do Índice ÍCARO é enviada diariamente ao Serviço Nacional de Protecção Civil e à Autoridade Nacional de Saúde (Direcção Geral da Saúde), para decisão sobre eventuais intervenções.

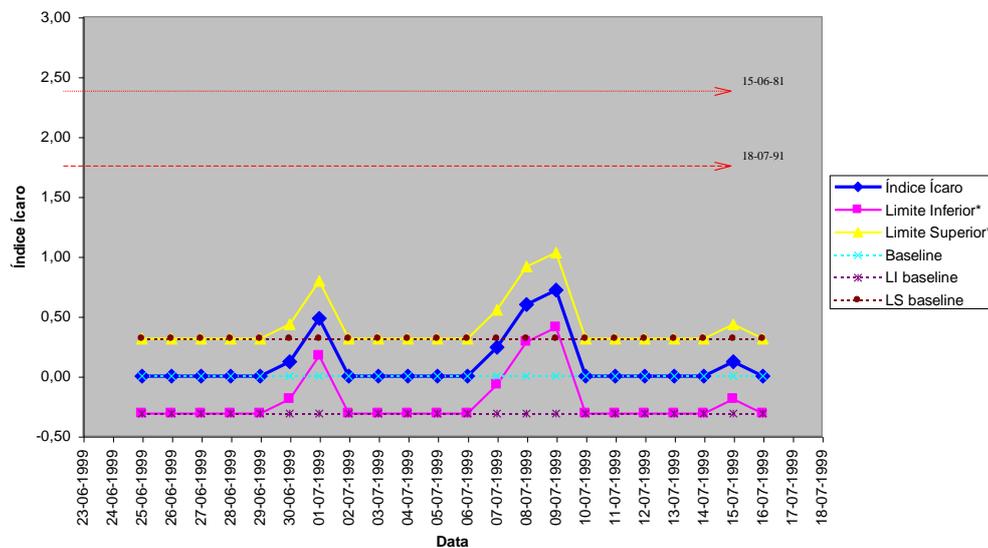
⁴⁸ Este nível só foi estabelecido em 2003, porque antes da grande onda de calor desse ano não existiam observações de Índices-ÍCARO tão elevados.



Índice Ícaro

Índice de efeito do calor na mortalidade

Relatório diário: Quinta-feira, 15 de Julho de 1999



| Data | Índice Ícaro | Limite Inferior* | Limite Superior* | Temp. Máxima (°C) |
|------------|--------------|------------------|------------------|-------------------|
| 07-07-1999 | 0,24 | -0,07 | 0,55 | 36 |
| 08-07-1999 | 0,60 | 0,29 | 0,91 | 37 |
| 09-07-1999 | 0,72 | 0,41 | 1,03 | 36 |
| 10-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 30 |
| 11-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 24 |
| 12-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 24 |
| 13-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 28 |
| 14-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 32 |
| 15-07-1999 | 0,12 | -0,19 | 0,43 | 33 |
| 16-07-1999 | 0,00 | -0,31 | 0,31 | 30 |

COMENTÁRIO - Efeito não significativo sobre a mortalidade, nos próximos 3 dias.

Figura 37. Relatório do índice-ÍCARO do dia 15 de Julho de 1999

3.4.3. A experiência do Índice-ÍCARO 1999

De 1999 a 2006 o sistema de vigilância ÍCARO baseou a sua divulgação de informação diária durante o período de Verão no Índice-ÍCARO 1999. As figuras apresentadas nesta secção (Figura 38 a Figura 47) relacionam os índices-ÍCARO 1999 diários com a respectiva mortalidade observada, esta apresentada em termos relativos (mortalidade observada a dividir pela mortalidade esperada na ausência de ocorrência de calor) para possibilitar a comparação directa.

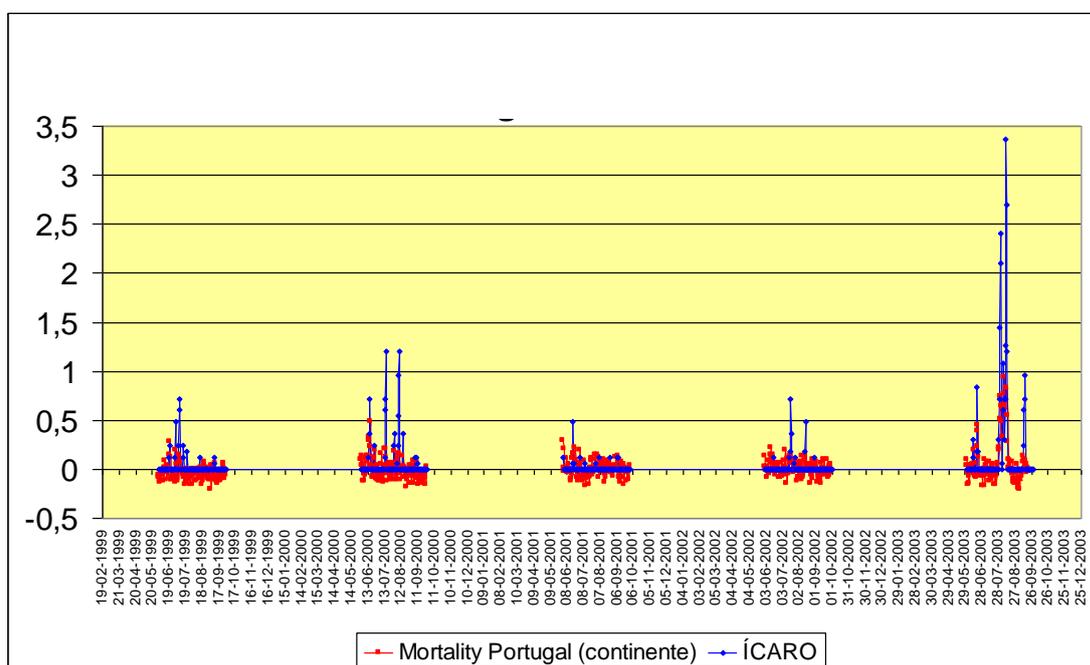


Figura 38. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de Portugal Continental de 1999 a 2003.

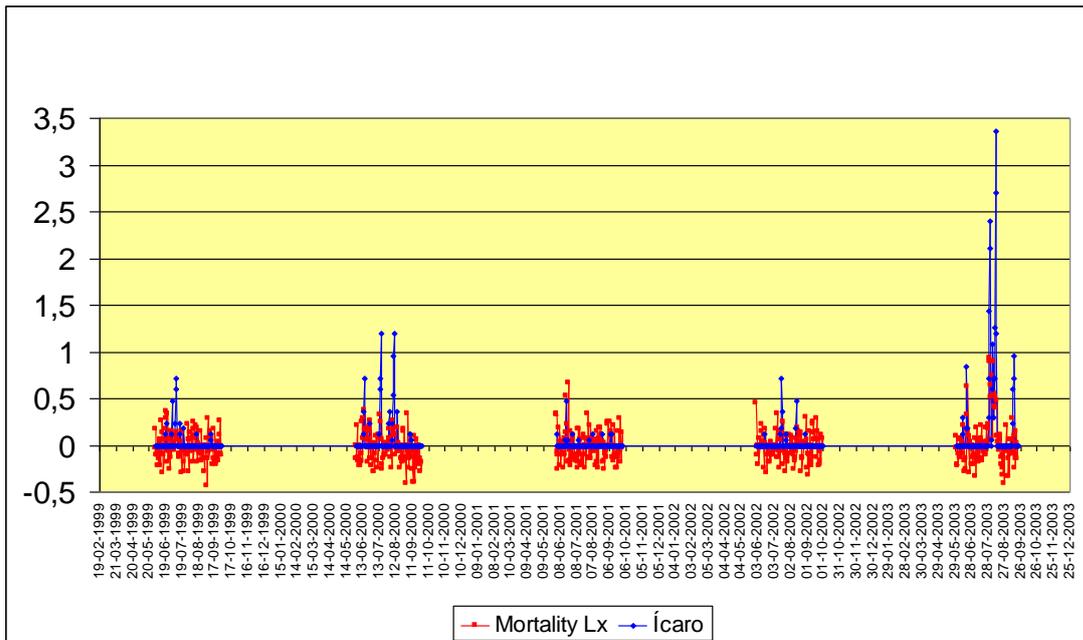


Figura 39. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de do distrito de Lisboa de 1999 a 2003.

As Figura 38 e Figura 39 permitem observar a relação entre os índices-ÍCARO 1999 e as mortalidades em Portugal Continental e do distrito de Lisboa nos 5 primeiros anos de vigilância ÍCARO. No conjunto dos 5 anos, parece existir uma relação mais directa entre Índice-ÍCARO 1999 e a mortalidade do país do que com a do distrito de Lisboa. Este facto surge como contra-intuitivo dado que o modelo ÍCARO subjacente foi estabelecido para os dados de mortalidade do distrito de Lisboa e não para qualquer outro nível. A aparente contradição explica-se pelo facto de a mortalidade total, de Portugal Continental, ter uma variabilidade menor que a mortalidade do distrito.

No ano de 1999 (Figura 40) o Índice-ÍCARO 1999 apresentou alguns valores positivos, tendo chegado a atingir o valor de 0,7 sem que na altura isso fosse percebido como definidor de um alerta. Como se observa na figura, tal não gerou efectivamente níveis elevados ou significativos de mortalidade. Nota-se, no entanto, que a presença de valores positivos do Índice-ÍCARO 1999 é concomitante a alterações na aleatoriedade do processo de mortalidade (por exemplo de 29 de Junho a 11 de Julho de 1999 a mortalidade esteve sempre acima do nível esperado).

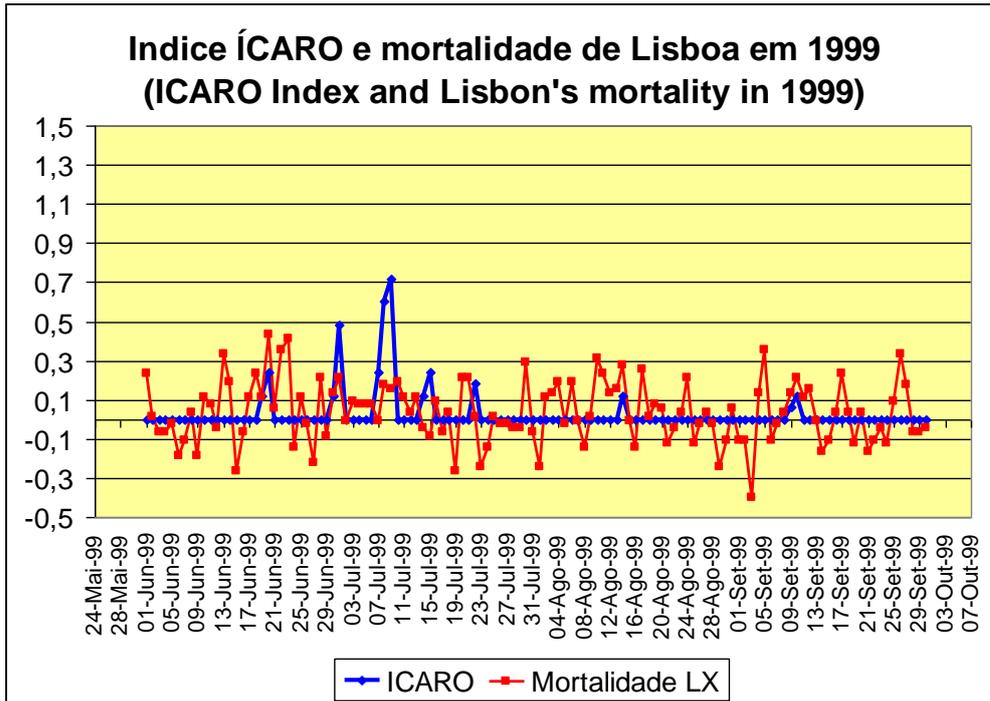


Figura 40. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 1999 (detalhe).

No ano 2000 (Figura 41) foram identificados vários momentos com Índices-ÍCARO 1999 positivos. Em particular em 3 momentos distintos os valores do índice chegaram a ultrapassar os níveis preestabelecidos de alerta (acima do valor 0,93 ou aproximadamente, acima do valor 1). Em 15 de Junho foram feitas previsões do Índice-ÍCARO 1999 (baseadas em previsões de temperatura a 3 dias) que prediziam um risco de onda de calor ao nível do evento de onda de calor de 1991 (Figura 42). Nessa altura, foram feitos esforços pela Autoridade Nacional de Saúde (Direcção Geral da Saúde) para lançar alertas de onda de calor. O primeiro alerta de calor foi efectivamente emitido em Julho de 2000. No ano 2000 as ocorrências de Índices-ÍCARO 1999 positivos apresentaram-se concomitantes a aumentos de mortalidade no distrito de Lisboa sem que estes fossem significativos. Posteriormente, acabou por se verificar que aos picos de Índice-ÍCARO 1999 positivos de Junho e Julho corresponderam picos moderados de mortalidade ao nível nacional, com o primeiro pico a ser o mais relevante (Figura 43).

O episódio de índices-ÍCARO 1999 positivos a 15 de Junho de 2000, para além de quase ter estado na base do primeiro alerta de onda de calor em Portugal, constituiu um evento de particular importância para o futuro do sistema.

Efectivamente no dia 15 de Julho de 2000 as temperaturas observadas e previstas a 3 dias indiciavam índices-ÍCARO 1999 positivos que representavam, para o conhecimento disponível, nível de alerta. Porém, no dia seguinte os índices-ÍCARO 1999 previstos eram zero. A explicação consistia na alteração das condições climáticas de Lisboa. Verificou-se em 2004, quando os respectivos dados de mortalidade ficaram disponíveis, que existiram um excesso significativo de mortalidade nesses 3 dias (15 a 17 de Junho de 2007) a nível nacional (Figura 43), mas efectivamente sem correspondência a nível do distrito de Lisboa.

Este evento mostrou que era preciso estabelecer um sistema de vigilância que captasse as diferenças regionais, para as quais um modelo baseado nas condições climáticas de Lisboa não podia dar resposta.

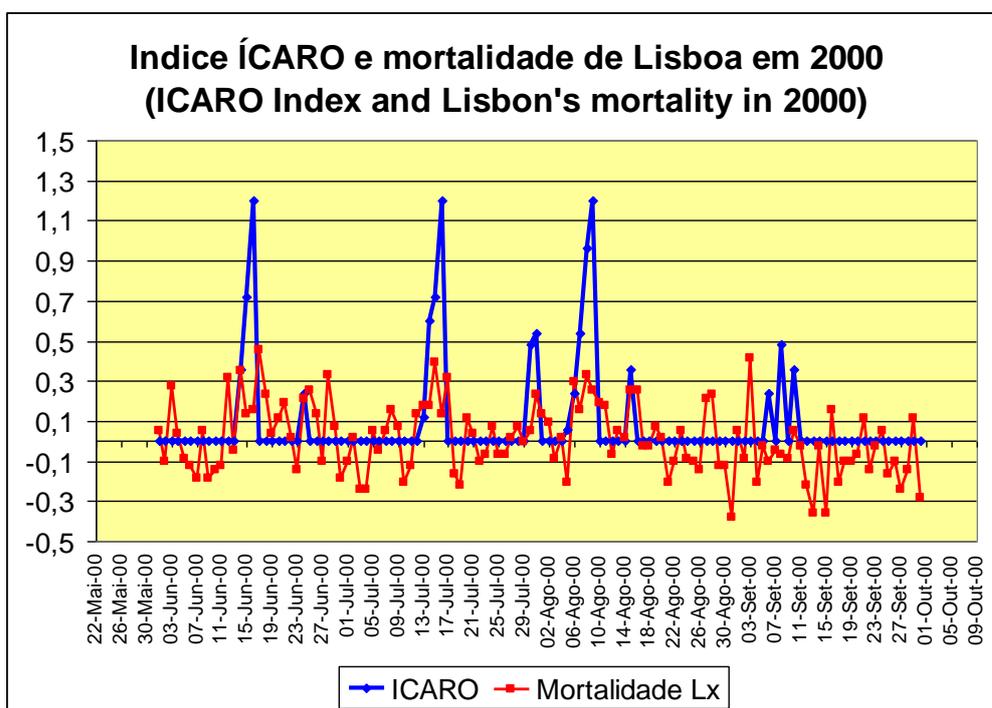


Figura 41. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2000 (detalhe).

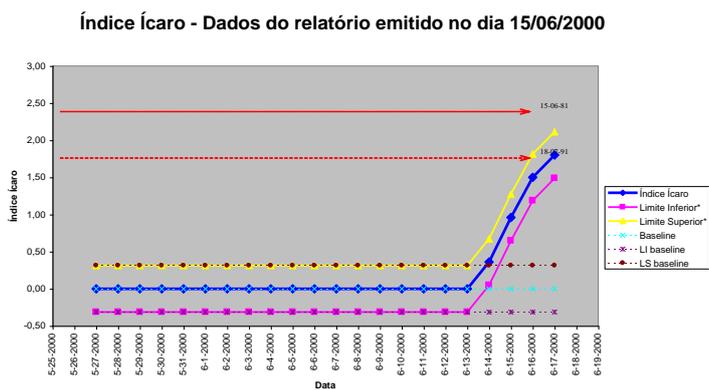


Figura 42. Reprodução do boletim ÍCARO emitido no dia 15 de Julho de 2000 e Detalhe gráfico dos valores do índice previstos nesse dia

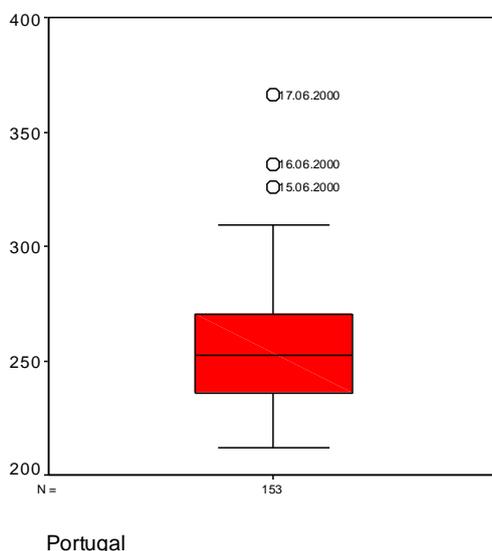


Figura 43. Representação em caixa-de-bigodes da distribuição da mortalidade diária em Portugal no Verão de 2000

No ano de 2001 (Figura 44) ocorreu alguma movimentação nos meios de comunicação e da saúde em torno da questão do calor no mês de Maio, tendo-se assistido a uma percepção de calor durante esse mês, mas que não foi captada pelo sistema de vigilância ÍCARO, pois o respectivo modelo tinha como temperatura limiar 32°C e as temperaturas desse mês, apesar de se situarem acima de 30°C, não excederam aquele limiar. Verificou-se posteriormente que houve algum excesso de mortalidade a nível nacional. Em geral, no ano de 2001

não existiram índices-ÍCARO 1999 elevados nem em grande número. O valor mais relevante foi observado a 18 de Junho, com o nível de mortalidade do distrito de Lisboa a mostrar um acréscimo compatível, talvez não completamente acompanhado pelo Índice. Os restantes índices positivos foram reduzidos e continuaram a dar a sensação que a sua ocorrência é concomitante a perturbação observável no processo de mortalidade.

No ano de 2002 (Figura 45) não existiram situações de Índices-ÍCARO 1999 invulgares. A situação observada foi muito semelhante com a vigilância do ano de 1999.

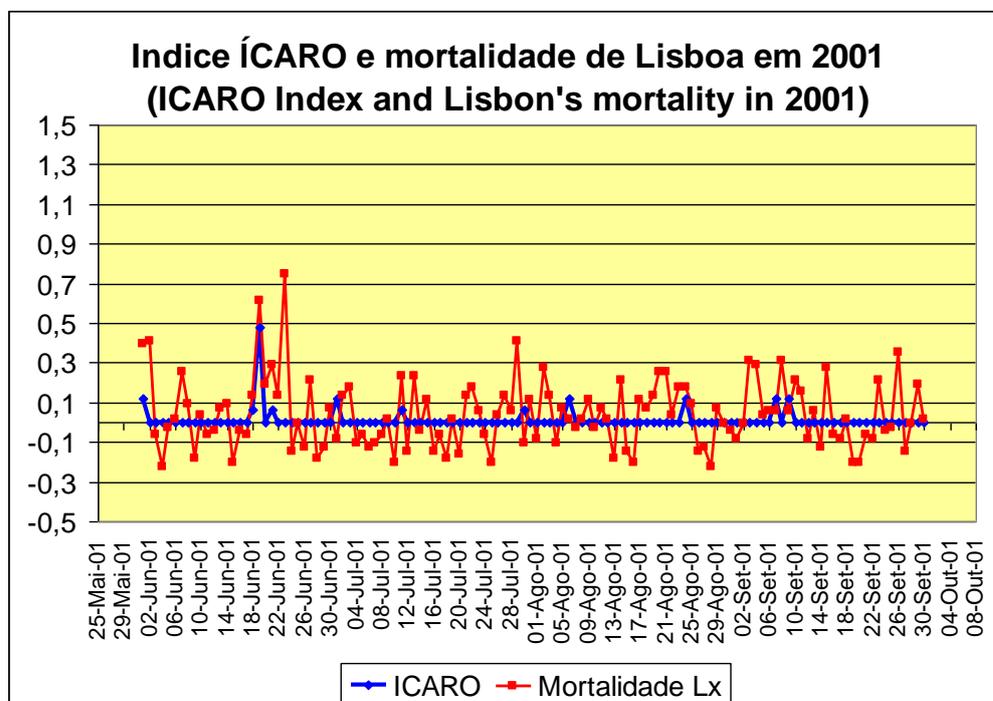


Figura 44. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2001 (detalhe).

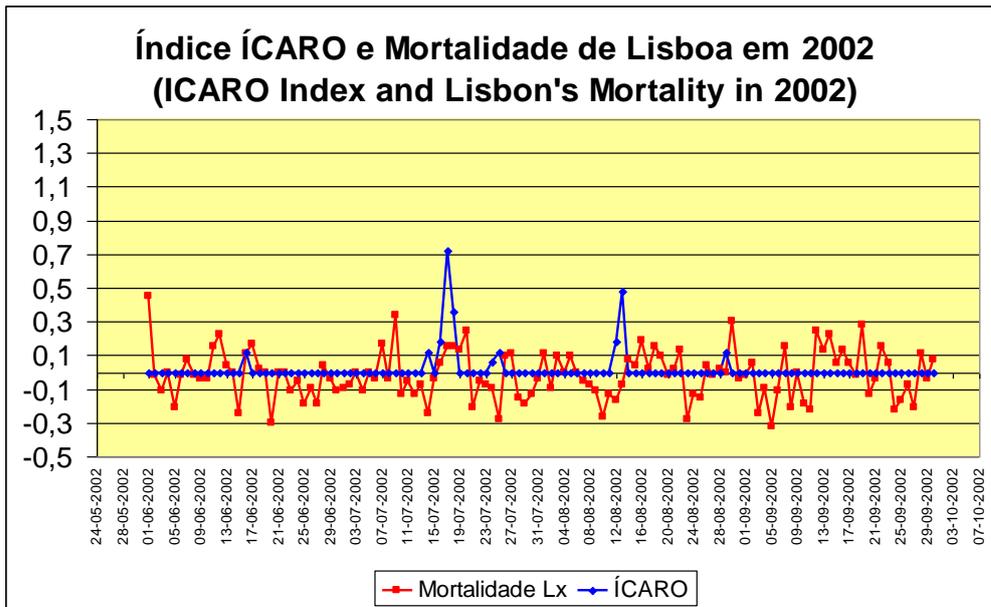


Figura 45. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2002 (detalhe).

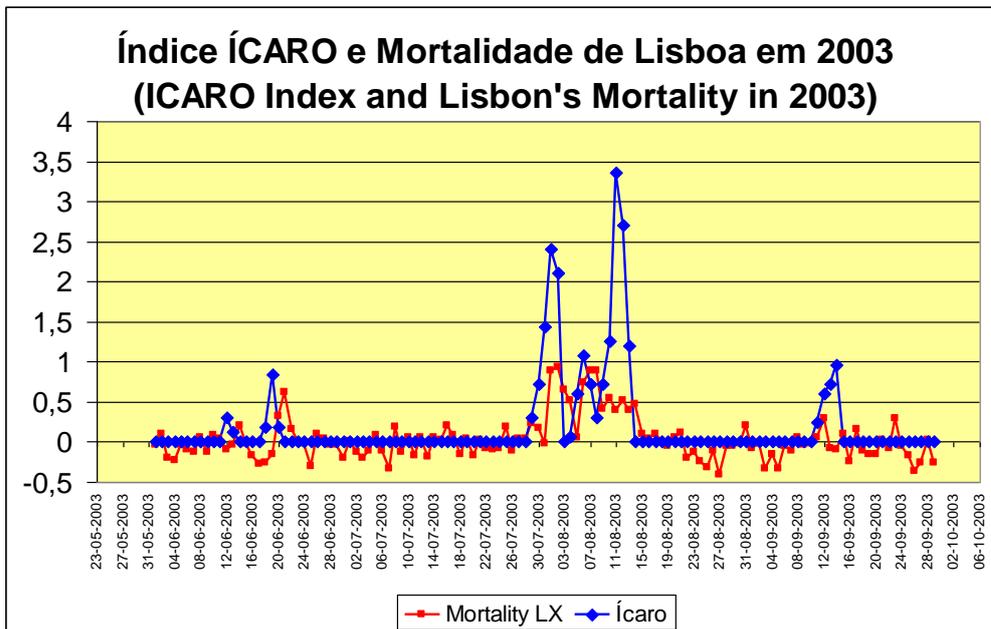


Figura 46. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade do distrito de Lisboa no período de vigilância do ano de 2003 (detalhe).

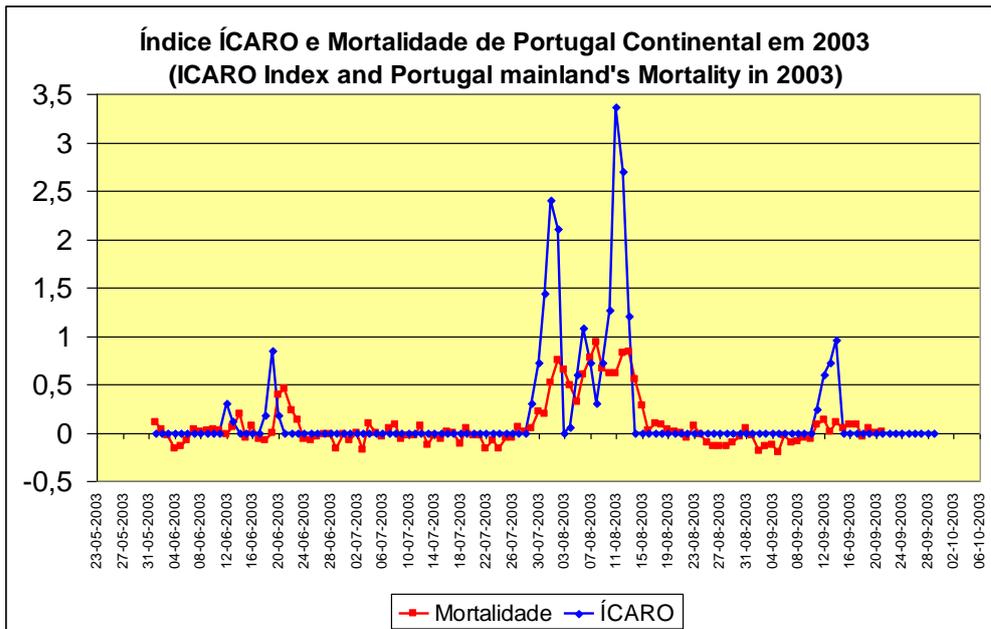


Figura 47. O Índice-ÍCARO 1999 e a sua relação com a mortalidade de Portugal Continental no período de vigilância do ano de 2003 (detalhe).

No ano de 2003 (Figura 46 e Figura 47), como é sabido, a situação observada foi completamente distinta de 2002, havendo percepção de períodos de calor no mês de Maio, no mês de Junho e no final do mês de Julho e início de Agosto. Os Índices-ÍCARO 1999 na situação de calor de Junho anteciparam o fenómeno com óptima indicação da magnitude do respectivo impacto. A situação posterior da grande onda de calor de Julho/Agosto revelou-se um evento com um pico inicial de calor e duas réplicas (de calor) imediatamente a seguir (com alguma heterogeneidade regional), situação para a qual o modelo ÍCARO inicial e o Índice-ÍCARO 1999 nunca tinham sido particularmente pensados, mas para a qual se revelou muito apropriado. Apesar de na estimação da amplitude dos impactos o índice-ÍCARO 1999 se ter mostrado desadequado (embora relevante do ponto de vista da vigilância), acompanhou todavia bem as réplicas de calor e os respectivos impactos na mortalidade.

Da observação da Figura 46 parece ser possível inferir que a relação entre o índice e a mortalidade do distrito de Lisboa é bastante boa. Obviamente as estimativas das magnitudes de excesso de mortalidade não são boas, o índice prevê mais mortalidade do que aquela que ocorre. Revelou-se particularmente

boa a estimativa da magnitude da primeira réplica da grande onda de calor (no início de Agosto). É particularmente notório verificar que a uma descida do Índice para zero no dia 4 de Agosto corresponde, no dia seguinte, uma mortalidade de acordo com o esperado na ausência de excesso de calor. Tal fenómeno já não foi tão claro na mortalidade relativa ao nível nacional, já que, de facto, o resto do país não teve o alívio de calor tão acentuado como o verificado em Lisboa.

Os índices-ÍCARO 1999 positivos observados no mês de Setembro não pareceram ter correspondência em termos de mortalidade, pelo menos no distrito de Lisboa.

Toda esta experiência de 5 anos, assente no Índice-ÍCARO 1999, indiciou várias pistas relevantes para o trabalho que se desenvolveu nesta tese:

- Existiam heterogeneidades climáticas regionais a que o modelo e o Índice ÍCARO não davam resposta, ocorrendo falsos negativos que era importante não existirem;
- O limiar constante de 32°C parecia não ser adequado em situações tardias no Verão, verificando-se sempre melhores ajustamentos das previsões do modelo para no início do Verão do que para situações em períodos mais tardios;
- Índices-ÍCARO positivos pareciam corresponder quase sempre a alterações no carácter aleatório da mortalidade;
- E, por último, desde muito cedo se começou a perceber que a emissão de alertas e a implementação de medidas de mitigação para este tipo de evento é complexa e difícil.

3.4.4. Definição de um Índice-ÍCARO Nacional

Numa perspectiva histórica a existência inicial de um modelo com capacidade de previsão da mortalidade associada à ocorrência de calor levou à legítima construção de um sistema de vigilância de ondas de calor (descrito na secção 3.4.2.). Para veicular a noção de risco dentro deste sistema que, pragmaticamente, consistia em previsões de números absolutos de óbitos associados ao calor, mas fazendo-o de forma a evitar a circulação desse tipo de informação, foi criado o índice-ÍCARO, que a relativizava.

Aconteceu que a concepção e elaboração inicial dos instrumentos e procedimentos para tal efeito necessários (modelo de previsão, sistema de vigilância de ondas de calor e índice-ÍCARO – para efeitos deste trabalho apelidado Índice-ÍCARO 1999) se baseavam em dados relativos ao distrito de Lisboa. E, apesar de a perspectiva histórica das então conhecidas ondas de calor relevantes (1981 e 1991) indicasse que um indicador de risco de calor para Lisboa se relacionaria bem com o respectivo risco a nível nacional, foram desde sempre assumidas as respectivas limitações.

No entanto, a experiência prática de vigilância de ondas de calor com potencial impacto na mortalidade mostrou desde muito cedo que um índice baseado apenas na informação de Lisboa, além de limitações gerava constrangimentos para a comunicação dos riscos a nível regional e mesmo ocorrências de falsos negativos. Particularmente paradigmático foi o episódio de Junho de 2000 (descrito na secção 3.4.3. na página 153), em que a informação para Lisboa acabou por ser oposta à do resto país, com este a ter impactos de mortalidade devidos à efectiva ocorrência de calor.

A noção destas limitações e das heterogeneidades regionais levou à necessidade de estabelecer modelos de previsão regionais e à consequente vontade de estabelecer um sistema de vigilância de ondas de calor de real âmbito nacional.

Construídos modelos regionais colocou-se o desafio de como estabelecer um indicador do risco associado à ocorrência de calor a nível nacional (Portugal Continental). Os passos dados para ultrapassar este desafio são descritos nesta secção.

3.4.4.1 Propostas para um índice-ÍCARO Nacional

As ideias originais destas propostas remontam ao ano de 2006, altura em que os modelos de previsão regionais (secção 3.3) e a versão actualizada do modelo para o distrito de Lisboa (secção 3.2) estavam definidos e disponíveis para ensaio em termos de integração no sistema de vigilância ÍCARO.

As propostas para estabelecer o Índice-ÍCARO nacional foram:

1. Continuar a usar **o índice-ÍCARO 1999**;
2. Usar **o índice-ÍCARO 2005**, equivalente directo do índice-ÍCARO 1999 mas assente no novo modelo-ÍCARO para Lisboa (secção 3.2) concluído em 2005;
3. Usar **a média aritmética dos índices-ÍCARO regionais** - os modelos de previsão estabelecidos para as quatro regiões ÍCARO⁴⁹ geraram naturalmente quatro índices-ÍCARO regionais indicadores dos respectivos riscos;
4. Usar **uma média ponderada dos índices-ÍCARO regionais** considerando para os respectivos ponderadores a proporção de população residente em cada região ÍCARO (como os grupos de distritos definidos na secção 3.3.1.) – solução que, na sua essência, vai mais longe que a simples média aritmética (proposta do ponto anterior), pois considera o perigo/*hazard* em causa – o calor –, a sua intensidade e duração em cada região (é o que fazem os modelos acima definidos) e permite ainda equacionar as correspondentes exposições relativas assumindo que a população residente será um bom *proxy* da população-em-risco.

A consideração do índice-ÍCARO 1999 como indicador do risco associado à ocorrência de calor para o nível nacional tinha a seu favor o seu conhecimento acumulado, o facto de comprovadamente conferir um bom alarme quando

⁴⁹ Se considerarmos os modelos definidos para a população total (todas as idades) [secção 3.3.3.] e para a população mais idosa (75 ou mais anos) [secção 3.3.4. existem mais de quatro modelos. Consideramos aqui apenas o 1.º conjunto destes modelos.

acontecem grandes ondas de calor (como o evento de 2003), e o facto de funcionar muito bem para a cidade de Lisboa em torno da qual reside aproximadamente 1/3 da população portuguesa. Por sua vez, os aspectos contrários eram, essencialmente, o facto de aquele índice-ÍCARO sobrestimar o impacto da mortalidade (característica que para efeitos de vigilância não é particularmente desvantajoso) e de não incluir informações climáticas regionais climáticas regionais que se traduzam, em discrepâncias relativamente ao que ocorre em Lisboa (como vimos ter acontecido em Junho de 2000 na secção 3.4.3. na página 153) - sucedendo, para além de tudo isto, que, a ser adoptado, continuaria a dar a todo o sistema de vigilância um cunho “city centred” que se afastaria do âmbito nacional ambicionado.

A consideração do Índice-ÍCARO 2005 tinha a seu favor: já integrar informação relativa à grande onda de calor de 2003; incluir sensibilidade para ondas de calor durante o mês de Maio (o respectivo modelo considera um limiar dinâmico sensível para temperaturas abaixo dos 32°C neste mês); e a experiência tida durante a Vigilância ÍCARO de 2006 haver mostrado que este índice funcionava como um bom alarme, particularmente adequado para a região/distrito de Lisboa. Os aspectos contra consistiam em: parecer estimar a mortalidade esperada sobretudo durante a ocorrência de réplicas de calor; e, tal como o índice-ÍCARO 1999, não reflectir as variações climáticas momentâneas em curso nas diferentes regiões; também, obviamente, o inconveniente de ser um sistema centrado numa única cidade e não de âmbito nacional; e ainda, o facto de, na sequência da fase de experiência de ensaio em ambiente de Vigilância em que se encontrou desde o ano de 2006 até 2009, haver gerado a sensação de “ter valores baixos” (o que se explica por surgir como contraste ao índice homónimo de 1999 e reflectir a tentativa do modelo de calibrar o respectivo impacto para que não o sobrestime demasiado).

Assim sendo, a consideração de um índice que resulte da ponderação de quatro índices regionais surgiu como natural, pois era a consequência da direcção encetada, permitindo desde logo integrar as variações regionais e fugir à noção de impor como um potencial sistema um sistema centrado exclusivamente na cidade de Lisboa. Por si só as razões apontadas já impunham este tipo de

proposta como relevante, adicionalmente, estes indicadores já integram informação da onda de calor de 2003 por via dos respectivos modelos regionais.

A consideração de uma proposta adicional consistindo numa média ponderada com base na população residente nas respectivas regiões do País colhe ideias da teoria do risco (49), onde o risco se define como uma função do perigo/hazard, da exposição e da população-em-risco. Assim, considerando a ocorrência de calor como sendo o perigo em causa, a magnitude do calor e a sua duração em dias como parte do processo de exposição, a população residente é naturalmente a população-em-risco.

3.4.4.2 Resultados

As Figura 48 a Figura 51 e o sumário de resultados apresentado na Tabela 42 coligem a informação sobre as quatro propostas apresentadas.

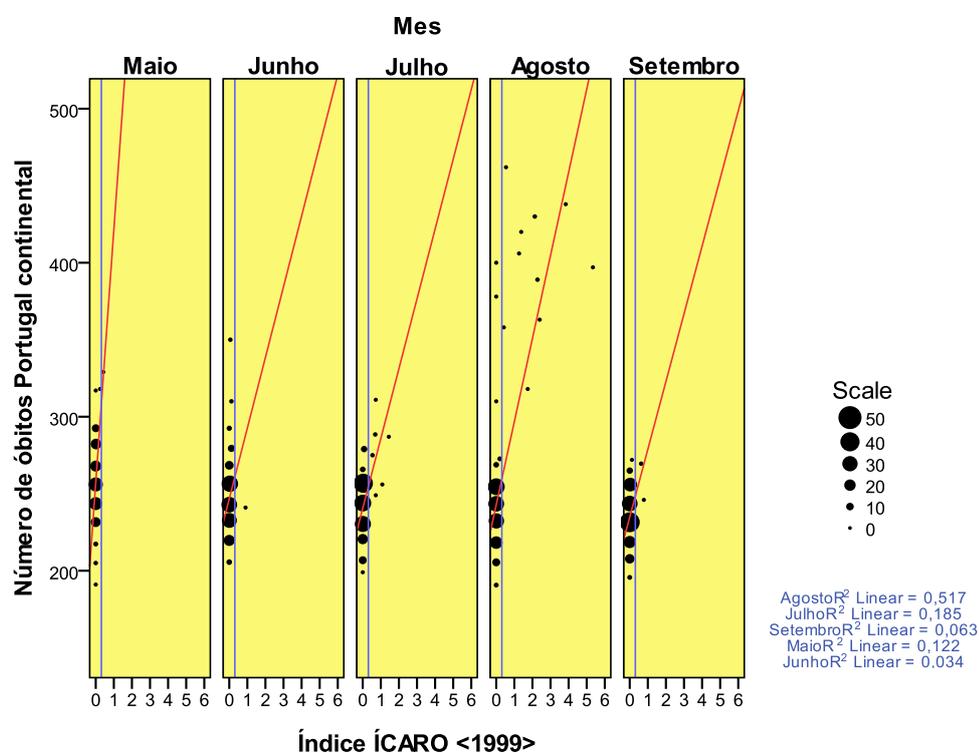


Figura 48. Relação entre mortalidade diária observada e índice-ÍCARO 1999 de 2000 a 2004, por mês

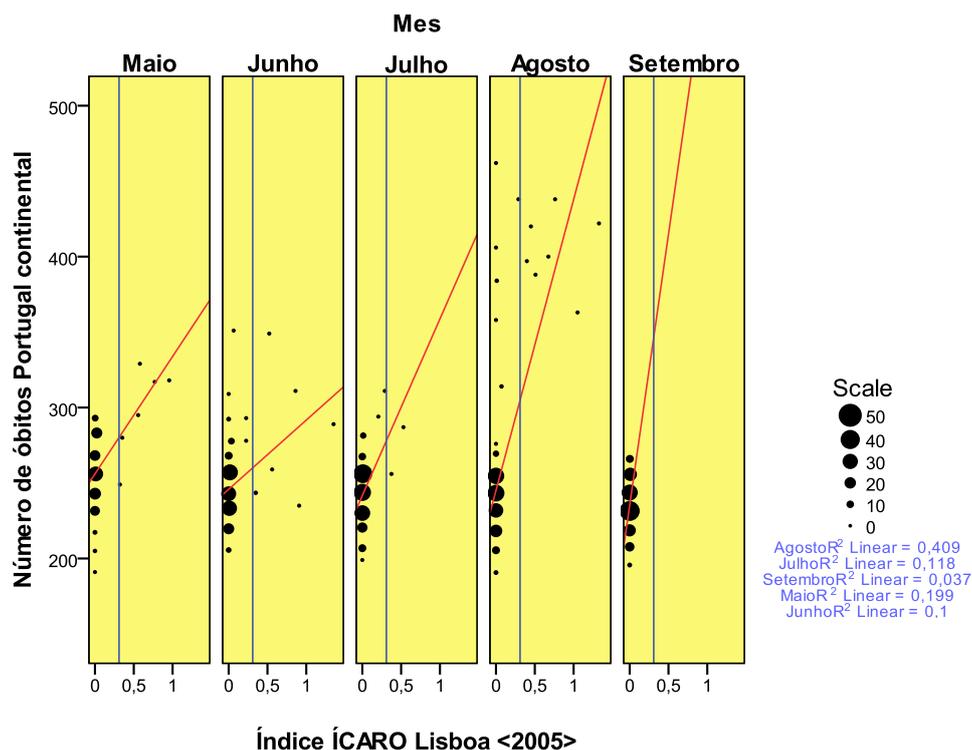


Figura 49. Relação entre mortalidade diária observada e índice-ÍCARO 2005 de 2000 a 2004, por mês

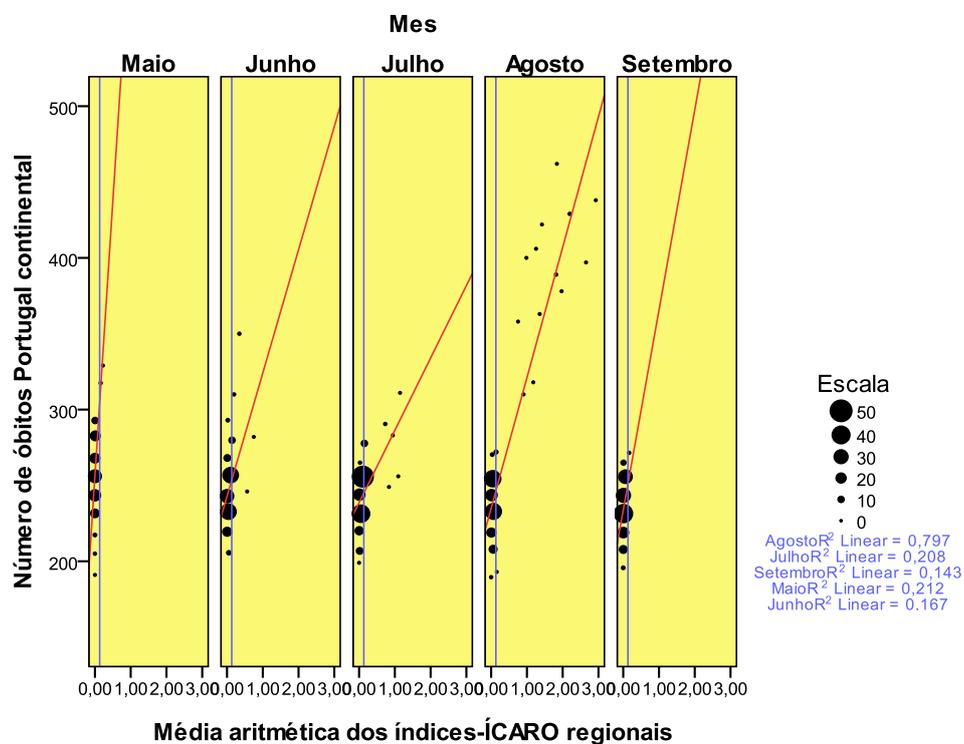


Figura 50. Relação entre mortalidade diária observada e a média aritmética dos índices-ÍCARO regionais de 2000 a 2004, por mês

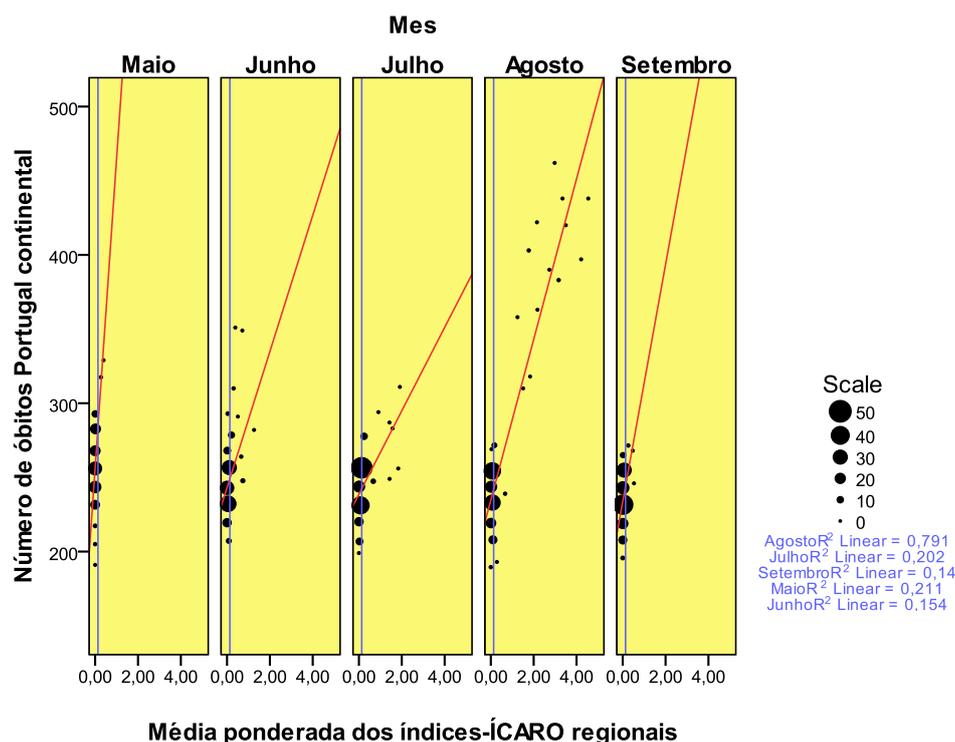


Figura 51. Relação entre mortalidade diária observada e a média ponderada dos índices-ÍCARO regionais de 2000 a 2004, por mês

A análise das figuras mostra que os indicadores propostos para índice nacional fazem, todos eles, sentido. Existem no entanto diferenças qualitativas entre eles.

A Figura 48 mostra que o índice ÍCARO não parece completamente desadequado, tendo como particular característica a consistência da tendência⁵⁰ ao longo dos vários meses. As correlações entre este índice e a mortalidade diária não são particularmente elevadas. No mês de Agosto observa-se o valor mais alto ($R^2=0.517$), seguidos dos meses Julho e Maio com, $R^2=0.185$ e $R^2=0.122$, respectivamente.

A Figura 49 parece mostrar uma melhoria sobretudo no mês de Maio e eventualmente no mês de Junho. Em termos de explicação, o mês de Maio passa a segunda posição, com um $R^2=0.199$. Sendo de salientar que a relação linear

⁵⁰ Das rectas de regressão linear que se definem para cada mês.

para o mês de Agosto perdeu alguma consistência, ao mostrar um $R^2=0.407$, inferior ao observado no índice de 1999.

Graficamente os resultados apresentados nas Figura 50 e Figura 51 são praticamente indistinguíveis. Em termos de relações lineares, as relações pareceram ser melhores para o índice que consistiu na média aritmética, mas relativamente ao mês de Junho a relação linear foi melhor com o índice representado pela média ponderada.

Tabela 42. Parâmetros de avaliação da relação entre mortalidade diária observada e propostas para índices-ÍCARO nacional, considerando limiares de mortalidade em Portugal Continental de 285 e 300 óbitos

| | limite índice | Limite mortalidade | a | b | c | d | Sensibilidade | Especificidade | FP | FN | VP+ | VP- | Índice de youdan |
|---|---------------|--------------------|----|-----|----|-----|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| índice-ÍCARO 1999 | 0,31 | 285 | 16 | 12 | 35 | 669 | 0,314 | 0,982 | 0,686 | 0,018 | 0,571 | 0,950 | 0,296 |
| | | 300 | 14 | 14 | 9 | 695 | 0,609 | 0,980 | 0,391 | 0,020 | 0,500 | 0,987 | 0,589 |
| Índice-ÍCARO 2005 | 0,31 | 285 | 15 | 6 | 36 | 674 | 0,294 | 0,991 | 0,706 | 0,009 | 0,714 | 0,949 | 0,285 |
| | | 300 | 12 | 9 | 11 | 699 | 0,522 | 0,987 | 0,478 | 0,013 | 0,571 | 0,985 | 0,509 |
| Média aritmética dos índice-ÍCARO regionais | 0,31 | 285 | 20 | 17 | 31 | 655 | 0,392 | 0,975 | 0,608 | 0,025 | 0,541 | 0,955 | 0,367 |
| | | 300 | 17 | 20 | 6 | 680 | 0,739 | 0,971 | 0,261 | 0,029 | 0,459 | 0,991 | 0,711 |
| Média ponderada dos índice-ÍCARO regionais | 0,132 | 285 | 27 | 70 | 24 | 602 | 0,529 | 0,896 | 0,471 | 0,104 | 0,278 | 0,962 | 0,425 |
| | | 300 | 22 | 75 | 1 | 625 | 0,957 | 0,893 | 0,043 | 0,107 | 0,227 | 0,998 | 0,849 |
| Média ponderada dos índice-ÍCARO regionais | 0,31 | 285 | 25 | 49 | 26 | 623 | 0,490 | 0,927 | 0,510 | 0,073 | 0,338 | 0,960 | 0,417 |
| | | 300 | 20 | 54 | 3 | 646 | 0,870 | 0,923 | 0,130 | 0,077 | 0,270 | 0,995 | 0,792 |
| Média ponderada dos índice-ÍCARO regionais | 0,132 | 285 | 28 | 104 | 23 | 568 | 0,549 | 0,845 | 0,451 | 0,155 | 0,212 | 0,961 | 0,394 |
| | | 300 | 22 | 110 | 1 | 590 | 0,957 | 0,843 | 0,043 | 0,157 | 0,167 | 0,998 | 0,799 |

O valor limite de 0,31 é o valor corresponde ao limite empírico assumido para o índice-ÍCARO 1999 índice relativo ao distrito de Lisboa; o valor 0,132 será o limite teórico (segundo uma distribuição de Poisson) para um índice-ÍCARO relativo a Portugal Continental

O exame dos parâmetros de avaliação da performance destes índices verificando mortalidade acima dos *limiares de mortalidade* de 285 e 300 óbitos (quantis teóricos aproximados 99,9% e 99,9999%, respectivamente) e com *índice limite* [limites definidos para os índices] de 0,31, para todos os índices, e também 0,132 ⁵¹ para os índices baseados na média dos índices regionais (Tabela 42), **demonstra que os índices que resultam da média dos regionais têm inequivocamente uma melhor performance traduzida em valores mais elevados de sensibilidade e melhores índices de Youden** (que traduz

⁵¹ A escolha destes valores prendeu-se com o estudo dos limites de variação do Índice-ÍCARO feito na secção seguinte [3.4.5.], veja-se a Tabela 46 na página 204.

menores taxas simultâneas de erro) de que os índices baseados nos modelos de Lisboa.

Os valores de performance dos dois índices que resultam das médias dos índices-ÍCARO regionais são muito semelhantes, sendo difícil definir critérios que os distingam. O índice que resulta da simples média aritmética apresenta os melhores resultados para o limite teórico (0,132), mas quando tomado o limite superior considerado de 0,31 o melhor desempenho pertenceu ao índice que resultou da média ponderada pela proporção de população residente. Este facto pode resultar do simples circunstância de a média ponderada ter originado uma gama de valores mais elevada que parece indiciar um maior poder discriminativo.

3.4.4.3 Discussão/Conclusões

Obviamente estes resultados dependem muito das características dos excessos de mortalidade observados, existindo a possibilidade de se verificar todo um conjunto de acontecimentos susceptíveis de gerar excesso de mortalidade associado à ocorrência de calor, como intensidades de temperaturas e durações distintas nos diferentes conjuntos de distritos, que podem originar observações completamente distintas. Consequentemente estes resultados devem apenas ser tidos como indicadores de uma possível escolha.

Pela coerência da construção e pelas qualidades de performance, o índice que resulta da média ponderada dos índices-ÍCARO regionais apresenta-se como a melhor proposta. Embora, note-se, a escolha de qualquer dos índices proposto originaria resultados satisfatórios. **Os índices que ponderam os índices regionais dão melhores garantias de performance e o índice ponderado pela população, apesar de não acrescentar substancialmente em qualidade de desempenho, destaca-se pelo racional do seu constructo.**

3.4.5. Definição de um Índice de Alerta ÍCARO

A compreensão dos índices passa por definir os respectivos limites de variação nos vários contextos em que os mesmos foram construídos.

Para obter uma melhor compreensão da variação de um índice-ÍCARO em função do seu processo de mortalidade subjacente, consideramos aqui a mortalidade observada em Portugal (considerada quer no conjunto de Portugal Continental e Regiões autónomas, quer apenas por Portugal Continental, e por conjuntos de distritos – Grupos) de 2000 a 2004, nos meses de Junho⁵² a Setembro, em que se omitiram os períodos de calor conhecidos. A partir destes dados determinaram-se os percentis 2,5% e 97,5% de cada processo de mortalidade e determinaram-se os índices-ÍCARO correspondentes.

Tabela 43. Estatísticas descritivas da mortalidade esperada na ausência de calor segundo os grupos de distritos, para Portugal Continental e para Portugal

| | Estatísticas descritivas | | | | | |
|--|--------------------------|---------|-------|-----|--------|---------|
| | Média | Mediana | DP | IQR | P 2,5% | P 97,5% |
| Região Interior Norte - Grupo I | 27,8 | 27 | 5,3 | 7 | 17,65 | 38 |
| Região Litoral Norte - grupo II | 91,9 | 91,5 | 9,34 | 13 | 76 | 112 |
| Região Litoral Centro - grupo III | 82 | 82 | 10,37 | 12 | 63 | 105 |
| Região Interior e Sul - grupo IV | 32,6 | 33 | 5,51 | 8 | 21 | 43,2 |
| Portugal Continental | 234,2 | 235 | 17,8 | 26 | 198,7 | 264 |
| Portugal | 248,1 | 248,5 | 18,23 | 24 | 213,3 | 279 |

DP – Desvio padrão; IQR – Amplitude interquartilica (*Inter Quartile Range*); P2,5% e P97,5% referem-se aos percentis 5% e 97,5%, respectivamente.

⁵² Não se considerou o mês de Maio por não existir homogeneidade do número médio de óbitos com a sua inclusão.

Tabela 44. Variação da mortalidade diária esperada na ausência de calor (intervalo de confiança) e respectivos limites de índice-ÍCARO (intervalo de 95% dos valores mais frequentes e intervalo de confiança a 95%) por grupos de distritos, Portugal Continental e Portugal

| | IC 95% para a mortalidade diária | | Variação esperada (95%) de um Índice ÍCARO | | variação esperada (IC 95%) de um Índice ÍCARO | |
|--|----------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|
| | Limite inferior | Limite superior | Limite inferior | Limite superior | Limite inferior | Limite superior |
| Região Interior Norte - Grupo I | 16,6 | 37,4 | -0,346 | 0,407 | -0,385 | 0,385 |
| Região Litoral Norte - grupo II | 73,2 | 109,8 | -0,169 | 0,224 | -0,200 | 0,200 |
| Região Litoral Centro - grupo III | 61,7 | 102,3 | -0,232 | 0,280 | -0,248 | 0,248 |
| Região Interior e Sul - grupo IV | 22,2 | 43,8 | -0,364 | 0,309 | -0,327 | 0,327 |
| Portugal Continental | 200,1 | 269,9 | -0,154 | 0,123 | -0,148 | 0,148 |
| Portugal | 212,8 | 284,2 | -0,142 | 0,123 | -0,144 | 0,144 |

Tabela 45. Definição de limiares de alarme para um qualquer índice-ÍCARO por grupos de distritos, Portugal Continental e Portugal

| | Alerta 1 | Alerta 2 | Alerta 3 | Alerta 4 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Região Interior Norte - Grupo I | 0,407 | 0,815 | 1,222 | 1,630 |
| Região Litoral Norte - Grupo II | 0,224 | 0,448 | 0,672 | 0,896 |
| Região Litoral Centro - Grupo III | 0,280 | 0,561 | 0,841 | 1,122 |
| Interior e Sul - Grupo IV | 0,309 | 0,618 | 0,927 | 1,236 |
| Portugal continental | 0,123 | 0,247 | 0,370 | 0,494 |
| Portugal | 0,123 | 0,245 | 0,368 | 0,491 |

A

Tabela 43 demonstra empiricamente que os níveis de índice-ÍCARO observáveis dependem da magnitude do respectivo número esperado de óbitos que lhe está subjacente, verificando-se que quanto maior é esse número esperado de óbitos menores são os respectivos limites de variação esperada.

Em paralelo com o definido em 3.4.2. , uma possível definição de níveis de alerta independentes dos valores dos índices Ícaro observados é a de considerar valores padronizados. Na definição original apresentada em 3.4.2. o princípio era a observação de valores múltiplos do intervalo de confiança. Na Tabela 45 faz-se uma proposta de sistematização usando o equivalente da semi-amplitude do intervalo de confiança. Na prática, considera-se a amplitude entre os percentis 97,5% e 50% para um valor de mortalidade e , correspondentemente, para um valor de Índice-ÍCARO, a abordagem paramétrica daria resultados muito semelhantes (não são apresentados para efeitos de simplificação da exposição). Esta proposta, enunciada na Tabela 45, permitiria ter todos os índices na mesma escala: por exemplo, um índice-ÍCARO de 0.407 no grupo I (Região ÍCARO Interior Norte) e um índice-ÍCARO de 0.224 no grupo II (região ÍCARO Litoral Norte) teriam o mesmo *valor alerta* de 1.

Estes resultados são teoricamente justificáveis. Vejamos a respectiva demonstração.

Suponhamos que na ausência de ocorrência de calor o processo de mortalidade é homogéneo ao longo do período de Verão com valor esperado E e uma variância S^2 . Suponhamos que o número médio de óbitos esperado é suficientemente grande e que se pode supor seguir uma distribuição Normal,

$$O \cap N(E; S_o^2)$$

O índice-ÍCARO define-se genericamente,

$$\Delta = \frac{O}{E} - 1 = \frac{O - E}{E}$$

Daqui se conclui que

$$E(\Delta) = 0 \text{ e } VAR(\Delta) = \frac{S_o^2}{E^2}$$

Isto é, o valor esperado do índice-ÍCARO-Real na ausência da ocorrência (de ondas de calor), tem valor esperado zero e desvio padrão $\frac{S_o}{E}$.

Demonstra-se assim que a variabilidade de um índice-ÍCARO depende do número médio de órbitos do processo de mortalidade em questão.

Esta característica torna a interpretação de múltiplos índices-ÍCARO difícil. Para obviar esta dificuldade será interessante considerar uma proposta de Índice do tipo ÍCARO que seja invariante ao nível médio de órbitos em análise. A partir da definição de níveis de alerta apresentados em 3.4.1. e da sistematização apresentada na Tabela 45 resulta possível construir um tal índice.

Definamos:

$$\Delta_{Pad} = \frac{\Delta}{\frac{zS_o}{E}} = \frac{O - E}{zS_o} ,$$

onde,

$\frac{zS_o}{E}$ representa a semi-amplitude do intervalo de confiança de $(1 - \alpha) \times 100\%$ do Índice-ÍCARO⁵³,

onde z representa o quantil $1 - \frac{\alpha}{2}$ da distribuição normal padrão,

resulta daqui,

⁵³ Em termos de órbitos $O + z \times S_o$, convertido para índice-ÍCARO vem

$\frac{O + z \times S_o - E}{E} = \frac{(O - E) + z \times S_o}{E}$ e como o valor esperado de $(O - E)$ é zero temos a expressão proposta.

$$E(\Delta_{Pad}) = 0 \text{ e } VAR(\Delta_{Pad}) = \frac{1}{z^2} \quad 54.$$

Indo um pouco mais longe, em vez de assumirmos uma aproximação à distribuição normal, suponhamos de forma mais natural que o processo de mortalidade (na ausência de fenómenos anómalos) segue uma distribuição de Poisson de valor médio E .

Daqui resulta de imediato que $S_o^2 = E$.

O que implica,

$$E(\Delta) = 0 \text{ e } VAR(\Delta) = \frac{1}{E}$$

e,

$$\Delta_{Pad} = \frac{O - E}{z\sqrt{E}}$$

Como facilmente se demonstra,

$$\Delta_{Pad} = \frac{\Delta}{\frac{zS_o}{E}} = \frac{\Delta}{\frac{z}{\sqrt{E}}} = \frac{\frac{O - E}{E}}{\frac{z}{\sqrt{E}}} = \frac{O - E}{z\sqrt{E}} .$$

A Tabela 46 mostra a proximidade entre os valores obtidos pela suposição de distribuição de Poisson (e também da respectiva aproximação à distribuição normal) e os valores observados. Pareceu relevante que todos os limites superiores obtidos fossem semelhantes. As variabilidades observadas para a Região ÍCARO Litoral Centro (grupo III), para Portugal Continental e Portugal

⁵⁴ $Var(\Delta_{Pad}) = Var\left(\frac{O - E}{zS_o}\right) = \frac{Var(O)}{z^2 S_o^2} = \frac{1}{z^2}$

na sua totalidade foram maiores do que o teorizado (penúltima coluna da Tabela 46), sem no entanto os respectivos valores serem substancialmente diferentes. Nestes três casos a diferença relativa⁵⁵ máxima entre os desvios padrões observados e teorizados foi de 0,016

Tabela 46. Comparação dos limites e variações dos índices-ÍCARO observados e os respectivos valores teóricos (usando a distribuição de Poisson e aproximação à distribuição normal)

| | Estatísticas descritivas | | Variação esperada (95%) de um Índice ÍCARO | | variação esperada (IC 95%) de um Índice ÍCARO* | | variação esperada (IC 95% Poisson) de um Índice ÍCARO | | DP Teórico | Limite superior teórico de um índice ÍCARO* |
|-----------------------------------|--------------------------|-------|--|-----------------|--|-----------------|---|---------|------------|---|
| | Mediana | DP | Limite inferior | Limite superior | Limite inferior | Limite superior | P 2,5% | P 97,5% | | |
| Região Interior Norte - Grupo I | 27 | 5,30 | -0,346 | 0,407 | -0,385 | 0,385 | -0,370 | 0,407 | 5,20 | 0,377 |
| Região Litoral Norte - Grupo II | 91,5 | 9,34 | -0,169 | 0,224 | -0,200 | 0,200 | -0,202 | 0,213 | 9,57 | 0,205 |
| Região Litoral Centro - Grupo III | 82 | 10,37 | -0,232 | 0,280 | -0,248 | 0,248 | -0,207 | 0,220 | 9,06 | 0,216 |
| Região Interior e Sul - Grupo IV | 33 | 5,51 | -0,364 | 0,309 | -0,327 | 0,327 | -0,333 | 0,364 | 5,74 | 0,341 |
| Portugal Continental | 235 | 17,80 | -0,154 | 0,123 | -0,148 | 0,148 | -0,128 | 0,132 | 15,33 | 0,128 |
| Portugal | 248,5 | 18,23 | -0,142 | 0,123 | -0,144 | 0,144 | -0,123 | 0,127 | 15,76 | 0,124 |

* Usando a aproximação à distribuição Normal

3.4.5.1 Propriedades de um Índice-Alerta-ÍCARO

O índice-Alerta-ÍCARO que se introduziu acima com a forma simplificada,

$$\Delta_{Pad} = \Psi = \frac{O - E}{z\sqrt{E}}$$

é,

1. um índice-ÍCARO ponderado;
2. um z-score ponderado;
3. tem uma interpretação semelhante a um intervalo de confiança.

⁵⁵ Calculado da seguinte forma: $\frac{|DP_{Observado} - DP_{Teórico}|}{mediana}$

De forma similar ao definido para o índice-ÍCARO podemos adicionalmente definir:

4. **A soma de dois índices-Alerta-ÍCARO não é um índice-Alerta-ÍCARO**, mas define **um índice de risco cumulativo**;
5. **A média de dois índices-Alerta-ÍCARO também não é um índice-Alerta-ÍCARO**,
 - 5.1. embora seja **proporcional a um índice-Alerta-ÍCARO cumulativo**⁵⁶,
 - 5.2. de onde também se pode afirmar que **o índice-Alerta-ÍCARO médio é sempre inferior ao respectivo índice-Alerta-ÍCARO cumulativo**;
6. **A multiplicação da soma de índices-Alerta-ÍCARO pela quantia $z\sqrt{E}$** , função do número de óbitos médio do processo de mortalidade que lhe dá origem, **resulta na diferença entre óbitos observados e esperados** no período considerado.

Vejamos:

De facto este índice também pode ser escrito como,

$$\Delta_{Pad} = \frac{\sqrt{E}}{z} \Delta \quad 57,$$

sendo como tal **uma versão ponderada do índice-ÍCARO** (demonstra o ponto 1);

e pode ser escrito ainda como,

⁵⁶ Isto é, um índice-Alerta-ÍCARO definido num período de tempo mais abrangente do que apenas um dia.

⁵⁷ $\Delta_{Pad} = \Psi = \frac{O - E}{z\sqrt{E}} = \frac{\sqrt{E}}{z} \times \frac{O - E}{E} = \frac{\sqrt{E}}{z} \Delta$

$$\Delta_{Pad} = \frac{1}{z} \times \frac{O - E}{\sqrt{E}},$$

o que se apresenta como **um z-score ponderado** (demonstra o ponto 2);

e sendo $z \approx 2$, podemos dizer que um índice-Alerta-ÍCARO de valor 1 é aproximadamente meio z-score.

Vejamos a demonstração do ponto 3.

Suponhamos que observamos $\Delta_{Pad} = k$ (um valor fixo). O que nos interessa é perceber o que significa um $\Delta_{Pad} > k$, tomando a definição genérica apresentada na página 206,

$$\Delta_{Pad} = \frac{O - E}{zS_0} > k \Leftrightarrow O - E > kzS_0 \Leftrightarrow O > E + kzS_0$$

O que define, de facto, o limite superior de intervalo de confiança. $k = 1$ define o usual intervalo de 95% confiança, mostrando que o respectivo índice terá uma probabilidade de ocorrência em condições de ausência de calor inferior a 2,5%, $k = 1,5$ define aproximadamente o intervalo de 99% de confiança o que implica que o respectivo índice terá uma probabilidade de ocorrência em condições de ausência de calor inferior a 0,5%, índices superiores indicarão situações ainda mais extremas.

As propriedades 1 e 2 aliadas aos respectivos valor médio e variância enunciados na página 207 mostram que os índices-Alerta-ÍCARO são independentes do número de órbitos que lhes está subjacente, fornecendo assim a possibilidade de comparação e interpretação directa entre vários índices-ÍCARO.

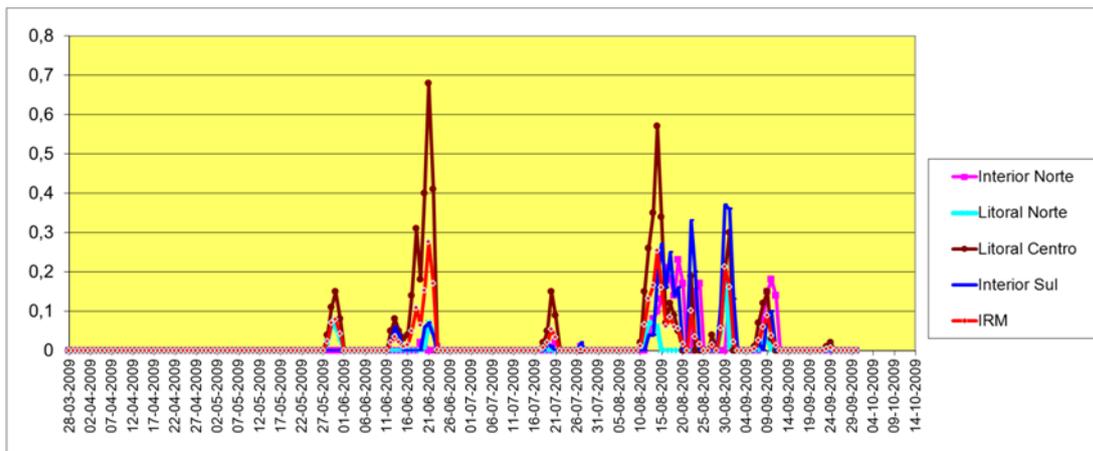


Figura 52. Índices-ÍCARO regionais e Nacional observados durante 2009

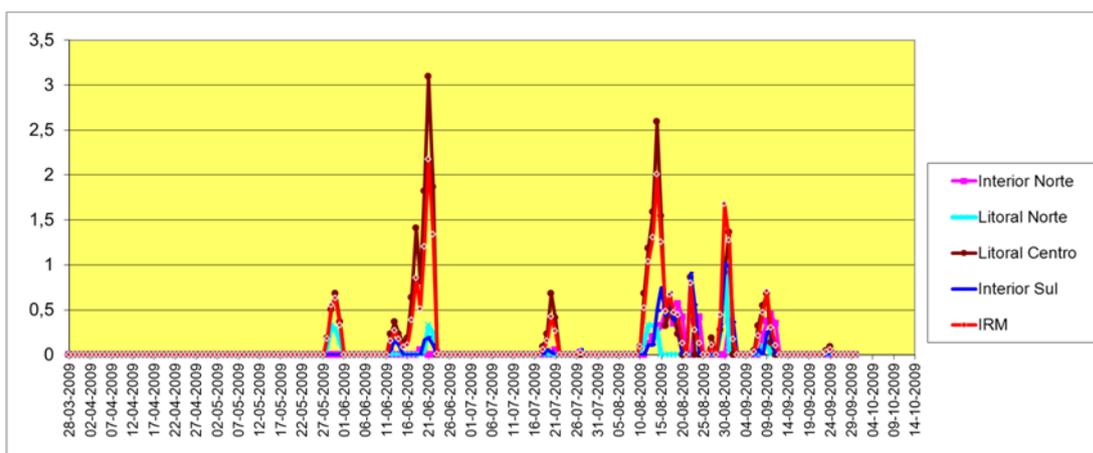


Figura 53. Índices-Alerta-ÍCARO regionais e nacional observados relativos ao ano de 2009

A Figura 52 e a Figura 53 mostram a diferença essencial entre os dois tipos de índices:

- Os índices-ÍCARO (Figura 52) apresentam valores baixos, sendo todos os valores inferiores a 0.7;

- O índice-ÍCARO Nacional (IRM), resultante da média ponderada dos Índices-ÍCARO regionais, tende a ser mais reduzido que maioria dos restantes índices;
- Os índices-Alerta-ÍCARO (Figura 53) apresentam valores mais elevados, devendo notar-se que a respectiva gama de valores observados oscilou entre zero e 3;
- O índice-Alerta-ÍCARO nacional segue de mais perto o índice respeitante à região Litoral Centro, devendo-se sublinhar-se que:
 - torna mais evidente a ponderação de todos os índices regionais;
 - no final do mês de Agosto o índice-Alerta-ÍCARO nacional é mais elevado que todos os restantes reflectindo o facto de existirem nesse momento vários índices-Alerta-ÍCARO regionais elevados.

Por sua vez a propriedade 3 (e, em certa medida, também 2) permite estabelecer um racional mais claro da definição original de níveis de alerta ÍCARO (apresentados na secção 3.4.2. , página 182).

Podemos então, na base do que ficou exposto, definir os **níveis de alerta ÍCARO** do seguinte modo:

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| Índice-Alerta-ÍCARO = 0 ⁵⁸ | → | Efeito nulo sobre a mortalidade. |
| 0 < Índice-Alerta-ÍCARO <= 1 | → | Efeito não significativo sobre a mortalidade ⁵⁹ . |
| 1 < Índice-Alerta-ÍCARO <= 3 | → | Provável efeito sobre a mortalidade. |
| 3 < Índice-Alerta-ÍCARO <= 5 | → | Possível alerta de onda de calor em avaliação. |
| Índice-Alerta-ÍCARO > 5 | → | Alerta de Onda de Calor, esperadas consequências graves em termos de saúde e mortalidade |

⁵⁸ Na prática, os modelos-ÍCARO quando não prevêm excesso de mortalidade dão como resposta o nível médio do respectivo processo de óbitos, o que resulta sempre num índice nulo.

⁵⁹ É importante notar que este nível significativo respeita ao nível diário. Isto significa que o excesso previsto não se revelará, em princípio, significativo relativo ao esperado que não implica que a sucessão cumulativa de vários dias não se mostre significativo.

Esta definição é essencialmente empírica, mas, como se demonstra, não é arbitrária: resulta de experiência obtida. E a sistematização a que conduz, com base no índice-Alerta-ÍCARO, torna a interpretação válida para todos os diferentes Índices-Alerta-ÍCARO que se definam, permitindo assim ultrapassar as dificuldades de interpretação que os múltiplos índices-ÍCARO colocavam.

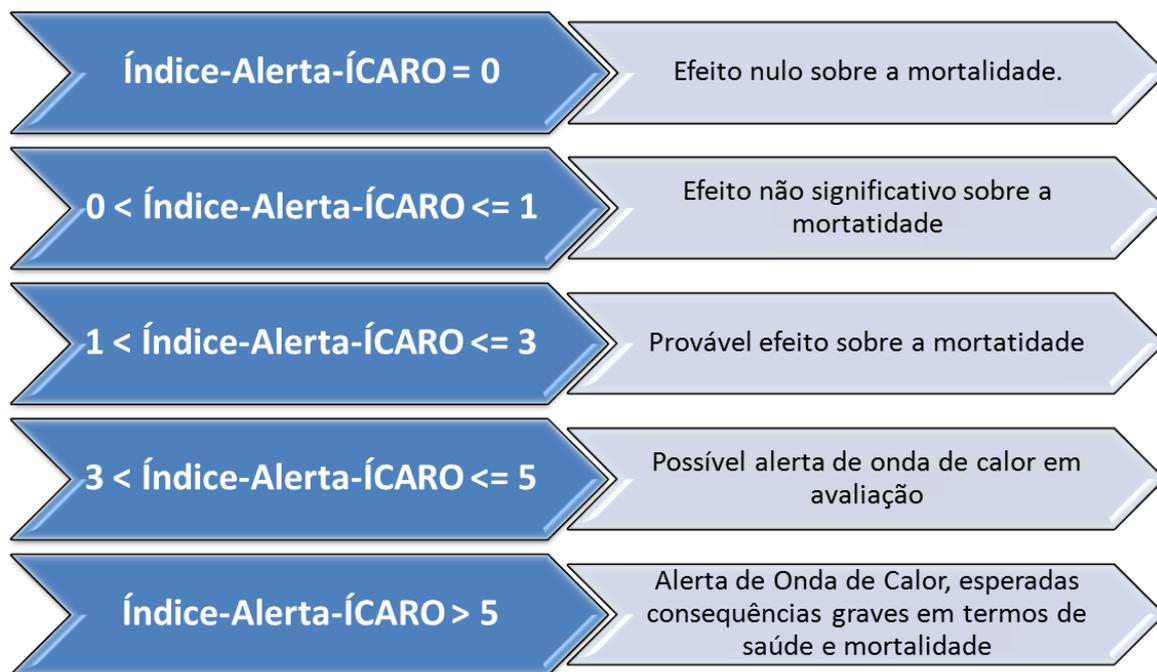


Figura 54. Níveis de Alerta ÍCARO

A Figura 55 e a Figura 56 tentam mostrar as diferenças da sistematização aqui proposta, já com a integração dos níveis de Alerta ÍCARO.

A Figura 55 é praticamente uma repetição da Figura 52, apenas mostra que a apresentação dos Índices na forma cumulativa evitará a inclusão de um 5.º traçado dado que esse é simplesmente o cumulativo.

A Figura 56, por sua vez, mostra como se pode proceder para mostrar a importância de qualquer Índice do tipo-ÍCARO, recorrendo à definição do índice-Alerta-ÍCARO e dos respectivos níveis de alerta ÍCARO.

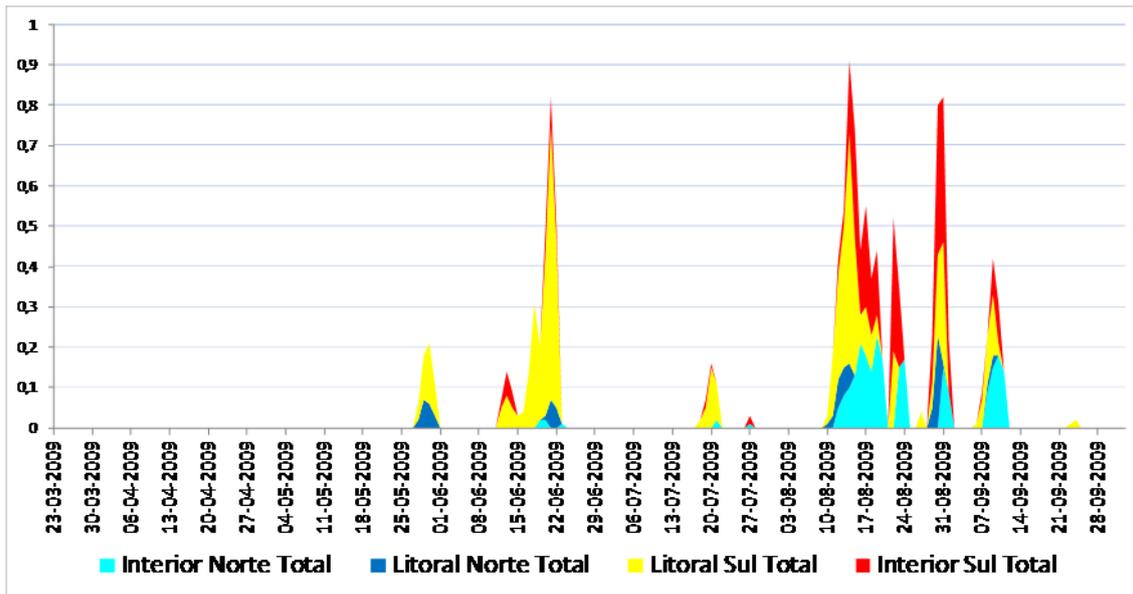


Figura 55. Índices-ÍCARO regionais da época de vigilância de 2009 apresentados de forma cumulativa

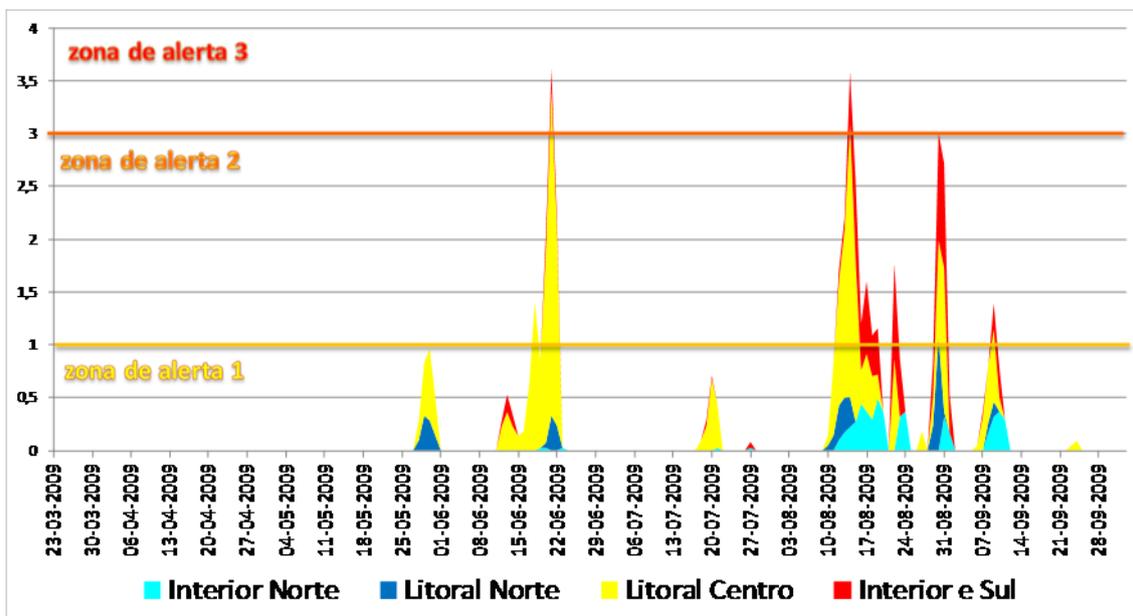


Figura 56. Índices-Alerta-ÍCARO regionais relativos à época de vigilância de 2009 com a respectiva definição de níveis de alerta ÍCARO

Vejamos a demonstração do ponto 4 (enunciado na página 209).

Para efeitos de simplificação tomemos a designação $\Psi = \Delta_{pad}$, e suponhamos Ψ_1 e Ψ_2 , temos então

$$\Psi_1 + \Psi_2 = \frac{O_1 - E}{z\sqrt{E}} + \frac{O_1 - E}{z\sqrt{E}} = \frac{O_1 + O_2 - 2E}{z\sqrt{E}}$$

quantidade que é um índice-Alerta-ÍCARO.

Generalizando este resultado para a soma de múltiplos índices-Alerta-ÍCARO temos,

$$\sum_{i=1}^k \Psi_i = \sum_{i=1}^k \frac{O_i - E}{z\sqrt{E}} = \frac{\sum_{i=1}^k O_i - kE}{z\sqrt{E}}.$$

Atente-se no numerador, que não é mais que o número de óbitos observados num conjunto de k dias subtraído do número de óbitos esperado para o mesmo período. Estando, no nosso enquadramento, em causa, previsões diárias de óbitos com base em modelos estatísticos assentes somente nas temperaturas do ar, esse numerado configura a medição de excesso de óbitos devidos a calor num conjunto de vários dias, configura como tal uma medida de risco cumulativo, donde vem que a soma de índices-Alerta-ÍCARO é um índice de risco cumulativo.

Vejamos a demonstração do ponto 5 (enunciado na página 209).

Tal como feito para o ponto anterior, suponhamos Ψ_1 e Ψ_2 , temos então

$$\frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2} = \frac{\frac{O_1 - E}{z\sqrt{E}} + \frac{O_1 - E}{z\sqrt{E}}}{2} = \frac{O_1 + O_2 - 2E}{2z\sqrt{E}}$$

quantidade que é exactamente um índice-Alerta-ÍCARO.

Porém, uma pequena alteração algébrica permite escrever,

$$\frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{O_1 + O_2 - 2E}{z\sqrt{2E}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi_{1:2}.^{60}$$

O que mostra que a média de dois índices-Alerta-ÍCARO é proporcional ao respectivo Índice-Alerta-ÍCARO cumulativo.

Este resultado também se generaliza de forma simples,

$$\bar{\Psi} = \frac{\sum_{i=1}^k \Psi_i}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{O_i - E}{z\sqrt{E}}}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k O_k - kE}{kz\sqrt{E}} = \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{\sum_{i=1}^k O_k - kE}{z\sqrt{kE}} = \frac{1}{\sqrt{k}} \Psi_{1:k}.$$

Deste resultado decorrem naturalmente as afirmações 5.1 e 5.2. Já vimos a proporcionalidade, de facto, $\bar{\Psi} \propto \Psi_{1:k}$. Como a constante que estabelece a igualdade é $\frac{1}{\sqrt{k}}$, sendo a relação, $\bar{\Psi} = \frac{1}{\sqrt{k}} \Psi_{1:k}$, é imediato que a média de índices-Alerta-ÍCARO é sempre inferior ao índice-Alerta-ÍCARO cumulativo.

A demonstração do ponto 6 (enunciado na página 209) é imediata do mostrado acima,

$$\text{Dado } \sum_{i=1}^k \Psi_i = \frac{\sum_{i=1}^k O_k - kE}{z\sqrt{E}} \quad (\text{ver acima}),$$

é imediato que

⁶⁰ Aqui, e no que se segue, a notação $a:b$ significa “de a a b ”, ou seja, que o respectivo cálculo foi feito considerados os elementos entre a e b em conjunto (em particular, neste caso concreto, simplifica pensar em dias consecutivos).

$$z\sqrt{E} \times \sum_{i=1}^k \Psi_i = \sum_{i=1}^k O_k - kE,$$

a multiplicação da soma de índices-Alerta-ÍCARO pela quantia $z\sqrt{E}$ resulta na diferença entre óbitos observados e esperados no período considerado.

Resulta de todas as propriedades enunciadas que a soma dos índices-Alerta-ÍCARO igual a um valor fixo, $\sum_{i=1}^k \Psi_i = \delta$, é proporcional ao excesso de mortalidade prevista pelos modelos, sendo assim um índice relativo do risco cumulativo de mortalidade associado à ocorrência de calor.

Esta característica pode ser usada para efeitos da monitorização do risco associado à ocorrência de calor, durante o período anual de Vigilância ÍCARO.

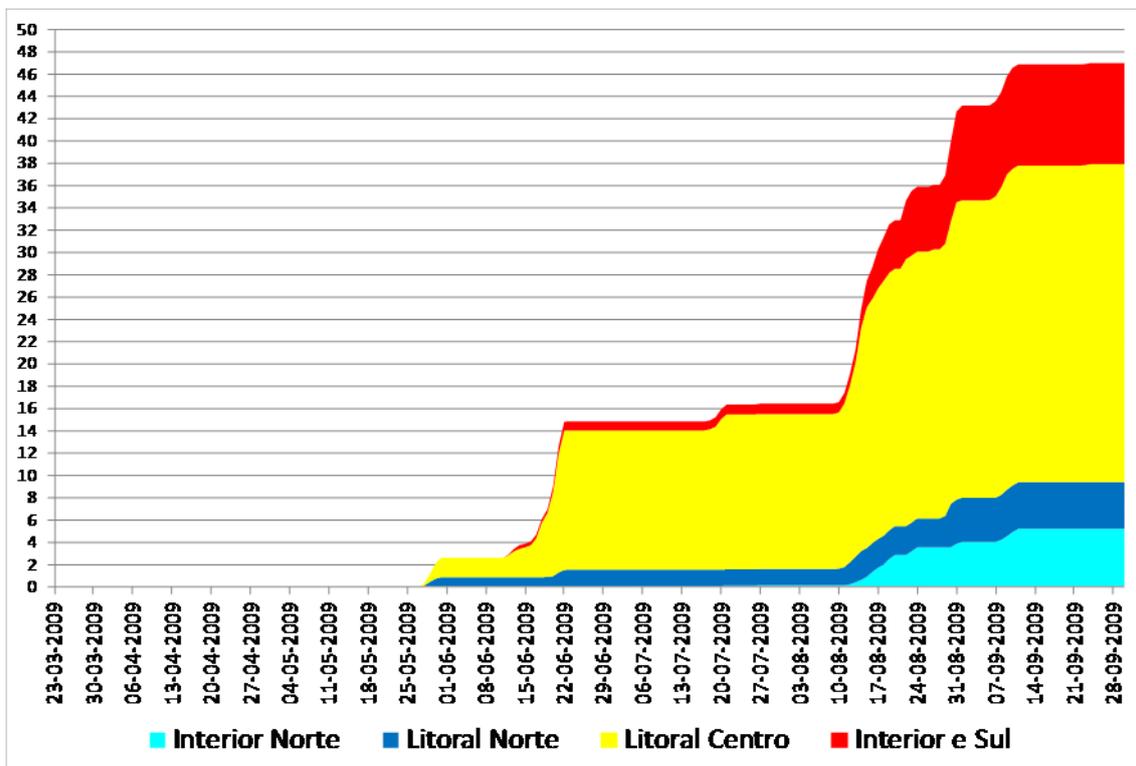


Figura 57. Representação cumulativa da soma cumulativa dos 4 Índices-Alerta-ÍCARO regionais, relativa à época de vigilância de 2009

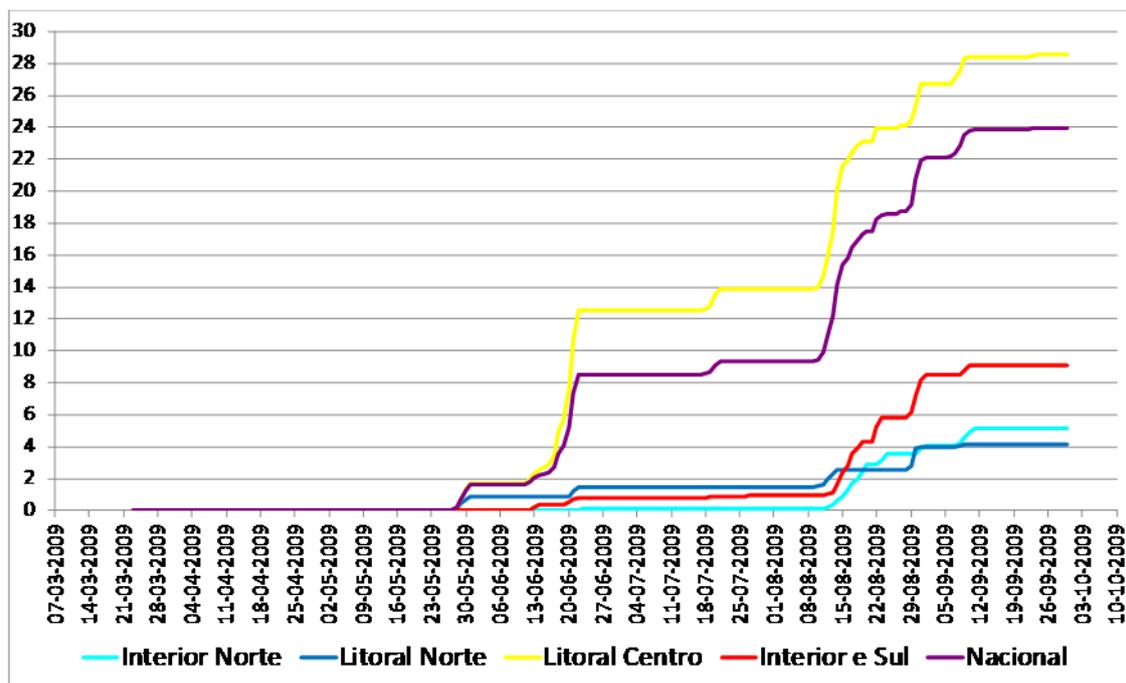


Figura 58. Representação cumulativa da soma cumulativa dos 4 Índices-Alerta-ÍCARO regionais e do índice-Alerta-ÍCARO nacional, relativa à época de vigilância de 2009

As Figura 57 e Figura 58 são muito semelhantes e mostram várias características dos índices-Alerta-ÍCARO.

A Figura 57 talvez não seja a mais adequada para representar esta informação, porque simplesmente a soma de dois índices-Alerta-ÍCARO de dois processos de mortalidade com valores médios distintos, não resulta no Índice-Alerta-ÍCARO do processo mortalidade soma (opta-se por não demonstrar estas propriedades por serem matematicamente deselegantes). Intuitivamente, verifica-se facilmente que esta afirmação é verdadeira, pense-se em duas regiões com mortalidades médias distintas e com valores de Índice-Alerta 1 (um), obviamente a soma é dois, mas se o risco é o mesmo, no processo de mortalidade soma o índice-Alerta também devia ser 1. Este gráfico dá importância aos riscos individuais, das regiões, e é expectável que a forma cumulativa final seja em grande medida proporcional ao risco global.

Na Figura 58 a informação é mais clara, não se acumulam os índices-Alerta das regiões, apenas se representa a evolução cumulativa dos índices-alerta ao longo

do tempo. Junta-se o índice-alerta relativo ao índice-ÍCARO nacional (chamou-se-lhe, no gráfico, índice-Alerta-ÍCARO nacional). Note-se que o índice de risco global, nacional, se encontra sistematicamente abaixo do risco da região Litoral Centro apesar de representar em termos absolutos mais óbitos.

A Tabela 47 mostra os índices-Alerta-ÍCARO cumulativos tal como teriam sido calculados do final da época de vigilância de 2009 e as respectivas estimativas finais de excesso de mortalidade. Veremos na secção 3.6.4., que começa na página 252, que estas estimativas, definidas *a priori*, independentes de quaisquer dados de mortalidade relativos ao fenómeno em causa, se relacionam fortemente com a magnitude dos impactos efectivamente verificados. Atente-se ainda, na proximidade numérica do excesso de mortalidade estimado pelo soma das estimativas regionais, da estimativa obtida a partir do nível nacional, apesar das discrepâncias dos índices-Alerta-ÍCARO cumulativos finais (como já se tinha relevado).

Toda esta informação e a forma como se perspectiva a sua possível apresentação parecem dar uma ideia mais clara e persistente do risco associado à ocorrência de calor.

Tabela 47. Índices-Alerta-ÍCARO relativos à época de Vigilância ÍCARO de 2009, e respectivas estimativas de excesso de mortalidade usando a propriedade 6 (enunciada na página 209).

| Região | Cumulativo Índice-Alerta-ÍCARO | Estimativa de excesso de mortalidade |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Interior Norte | 5,18 | 52,8 |
| Litoral Norte | 4,18 | 78,3 |
| Litoral Centro | 28,55 | 506,6 |
| Interior e Sul | 9,07 | 102,1 |
| total | | 739,9 |
| Nacional | 23,96 | 719,9 |

3.4.6. Discussão e Conclusões

Esta secção é na sua essência *uma ponte* entre a génese do Índice-ÍCARO/do sistema de vigilância ÍCARO e o seu futuro. Essas definições originárias partiram de um modelo de previsão simples e de necessidades práticas de comunicação do risco associado à ocorrência de calor. Torna-se agora, aqui, claro que teria sido possível sistematizar mais e melhor estas construções, não fosse a falta de experiência e de conhecimento do fenómeno, de ondas de calor em causa, verificada no passado.

Não é possível dar uma referência concreta, mas apesar da construção simples do Índice-ÍCARO, a sua compreensão nunca foi tão fácil como à partida se suponha. Tendo a dificuldade aumentado à medida que se foram ensaiando novos Índices-ÍCARO. A profusão de índices começou a mostrar que estes não se interpretavam todos da mesma forma. A sistematização que aqui se fez das propriedades do índice-ÍCARO e o estudo dos seus limites de variação ajuda a perceber o problema e estabelece as bases para novas propostas.

A descrição feita do historial do Índice-ÍCARO 1999 permite perspectivar as necessidades que estiveram na base de todo o trabalho desenvolvido nesta dissertação. Demonstra mesmo, que era obrigatório ser-se mais ambicioso, e conseguir capacitar todo o sistema de vigilância de maior poder de especificidade, isto é, com a capacidade de “ver” diferentes realidades a ocorrer em simultâneo em todo o país.

A criação de um índice-ÍCARO nacional traduz a vontade inicial (desta dissertação) de construir um sistema de âmbito nacional, com essa capacidade de especificidade. O estabelecer deste índice, como a média ponderada dos índices regionais, **demonstrou**, por um lado, **que o objectivo era alcançável**, e por outro, realça algo interessante que merece destaque, apesar de os vários modelos de previsão definidos em cada região serem diferentes, baseados em quantidades (numero médios de óbitos) distintas, apresentarem qualidades de ajustamento aos dados limitadas, o respectivo resultado composto resulta melhor que um único modelo de qualidade superior para uma região específica a tentar cumprir o papel de todas as regiões. Obviamente, esta última constatação só é possível porque, de facto, as especificidades/

heterogeneidades regionais existem, donde um modelo que não considera condições específicas não lhe pode dar respostas particulares.

O desenrolar do trabalho levou à criação de o Índice-Alerta-ÍCARO, um enquadramento genérico para os índices-ÍCARO, que permitirá uma melhor interpretação dos riscos associados ao calor, quer ao nível nacional quer ao nível local.

Sendo assim expectável que a vigilância das ondas de calor, além de tecnicamente mais apurada, possa ser melhor compreendida por todos os actores nela envolvidos. E que possa, de uma vez por todas, no futuro próximo, conseguir ganhos mensuráveis de vidas que se perderiam por causa do calor caso o sistema não existisse⁶¹. Pois apesar de mais de uma década no terreno ainda não foram conseguidas provas de tais ganhos.

⁶¹ Por exemplo Montero Rubio 2010 (13. Montero Rubio JC, Miron Perez IJ, Criado-Alvarez JJ, Linares C, Diaz Jimenez J. [Heat health warning systems: possibilities of improvement]. Rev Esp Salud Publica. 2010 Mar-Apr;84(2):137-49.) afirma que em 2004 muitos países tinham implementado algum tipo de plano de prevenção contra temperaturas excessivas que já haviam demonstrado, noutras latitudes, capacidade de impedir uma grande proporção de mortes evitáveis.

<Página em branco>

3.5 Construção de um Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade em Portugal

A experiência de avaliação rápida da mortalidade para confirmação dos efeitos da onda de calor em 2003 relatada na revista *Eurosurveillance* (publicada em 2005) gerou um sistema de vigilância da mortalidade diária (VDM) que está em funcionamento desde então em conjunto com o Sistema de Vigilância ÍCARO (o sistema de *Heat Health Watch Warning System* Português), cuja existência e funcionamento assenta essencialmente no trabalho descrito ao longo da presente Tese.

Este capítulo em particular descreve o sistema de VDM, como ele evoluiu para se tornar um sistema automatizado a funcionar todo o ano, e mostra brevemente o seu potencial de utilização, recorrendo aos dados de mortalidade de 2006 a Junho de 2009 recolhidos pelo próprio sistema.

O novo sistema tem vantagens importantes, tais como: a aquisição de informação é rápida; é completo (a mortalidade de toda a população está incluída); é leve nas informações trocadas (apenas data do óbito, idade, sexo, local de registo de óbito); permite a detecção rápida de impactos na mortalidade (5 dias para efeitos ténues, menos para impactos mais substanciais); e permite a rápida quantificação preliminar dos impactos que geralmente levariam vários anos para ser feitas. Tais características mostram que este sistema de vigilância é uma ferramenta muito poderosa para a acção em saúde pública.

O sistema VDM também representa um exemplo de cooperação inter-institucional, reunindo, por outro lado, organizações de dois ministérios, Saúde e Justiça, com vista a melhorar o conhecimento sobre a mortalidade da população.

3.5.1. Introdução

A vigilância da mortalidade em curso para detectar e estimar a magnitude das mortes causadas por epidemias, a emergência de novas doenças, ou outros eventos de saúde pública é encarado como uma ferramenta importante. Esforços estão a ser feitos actualmente para desenvolver um sistema deste tipo a nível europeu (80)

Em Portugal, como demonstra a exposição neste trabalho, as ondas de calor demonstraram ser um importante problema de saúde (16) e, desde 1999 está em funcionamento o sistema Português vigilância de ondas de calor, conhecido como o Sistema de Vigilância ÍCARO (ÍCARO) (75, 76).

Inicialmente, na sua génese, este sistema de vigilância de ondas de calor baseou-se em modelos estatísticos que correlacionavam a ocorrência de calor com a mortalidade observada no distrito de Lisboa, recorrendo às ideias que estiveram na génese do modelo ÍCARO 1999 (36), e cuja adaptação, características estatísticas e avaliação são apresentadas na secção 3.2.2. O risco de ondas de calor era estimado e comunicado aos diferentes parceiros do sistema recorrendo a um índice simples chamado Índice-ÍCARO (75, 77, 81) discutido na secção 3.4. O trabalho desenvolvido acima mostra a evolução do sistema ÍCARO em termos da construção, evolução e actualização dos respectivos modelos subjacentes desde a sua génese até ao momento actual.

Desde que o sistema de vigilância ÍCARO emitiu pela primeira vez um alerta, em 2000, as esperadas acções de mitigação de saúde pública tendiam a aguardar a confirmação do impacto sobre a população (por exemplo, excesso de mortalidade) e quando as evidências de excesso de mortalidade eram obtidas já era demasiado tarde para acção. Dado que não havia nenhum método rápido de obter estas evidências, existia a necessidade clara de uma ferramenta que pudesse proporcioná-la de forma célere e inequívoca.

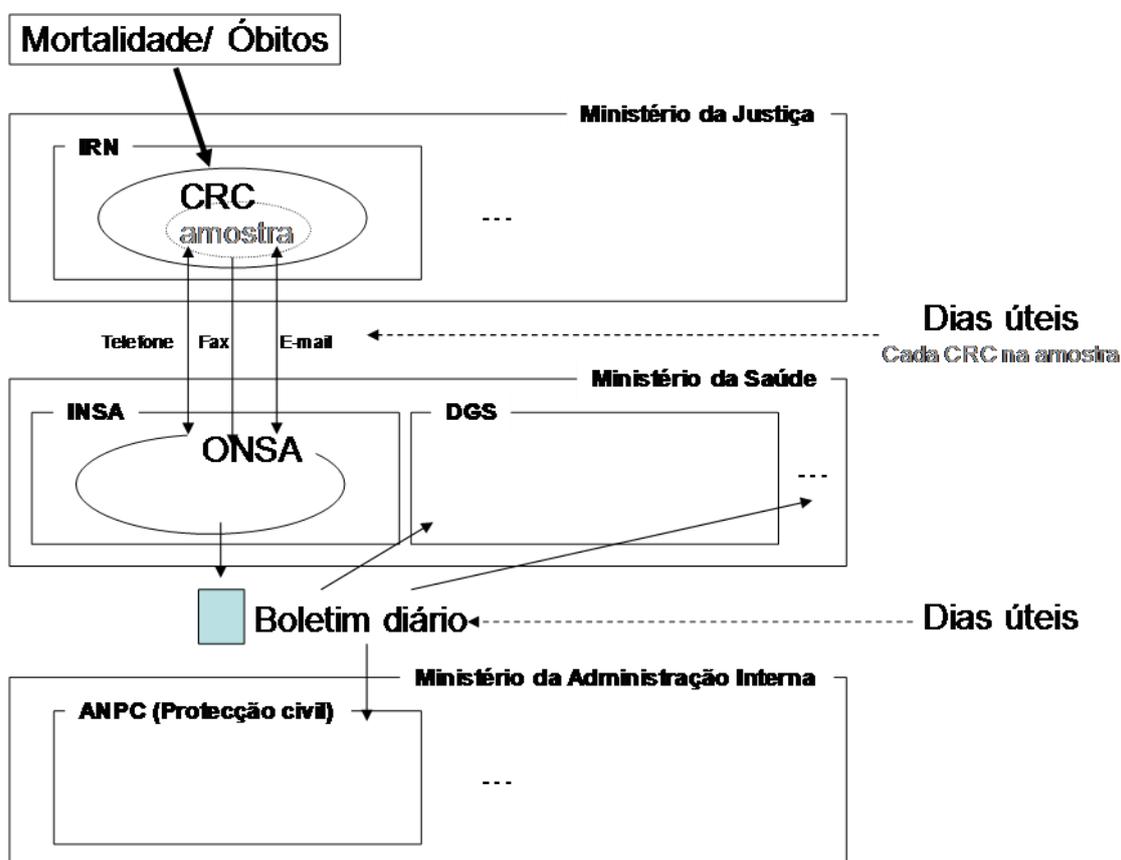
Foi neste enquadramento que um sistema de vigilância de mortalidade foi ensaiado no quente Verão de 2003. Essa primeira versão (adiante designada como *VDM ad-hoc*) foi baseada no número diário de registos de óbito feito num

conjunto de Conservatórias do Registo Civil, que representavam cerca de 40% de toda a mortalidade Portuguesa (26). Na verdade, esta versão preliminar permitiu a confirmação do excesso de mortalidade prevista pelo Sistema de Vigilância ICARO durante a ocorrência da própria onda de calor de Julho/Agosto de 2003 (26, 77), o que proporcionou mesmo uma efectiva intervenção (não planeada) que pode ter contribuído para a mitigação dos impactos da própria onda de calor em causa.

3.5.2. Génese do sistema de vigilância diária da mortalidade - sistema VDM Original (2004-2007)

Conforme relatado em artigo da *EuroSurveillance* (26), o sistema VDM *ad-hoc*, testado durante a onda de calor de 2003, assentou numa amostra de 31 Conservatórias do Registo Civil (CRC), onde todas as capitais de distrito de Portugal Continental estiveram representadas. No Verão de 2004, foi lançada a vigilância diária da mortalidade (sistema VDM Original). Esta versão diferia do sistema *ad-hoc* no conjunto de CRC, que consistia agora numa amostra de 67 CRC, juntado às 31 CRC do primeiro sistema (VDM *ad-hoc*) uma amostra de CRC escolhida aleatoriamente do conjunto daquelas que não se situavam em capitais de distrito. Este sistema VDM original funcionou de 2004 a 2007 e os dados recolhidos consistiram apenas nos números diários de óbitos registados em cada CRC por data do registo (total e para os indivíduos com 75 anos ou mais). Os dados eram enviados para o Instituto Nacional de Saúde (INSA), no final do dia ou recolhidos na manhã seguinte. Os dados eram transmitidos principalmente por fax e telefone, com apenas algumas conservatórias a fazerem troca de dados por e-mail. Algumas outras conservatórias preferiam a solicitação activa da informação através de um telefonema matinal. Esta versão não automatizada do sistema necessitava de 6 a 7 pessoas no INSA para ter o conjunto de dados pronto a horas (antes das 11 da manhã). Dada a interdependência original deste sistema VDM com o sistema ÍCARO, as respectivas informações de mortalidade eram divulgadas no boletim ÍCARO

diariamente aos seus parceiros, que consistiam nas autoridades Nacionais de Saúde e de Protecção Civil e seus representantes (Figura 59).



CRC - Conservatórias do Registo Civil
 DGS - Direcção Geral da Saúde
 INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge
 IRN - Instituto dos Registos e Notariado
 ONSA - Observatório Nacional de Saúde (actualmente Departamento de Epidemiologia do INSA)

Figura 59: Sistema VDM original 2004-2007

Apesar de ser complexo em termos logísticos, este sistema VDM inicial era funcional e executado diariamente (dias úteis). No final do Verão de 2005 foi decidido alargar a experiência de vigilância a todo o ano (em 2004 funcionou apenas no Verão).

A Figura 60 (abaixo) mostra a evolução gráfica do sistema VDM original. O primeiro gráfico rotulado "VDM 2004" baseou-se na experiência do ano anterior (2003). A respectiva linha de base semanal (por dias da semana) foi criada a partir da informação de 2003 relativa à amostra de 31 CRC do sistema VDM *ad-hoc*, omitindo as semanas com feriados nacionais e em que se

identificaram períodos com temperaturas acima dos 32°C. Em 2004, a amostra representou 67 CRC, para fins de comparação, a mortalidade da amostra de 31 CRC continuou a ser monitorizada diariamente. No ano seguinte, "VDM 2005" (2.º gráfico da Figura 60 ou Figura 62) a linha de base semanal foi construída da mesma forma, utilizando a informação da amostra de 67 CRC de 2004. Foi curioso obter um padrão ligeiramente diferente, principalmente às sextas-feiras, com a adição de uma amostra aleatória de conservatórias menos importantes (com menores valores de registos de óbito). A ocorrência de feriados nacionais ou locais (em importantes centros como Lisboa [Santo António - 13 de Junho] e Porto [São João - 24 de Junho]) gerou atrasos na chegada de informação de mortalidade. Igualmente, uma greve de serviços no Ministério da Justiça, em 2005, afectou o sistema de informação.

Em 2006 ensaiou-se um novo esquema de criação das linhas de base, o qual incluiu um modelo matemático que considerava o atraso de informação devido a ocorrência de fins-de-semana e dias de férias.

$$R_{i,w} = \alpha \times N_i + (1 + \gamma_w) \beta A_i + \varepsilon_i$$

Com

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$$0 \leq \beta \leq 1$$

$$-1 \leq \gamma_w \leq 1$$

onde,

$R_{i,w}$ - representa o número de óbitos registados no dia i conforme o dia da semana w ,

N_i - representa o número de óbitos que ocorrem no dia i ⁶²,

A_i - representa o número de óbitos não registados até ai dia i ,

$\alpha \times 100\%$ - representa a proporção média de óbitos que são registados no próprio dia do óbito⁶³,

$\beta \times 100\%$ - representa a proporção média de registos de óbitos em atraso que são registados,

γ_w - representa o acréscimo proporcional de registo de óbitos em atraso de acordo com o dia da semana⁶⁴, e

ε - constituindo uma componente de erro aleatório com distribuição normal e média zero.

O modelo obtido foi:

$$R_{i,w} = 0,73N_i + (1 + 0,029Seg + 0,043Ter + 0,048Qua + 0,075Qui + 0,161Sex) \times 0,435A_i \quad 65$$

Estes resultados matemáticos apontam para que o registo de óbitos consiste essencialmente em aproximadamente $\frac{3}{4}$ do registo dos óbitos que ocorrem no próprio dia mais cerca de metade do conjunto de óbitos cujo registo se encontra em atraso, com uma dependência do dia da semana. A dependência com o dia da semana mostra-se crescente, isto é, ao longo do decorrer da semana verifica-se maior recuperação do acumulado de óbitos por registar, com a sexta-feira a

⁶² Pressupõem-se que a mortalidade diária é aproximadamente constante $N_i = N + \varepsilon_i$

⁶³ O parâmetro α foi considerado fixo e determinado empiricamente.

⁶⁴ Assumiu-se que ao fim-de-semana o registo de óbitos é negligenciável e aproximadamente zero.

⁶⁵ Estes resultados foram obtidos a partir dos dados observados na amostra de 67 conservatórias do registo civil no verão de 2005 (de 16/5 a 30/9). As estimativas β e γ_w foram obtidas usando o método de Newton-Raphson implementado no módulo “Solver” do MS Excel 2003, na minimização da função objectivo, $\sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)^2}{e_i}$ onde os valores e_i foram os estimados pelo

modelo e os valores o_i foram os observados.

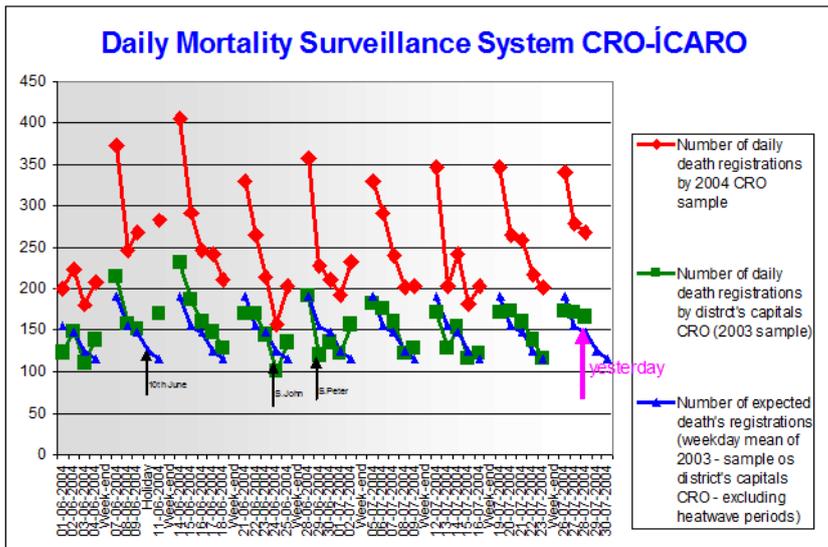
registar um acréscimo substancial sobre os restantes dias da semana. Olhando para os gráficos semanais do registo semanal de óbitos, esses gráficos parecem indicar que se regista mais à segunda-feira, com decréscimo ao longo da semana. A aparente contradição deve-se ao facto de o acumulado de óbitos por registar crescer substancialmente durante o fim-de-semana.

O modelo em análise permitiu, na altura, ter uma ideia sobre se o número de registos de óbito observado diariamente estava de acordo com o esperado. E embora não tivesse todas as propriedades estatísticas usualmente consideradas ideais⁶⁶, modelou de forma adequada os dados como se pode ver no 3.º gráfico da Figura 60. Todavia, a qualidade dos dados actuais, sobretudo a sua disponibilização por data do óbito, torna esta abordagem desnecessária e obsoleta.

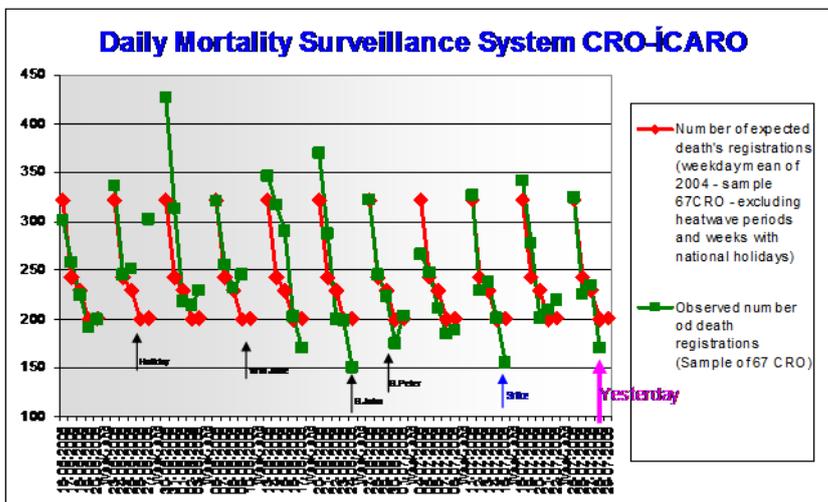
Foi ainda ensaiada uma funcionalidade adicional, que consistiu em acrescentar ao número esperado de óbitos (assumindo ausência de evento de calor), os óbitos previstos pelo modelo ÍCARO (o que só ocorria em períodos efectivos de calor). Os resultados demonstraram que era possível modelar o atraso de informação observado na mortalidade registada, incluindo dados adicionais de excesso de óbitos devidos à ocorrência de calor como se verifica no 3.º gráfico da Figura 60. Esta abordagem mostrou-se limitada apenas porque, na altura, o Sistema de Vigilância ÍCARO usava como índice global um remanescente índice relativo ao distrito de Lisboa (de acordo com a evolução dos índices ÍCARO discutida em capítulos anteriores) e não sobre o Índice Nacional ponderado, que se mostra muito mais calibrado (ver secção 3.4.4.).

⁶⁶ Resíduos com distribuição normal e elevado R^2_{ajustado}

VDM 2004



VDM 2005



VDM2006

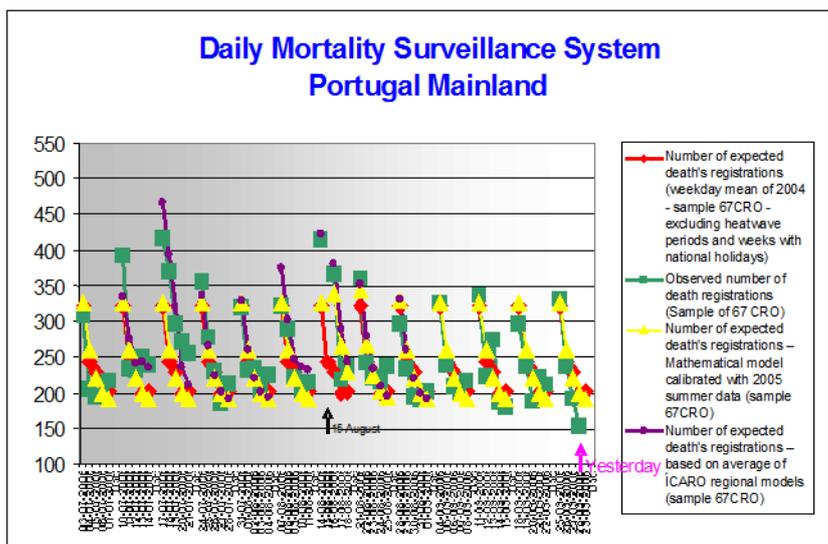


Figura 60: Evolução da informação gráfica e quantitativa do sistema VDM original

Nota: Títulos e legendas estão em inglês. CRO significa Civil Registrar's Offices (conservatórias do Registo Civil). A versão em português é apresentada nas figuras 61, 62 e 63 nas páginas 230 e 231.

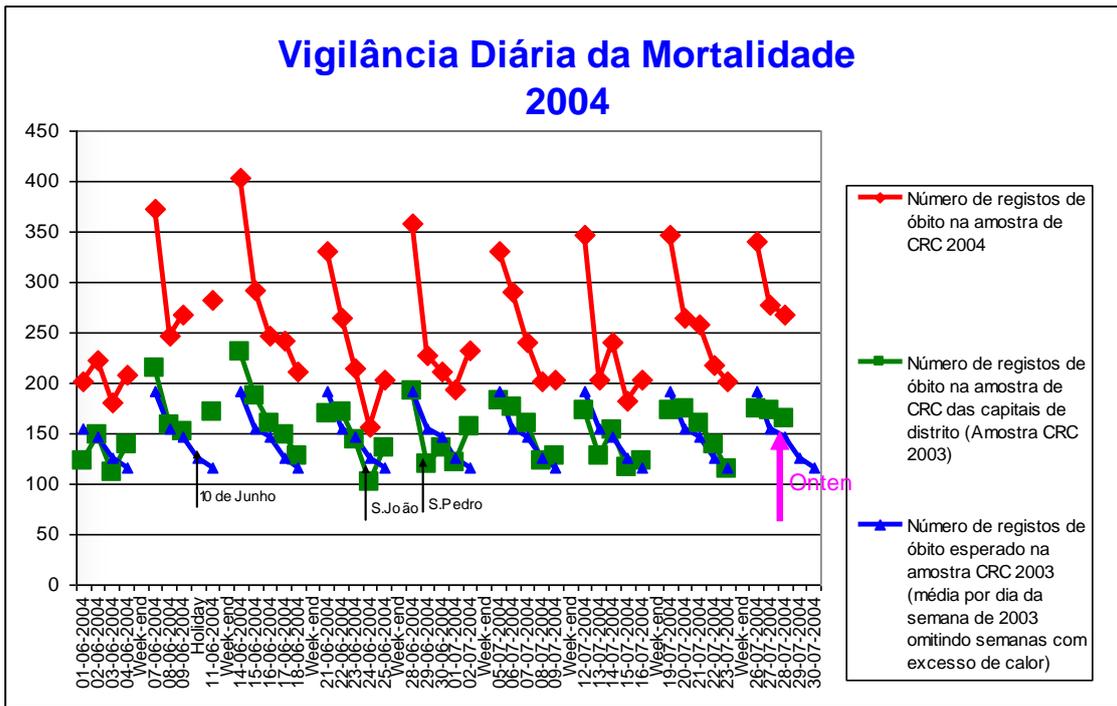


Figura 61: Vigilância Diária da Mortalidade em 2004 (detalhe)

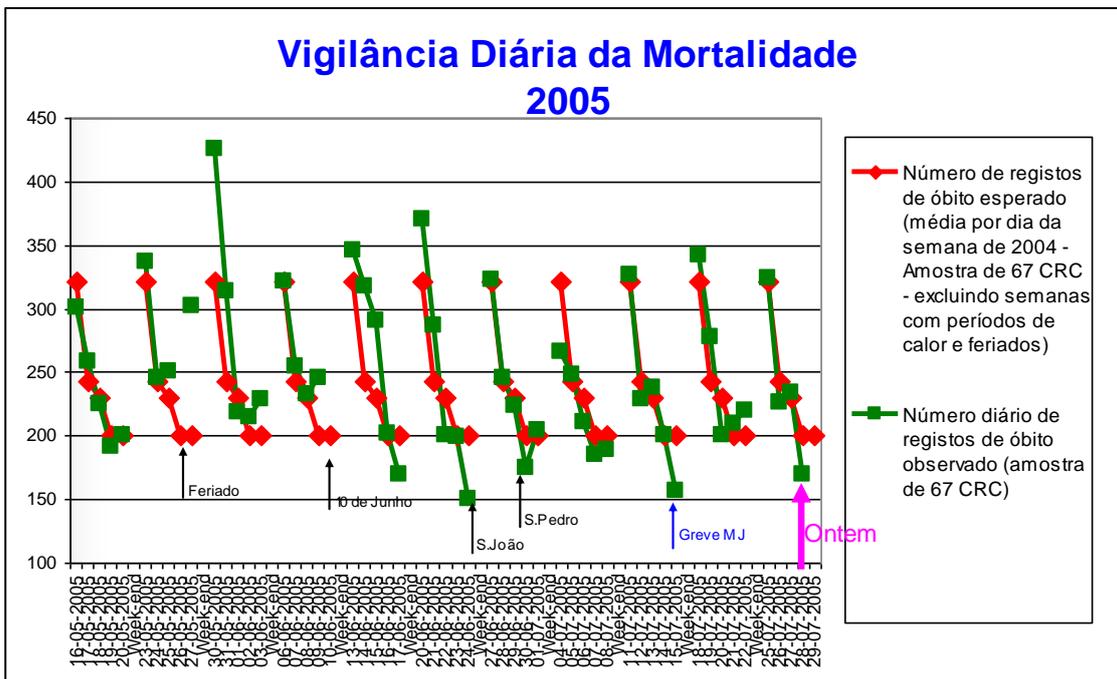


Figura 62: Vigilância Diária da Mortalidade em 2005 (detalhe)

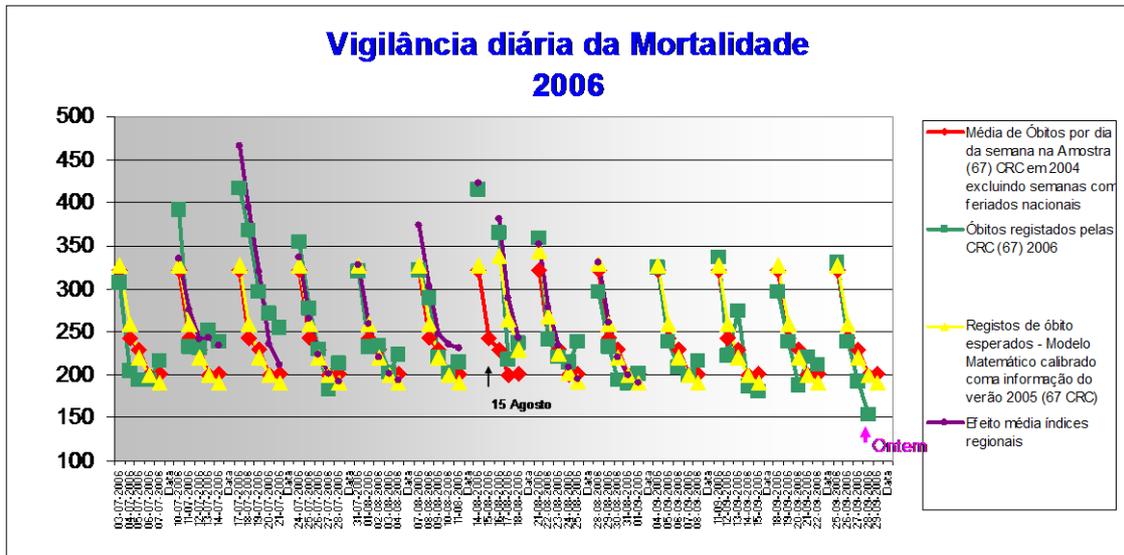


Figura 63: Vigilância Diária da Mortalidade em 2006 (detalhe)

A partir deste sistema de vigilância de mortalidade (VDM Original), várias estimativas do excesso de mortes por episódios de calor foram estimados de acordo com o método directo simples (descrito em 2.3.5.1.1, página 50), por exemplo (82-85).

Embora este sistema de mortalidade estivesse implementado e funcional, a detecção e cálculo do excesso de mortalidade devido a um evento não era imediato. A principal limitação do sistema era a utilização do número diário de registos de óbito em vez do número de óbitos ocorrido em cada dia. O uso do primeiro é fortemente dependente do dia da semana, com a mortalidade do fim-de-semana e feriados a ser adiada sistematicamente para posterior registo (Figura 60). Por conseguinte, só após a experiência de três Verões (2003-2005) foi possível estabelecer um modelo que permitisse modelar e ensaiar a correcção para o desfasamento observado no registo da mortalidade dentro do sistema VDM (como foi mostrado atrás).

3.5.3. O novo sistema VDM (2007-actualidade)

O novo sistema VDM só foi possível porque uma grande mudança técnica ocorreu em 2006 dentro do Ministério da Justiça, onde foi montado um sistema chamado SIRIC (Sistema Integrado de Registos de Identificação e Civil), que visava ligar todas as conservatórias do registo civil e recolher todos os seus dados de forma centralizada. Este sistema integrado de informação do Instituto de Registos e Notariado (IRN), que é responsável pelas conservatórias do registo civil, foi implementado e é mantido pelo Instituto de Tecnologias de Informação da Justiça (ITIJ).

Embora o SIRIC estivesse apenas a meio da integração de todas as CRC (conservatórias do Registo Civil), em meados de 2006 o IRN sugeriu ao INSA para testar uma versão automática do sistema VDM usando troca de dados recolhidos de forma centralizada. Esse teste foi feito com um reduzido conjunto de dados, consistindo apenas nas variáveis data do óbito, idade, sexo e localização geográfica do registo do óbito. A informação foi distribuída por e-mail em formato XML⁶⁷. Esta experiência foi bem sucedida e todas as conclusões levavam a acreditar que um sistema automatizado podia ser viável e útil, pois permitiria poupar recursos a ambas as partes envolvidas. Assim, estavam reunidas as condições para estabelecer um novo sistema automatizado de vigilância da mortalidade na população portuguesa.

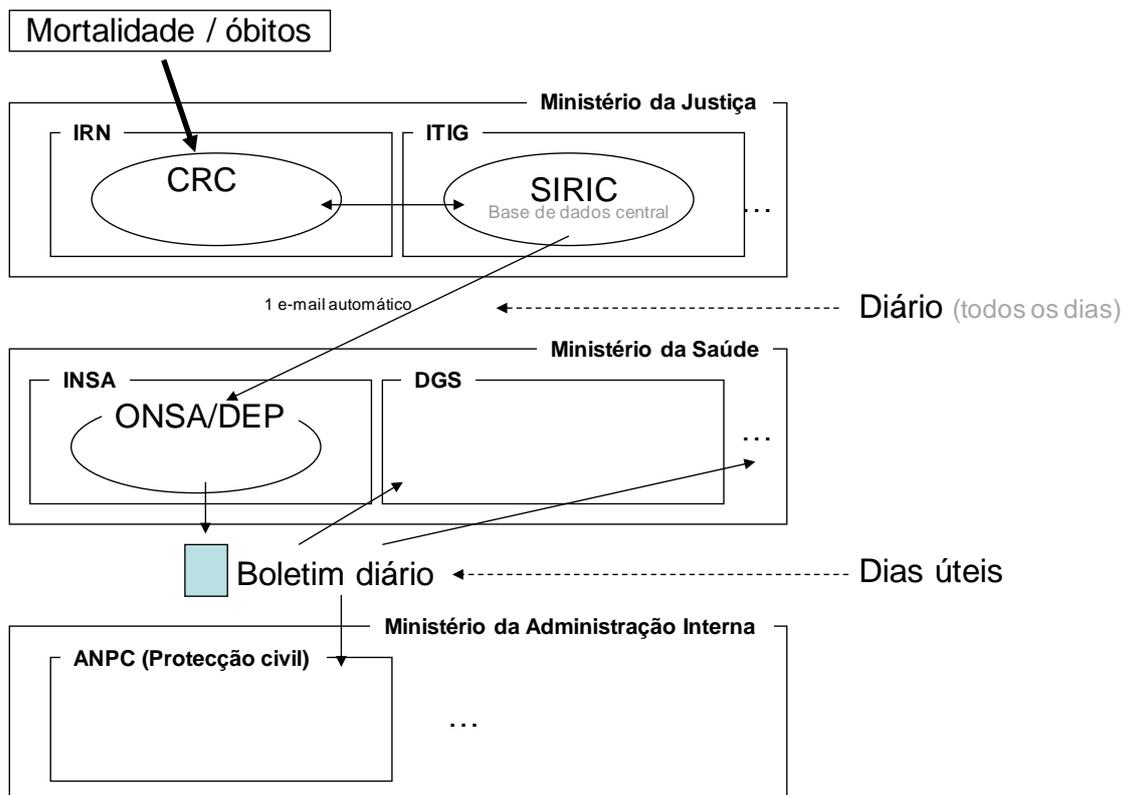
Os dois sistemas, o anterior (o VDM original) e novo (VDM automatizado), coexistiram de Setembro 2006 a Maio 2007, quando o sistema VDM original foi interrompido.

Em Junho 2007 todas as CRC Portuguesas estavam finalmente integradas no SIRIC.

No novo sistema VDM automatizado o fluxo de dados consiste numa mensagem de correio electrónico única, contendo os dados relativos ao dia anterior, enviada pelo ITIJ diariamente, incluindo os dias de fins-de-semana e feriados (Figura 64).

⁶⁷ XML (eXtensible Markup Language) – é um formato de texto flexível que permite a criação de documentação estruturada e crescentemente usado na internet.

O novo sistema VDM automatizado enfrentou alguns desafios tecnológicos, até ser totalmente automatizado no início de 2008. Neste capítulo visa-se demonstrar que o novo sistema automatizado VDM permite uma rápida detecção de eventos e as estimativas rápidas do seu impacto, com recursos reduzidos.



CRC - Conservatórias do Registo Civil
DGS - Direcção Geral da Saúde
INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge
IRN - Instituto dos Registos e Notariado
ONSA - Observatório Nacional de Saúde (actualmente Departamento de Epidemiologia do INSA)

Figura 64: o novo sistema VDM 2007-actualidade

3.5.4. Resultados

Na Figura 65 é possível ver o tipo de dados que recolhe o VDM para perceber alguma da sua história e as suas características potenciais: 1) a partir de 2006 até Junho de 2007, as várias CRC existentes foram progressivamente integradas no sistema SIRIC, resultando em várias etapas, observáveis no simples exame da figura infra; 2) capacidade de assinalar eventos importantes de ondas de calor e da actividade gripal.

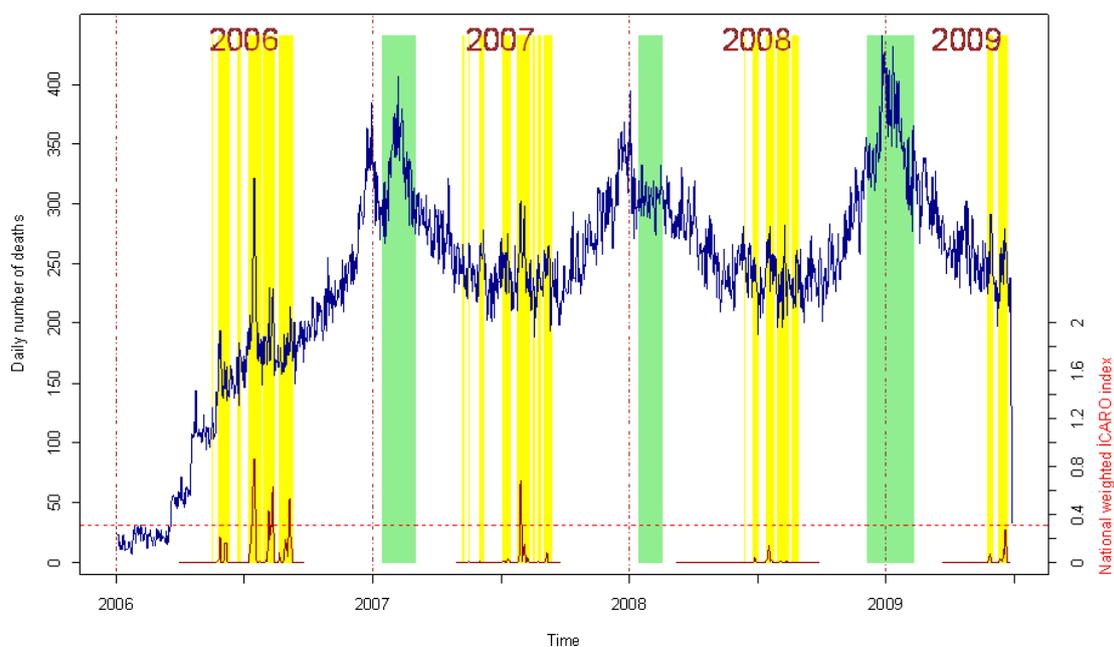


Figura 65: Dados de mortalidade diários observados e registados pelo Novo sistema VDM (azul) e Índice ICARO (vermelho). As barras verdes correspondem aos períodos de epidemia de gripe e barras amarelas, aos períodos de calor.

Nota: No eixo principal, à esquerda, a unidade é “n.º de óbitos diários”; No Eixo secundário, à direita e a vermelho, “Índice ICARO nacional ponderado”.

A informação global recolhida pelo novo sistema VDM, por sexo, por faixa etária e por região do registo do óbito está resumida na Tabela 48 abaixo.

Tabela 48. Número de óbitos registados no Sistema VDM partir de 2006 até Junho de 2009: total, por sexo, por faixa etária e por região de registo da morte.

| | | n | % |
|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------|
| Total | | 264427 | 100,0% |
| Sexo | | | |
| | Masculino | 135832 | 51,4% |
| | Feminino | 128475 | 48,6% |
| | desconhecido | 120 | 0,045% |
| Grupo etário | | | |
| | 0-14 | 1462 | 0,6% |
| | 15-24 | 1366 | 0,5% |
| | 24-44 | 9393 | 3,6% |
| | 45-64 | 34991 | 13,2% |
| | 65-74 | 43896 | 16,6% |
| | 75 + | 169717 | 64,2% |
| | desconhecido | 3602 | 1,4% |
| Região (do registo do óbito) | | | |
| | Norte | 76880 | 29,1% |
| | Centro | 65017 | 24,6% |
| | Lisboa | 69075 | 26,1% |
| | Alentejo | 22441 | 8,5% |
| | Algarve | 12022 | 4,5% |
| | Açores | 5814 | 2,2% |
| | Madeira | 6546 | 2,5% |
| | outro/estrangeiro | 6632 | 2,5% |

3.5.4.1 Atraso da informação no sistema VDM

Pareceu importante entender o atraso da chegada da informação ao sistema (tempo, em dias, desde a ocorrência da morte até à inclusão no sistema VDM) para definir os potenciais recursos que podem ser concebidos e as análises dos dados que podem ser realizadas de acordo com o atraso e com o fenómeno de interesse em estudo.

À semelhança do que foi descrito anteriormente todos os dias da semana têm as suas especificidades em termos de atrasos de informação (Figura 66). No entanto, é notável que, em geral, 14,1% dos óbitos são incluídos no sistema VDM no próprio dia da ocorrência⁶⁸, 58,0% no prazo de um dia, 77,9% em dois dias, 94,2% dentro de três a quatro dias, e 98,0% estão incluídos no prazo de sete dias.

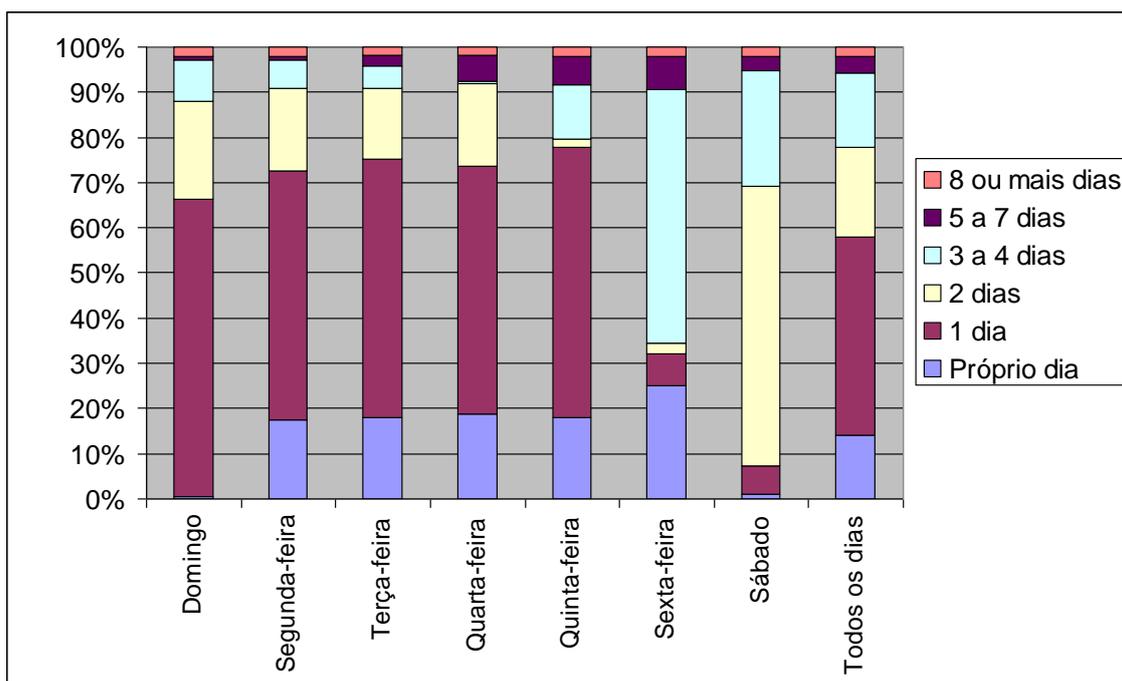


Figura 66. Distribuição da prontidão e atraso da inclusão de dados no sistema VDM (em dias) a partir das datas de ocorrência da morte, do seu registo e envio para o sistema, segundo o dia da semana (Dados de 5 de Junho de 2007 a 4 de Junho de 2009)

⁶⁸ Estes óbitos são registados nas conservatórias no próprio dia e a informação é enviada automaticamente para o sistema VDM no final desse mesmo dia.

A maior proporção de inclusão de mortalidade no mesmo dia da ocorrência foi observada nas sextas-feiras. As sextas-feiras são também os dias da semana que a inclusão de toda informação no sistema demora mais tempo, com apenas 87,3% desta incluída no prazo de quatro dias. Na prática, os diferentes padrões por dia da semana parecem ser simples consequência do fim-de-semana, em que apenas um número muito reduzido de cartórios civis estão abertos para que se proceda ao registo de óbitos (Figura 66).

O atraso nos dados de mortalidade também mostrou dependência dos meses de registo (Figura 67), embora essa dependência seja relativamente fraca e muito mais difícil de apreender do que no caso dos dias da semanas. Janeiro-Março teve o mínimo de atraso, com mais de 14,7% de dados registados no mesmo dia do evento de mortalidade e mais de 80% em dois dias. Os maiores atrasos na inclusão da informação no sistema relativamente ao mês de ocorrência do óbito ocorrem em Abril, Agosto e Dezembro, e este resultado era esperado, uma vez que esses meses estão associados a períodos de férias. Foi na mortalidade do mês de Dezembro que se observou o valor mínimo de mortalidade registada no próprio dia de ocorrência do óbito, situando-se aquele em 12,2%, seguido logo pelos meses de Verão, com cerca de 13%. A chegada de dados no prazo de dois dias nos meses associados a períodos de férias (Abril, Agosto e Dezembro) foi sempre inferior a 75% em Dezembro, atingindo apenas 71,5%. Este último facto contrasta com o que se verifica na mortalidade relativa aos restantes meses do ano, nos quais o valor mais baixo de chegada de informação do óbito dentro de dois dias após o óbito é 76,6% (mês de Novembro) e o respectivo melhor valor é o do mês de Março, com 81,6% (Figura 67).

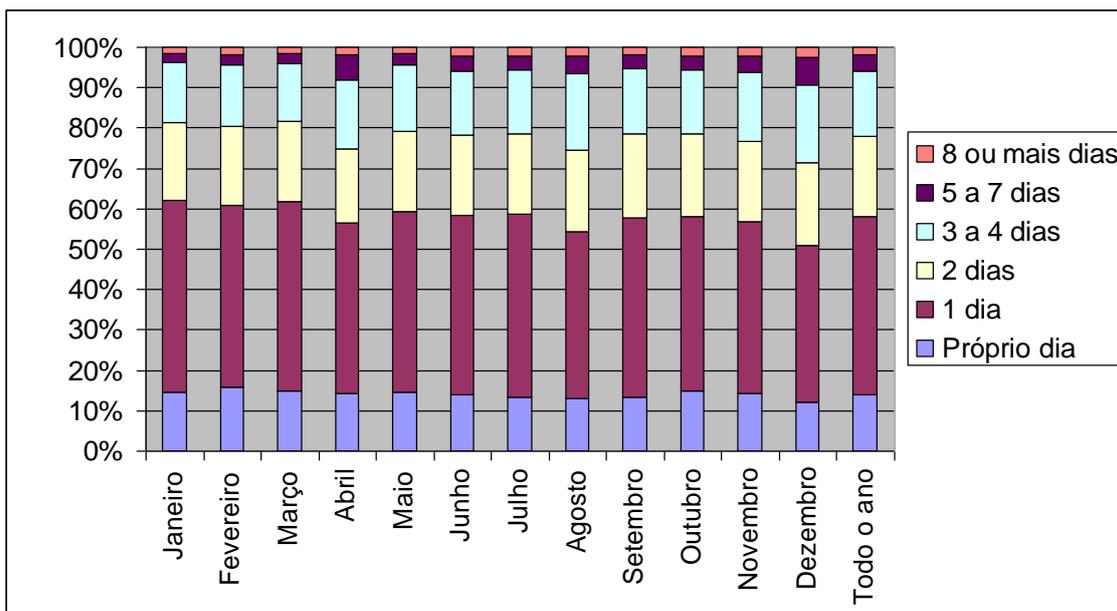
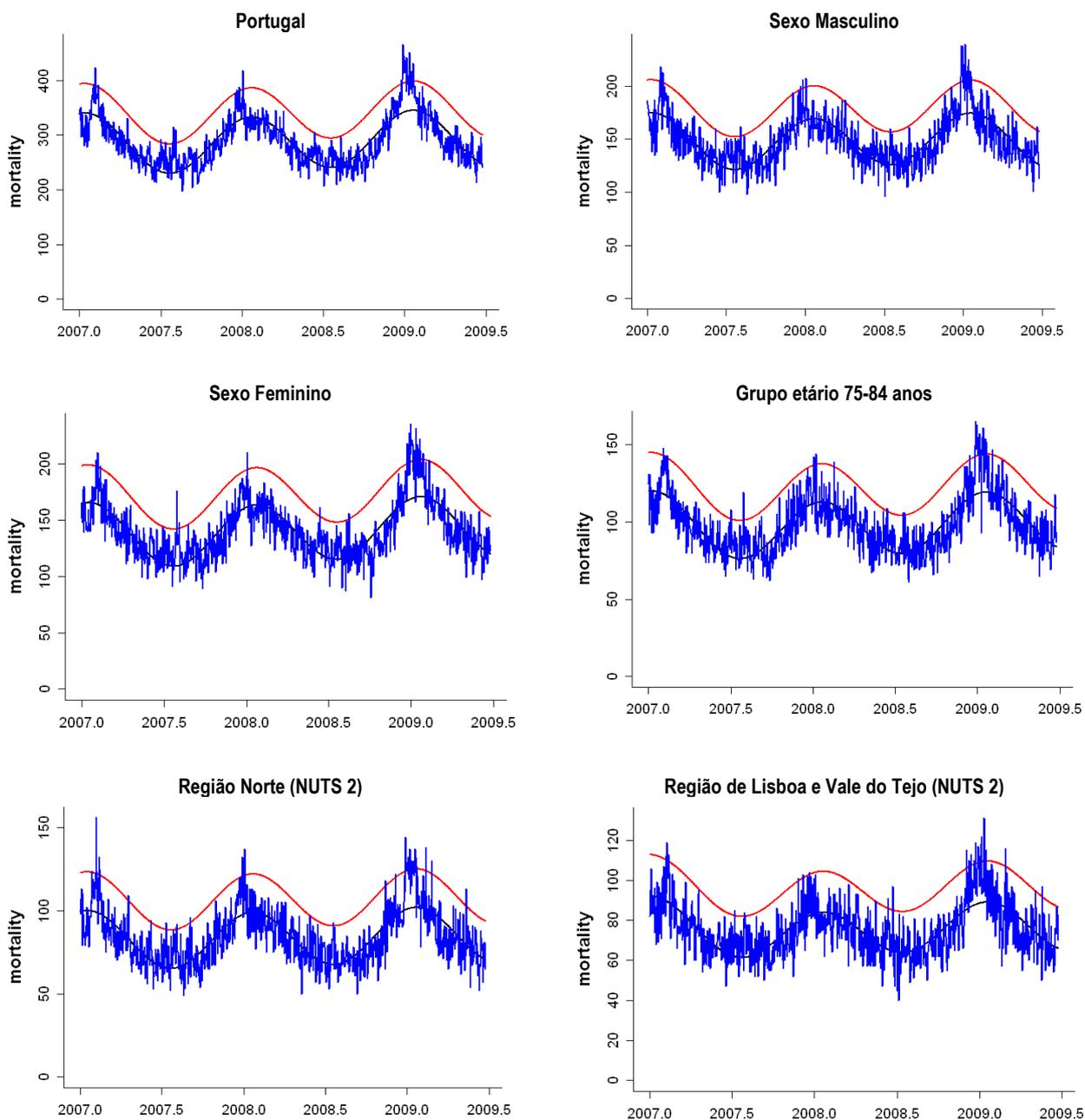


Figura 67. Distribuição da prontidão e atraso da inclusão de dados no sistema VDM (em dias) a partir das datas de ocorrência da morte, do seu registo e envio para o sistema, segundo o mês da ocorrência do óbito (Dados de 5 de Junho de 2007 a 4 de Junho de 2009)

3.5.4.2 Confirmação e detecção de eventos com impacto na mortalidade

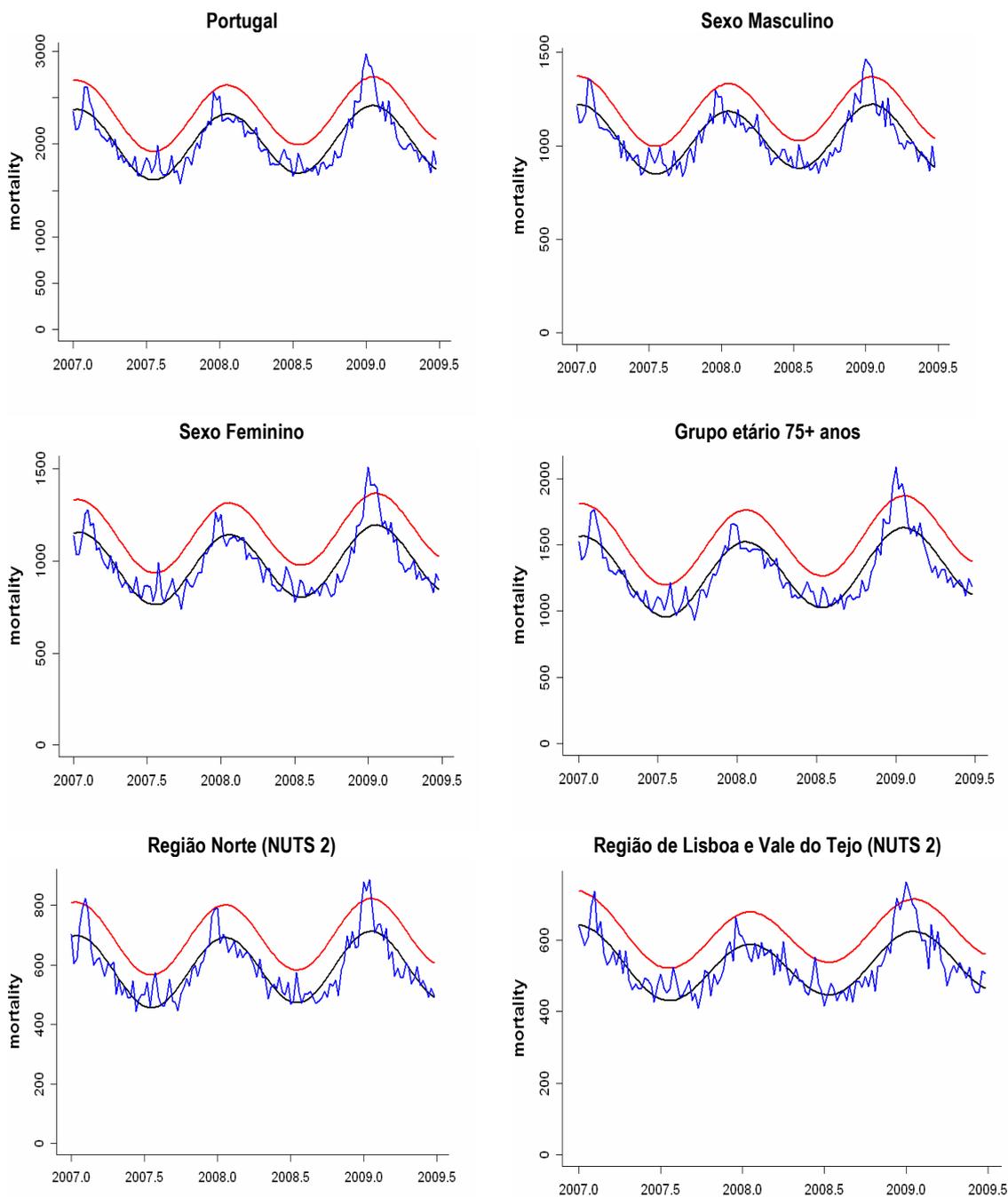
3.5.4.2.1 *Detecção*

A Figura 68 e a Figura 69 mostram os resultados do ajustamento do modelo cíclico ao total dos dados e à sua estratificação em diversos níveis (sexo, idade e grupo idoso nas duas principais regiões do território Português), quer diário quer semanal. É importante salientar que os principais eventos conhecidos (actividade gripal e de calor) são identificados como esperado.



Linha azul – mortalidade observada; **linha preta** – linha de base da mortalidade; **linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança a 95% da linha de base da mortalidade; **0.5** indica meio ano.

Figura 68. Representações gráficas dos dados de Mortalidade VDM diários e ajuste dos modelos de regressão cíclica (Janeiro 2007 a Junho 2009) para efeitos de detecção de períodos com excesso de mortalidade, sem definição *a priori* de eventos, para o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 aos 84 anos e por duas grandes regiões



Linha azul – mortalidade observada; **linha preta** – linha de base da mortalidade; **linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança a 95% da linha de base da mortalidade; **No eixo xx - .0** indica o início do ano e **0.5** indica meio ano.

Figura 69. Representações gráficas dos dados de Mortalidade VDM semanais e ajuste dos modelos de regressão cíclica (Janeiro 2007 a Junho 2009) para efeitos de detecção de períodos com excesso de mortalidade, sem definição *a priori* de eventos, para o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 ou mais anos e por duas grandes regiões

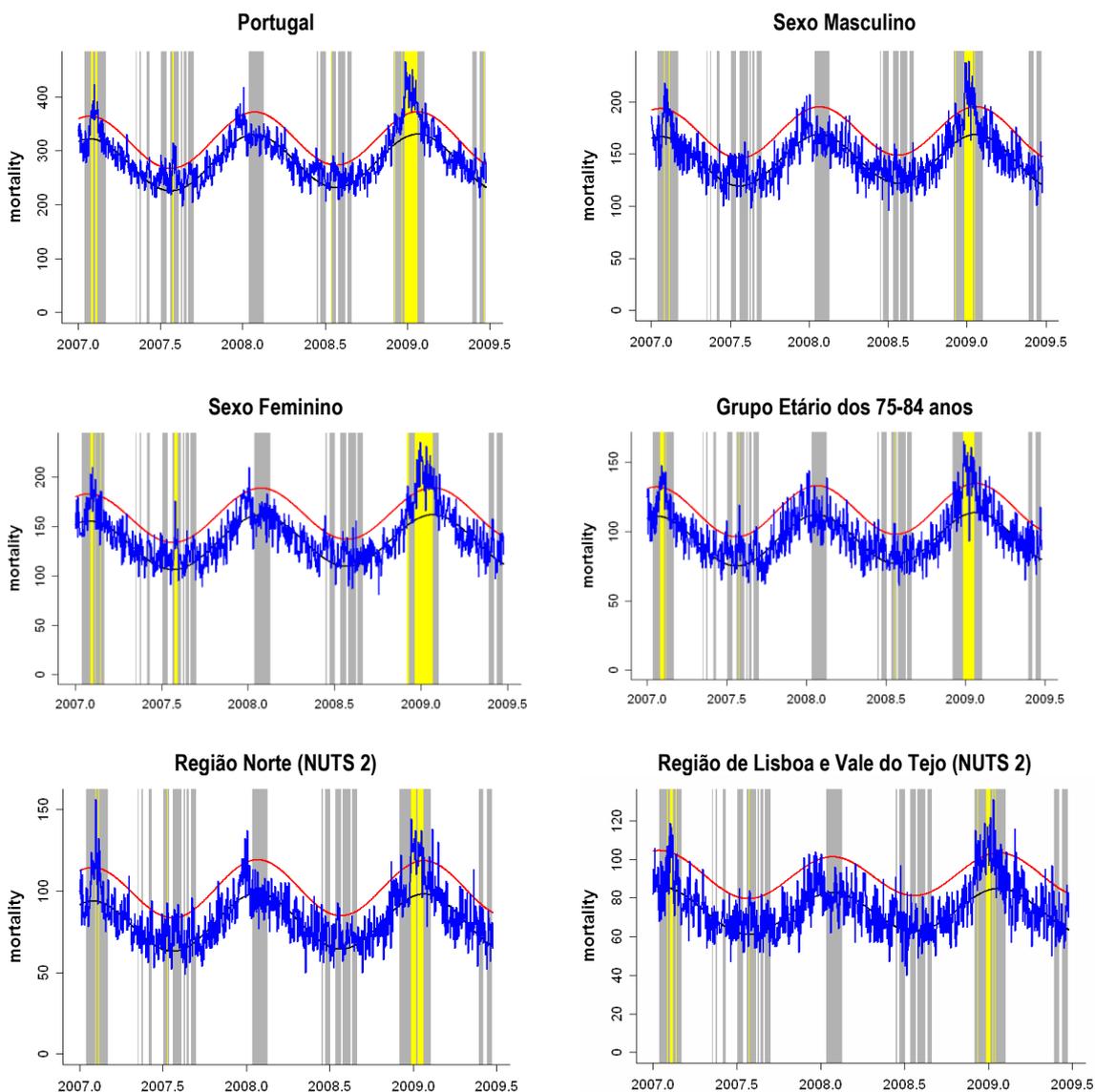
De facto, os períodos da gripe de 2006/7 e 2008/9, e os períodos de calor de 2007 e 2008, foram identificados usando os dados diários e semanais. No entanto, os dados diários pareciam gerar melhor prova da ocorrência desses eventos do que os dados VDM agregados por semana.

Estes resultados evidenciaram a falta de evidências de qualquer impacto sobre a mortalidade da actividade gripal observada durante a época de 2007/8. Isso era esperado, uma vez que as taxas semanais de incidência gripal, estimadas pela Rede Médicos-Sentinela, foram baixas e mostraram-se dentro do respectivo intervalo de confiança a 95% para essa actividade. O aumento consistente da mortalidade identificado na série diária da mortalidade(Figura 65) no final do ano de 2007 não correspondeu a qualquer evento conhecido.

3.5.4.2.2 Confirmação

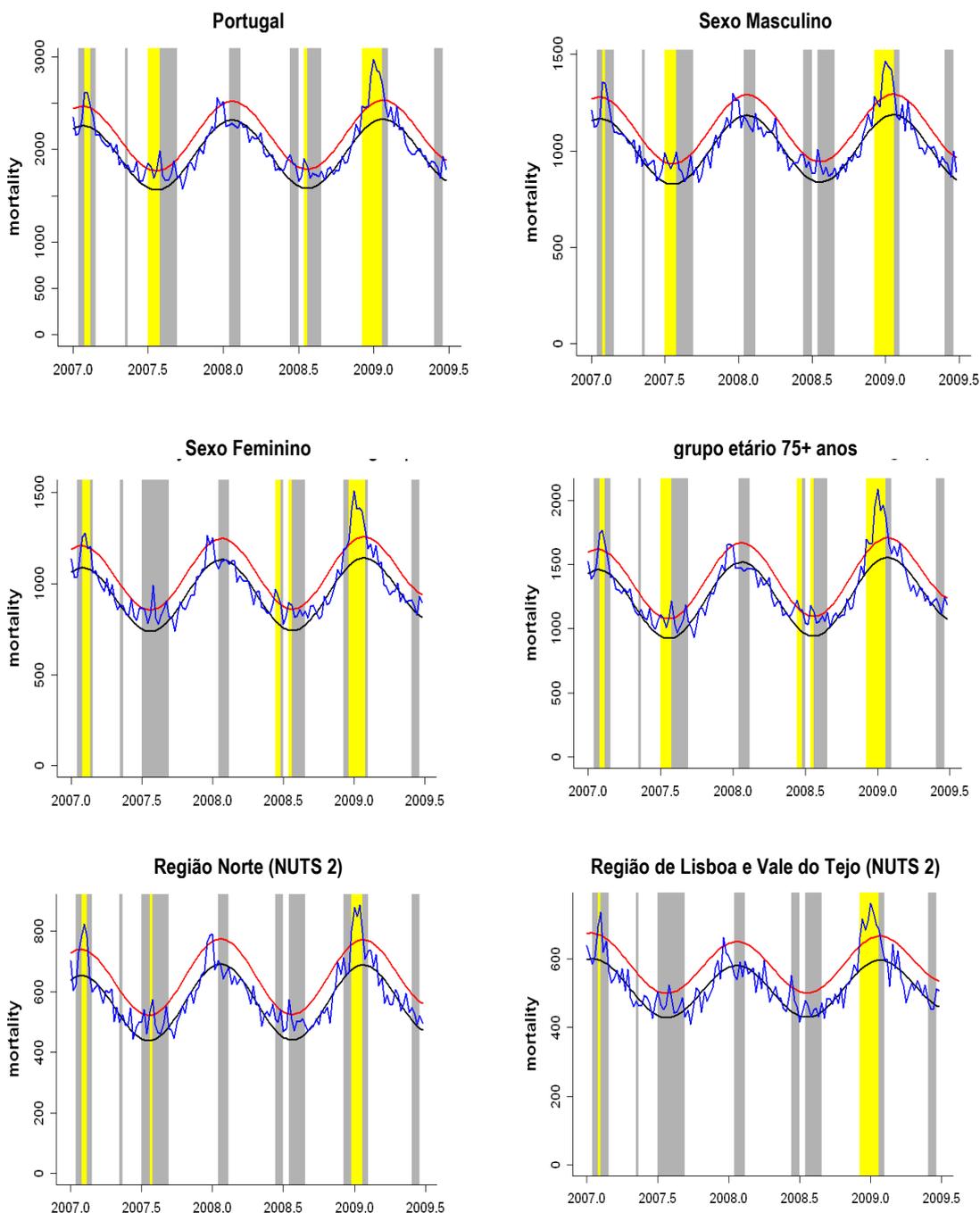
A Figura 70 e a Figura 71 demonstram o impacto dos eventos conhecidos as épocas de gripe 2006/7 e 2008/9, e os períodos de calor de 2007, 2008 e fornece alguma evidência de um impacto na mortalidade do período de calor observado no Verão de 2009.

Amas as abordagens (diária e semanal) foram apropriadas para a confirmação dos eventos. Os dados agregados semanalmente confirmaram um impacto da actividade gripal nas épocas de 2006/7 e de 2008/9 e dos períodos de calor de 2007 e 2008. Por sua vez os dados diários mostrou menos excesso de mortalidade associada aos períodos de calor de 2008e melhor evidência de excesso de calor do Verão de 2009. Também aqui, nenhuma das abordagens revelou qualquer evidência de impacto da actividade gripal da época de 2007/8, mas mostraram mortalidade acrescida no final do ano de 2007.



Linha azul – mortalidade observada; **linha preta** – linha de base da mortalidade; **linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança a 95% da linha de base da mortalidade; **barra cinzenta** – períodos de eventos conhecidos; **barras amarelas** – períodos com excesso de mortalidade confirmado (dois ou mais dias consecutivos); **No eixo xx - .0** indica o início do ano e **0.5** indica meio ano.

Figura 70. Ajustamento de modelos de regressão cíclica aos dados de Mortalidade diários (VDM), com períodos de eventos definidos (respectivos dados omitidos no ajuste do modelo), por total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75 aos 84 anos e por duas grandes regiões (Janeiro 2007 a Junho 2009)



Linha azul – mortalidade observada; **linha preta** – linha de base da mortalidade; **linha vermelha** – limite superior do intervalo de confiança a 95% da linha de base da mortalidade; **barra cinzenta** – períodos de eventos conhecidos; **barras amarelas** – períodos com excesso de mortalidade confirmado (duas ou mais semanas consecutivas); **0.5** - indica meio ano.

Figura 71. Ajustamento de modelos de regressão cíclica aos dados de Mortalidade diários (VDM), agregados por semana, com períodos de eventos definidos (respectivos dados omitidos no ajuste do modelo), por o total de mortalidade, por sexo, por grupo etário dos 75+ anos e por duas grandes regiões (Janeiro 2007 a Junho 2009)

3.5.5. *Discussão e Conclusões*

Estes resultados mostram as vantagens do sistema VDM: é leve, atempado, rápido e completo. Por leveza, queremos dizer que muito pouca informação é transmitida sobre a morte registada, consistindo apenas na data do óbito e do seu registo, bem como do sexo, idade e região de registo do óbito. A residência do indivíduo não foi considerada, a fim de fazer respeitar a confidencialidade dos dados.

O sistema VDM obtém a informação de forma célere e de maneira muito completa. De facto, recolhe 94,2% do número total de mortes dentro de quatro dias e 98% no prazo de 7 dias, permitindo a detecção de impactos sobre a mortalidade de uma forma muito oportuna, e parece ser sensível a fenómenos que são genericamente considerados para a construção de sistemas de vigilância de mortalidade, ou seja, é sensível a fenómenos meteorológicos extremos e à actividade gripal que usualmente ocorre no Inverno (25, 66). De facto, num ano com temperaturas moderadas como foi 2007, os dados do sistema VDM, sem qualquer outra informação adicional, permitiram apontar até eventos com baixo impacto na mortalidade no contexto de identificação de eventos (Figura 68 e Figura 69).

Os resultados mostraram que a demora da entrada de informação de mortalidade no sistema é um pouco dependente do dia da semana, indicando que a mortalidade que ocorre na sexta-feira tem a maior demora inclusão no sistema VDM (três ou mais dias), embora também seja na sexta-feira que se observa a proporção de registo mais elevada da mortalidade do próprio dia. Este padrão pode indicar que a monitorização da mortalidade será menos influenciada pelo atraso à quinta-feira, onde a maioria da mortalidade fim-de-semana anterior já estará integrada. Este será provavelmente o momento ideal para proceder a um ponto da situação da mortalidade da semana anterior.

Os atrasos na entrada da informação no sistema relacionados com a semana e mês são, basicamente, um reflexo da organização social do tempo, ou seja, de como organizamos colectivamente o tempo. Esta a organização que a sociedade faz do tempo permanece relativamente inalterada ao longo dos anos, e assim a

detecção e determinação de eventos com impacto na mortalidade deve ser feita recorrendo aos dados do próprio sistema VDM, para definir de linhas de base e respectivos limites, e não a dados de outras fontes. Globalmente, os atrasos observados não pareceram ser particularmente importantes, não sendo, em consequência, de esperar que eles alterem relevantemente os resultados de monitorização e vigilância da mortalidade. Empiricamente, a experiência de gestão do sistema VDM, tanto nas suas versões antigas como novas, mostrou que a identificação de eventos moderados com impactos residuais na mortalidade (como os períodos de calor moderado de 2007 e 2008), só é possível quatro ou cinco dias depois da respectiva ocorrência.

É bastante consensual que o estudo de eventos típicos de Inverno, como é o caso da actividade gripal, se faça usando dados de mortalidade agregados semanalmente, e que no estudo de eventos como as ondas de calor se recorra aos registos diários de mortalidade. No caso das ondas de calor, o nível diário é muito importante para confirmar rapidamente o impacto e para que se possa mobilizar os recursos e proceder às acções de mitigação dos impactos. Os resultados aqui obtidos, embora contraditórios, indicam que o uso dos dados diários terá maior capacidade para confirmar e detectar eventos em geral. A contradição situa-se no facto de a melhor confirmação de um evento, tanto de actividade gripal como de episódios moderados ou ligeiros de calor, ter sido obtida com dados diários, enquanto estes mesmos dados diários foram de uso limitados para detectar ondas de calor. Esta limitação pode dever-se à curta série de 2 anos e meio de dados. É razoável esperar que à medida que a série temporal de dados for aumentando, a sua capacidade de modelar os padrões cíclicos, detectar e confirmar eventos relevantes melhore.

O aumento aparentemente inexplicável de mortalidade no final do ano de 2007 pode de facto ser um resultado do comprimento da série de dados VDM. O aumento de mortalidade observada pode realmente ser um padrão cíclico que ainda não tenha sido captado. No entanto, importa frisar que se trata de um fenómeno detectado e para o qual simplesmente ainda não se encontrou uma explicação plausível.

Na sua versão actual o novo sistema VDM permite-nos ter a convicção de que este pode ser usado de forma atempada e útil para enfrentar quaisquer outros problemas de saúde pública que surjam (desde que estes tenham um pacto na mortalidade detectável). No entanto colocaram-se vários desafios no desenvolvimento deste sistema: O ensaio inicial do novo sistema VDM automatizado baseou-se numa estrutura de dados simples e pareceu funcionar bem. Mais tarde verificou-se que o procedimento usado nesse ensaio não foi totalmente automático e contou em grande medida com a intervenção humana. Quando ocorreu um aumento enorme de dados e de trabalho verificou-se que o procedimento tinha de ser melhorado e que a própria estrutura de dados tinha de ser alterada. De facto o novo procedimento automático necessitou duma mudança na estrutura de dados XML usada. O que constituiu uma fonte de problemas reais, onde as soluções simples previamente adoptadas, implementadas em Microsoft Excel, não eram suficientes para lidar com a nova estrutura de dados. Nem a utilização de pacotes estatísticos parecia resolver o problema. Para enfrentar a nova estrutura de dados foi conseqüentemente necessário recrutar recursos de bioinformática. Uma solução foi alcançada com uma ferramenta gestão de dados chamada MySQL (código aberto). Embora a solução não tenha sido particularmente complexa, sucedeu que, juntamente com o restabelecimento do fluxo de dados, levou pouco mais de seis meses para ter o sistema totalmente operacional.

No início de 2009, ao verificar se o número de registos do ano completo estava correcto, detectou-se uma anomalia, cerca de 5% dos dados estavam em falta. A explicação para tal foi que só os óbitos com o registo e confirmação no mesmo dia estavam a ser enviados para o sistema VDM. Óbitos registados num determinado dia, mas com confirmação administrativa num dia diferente não eram enviados. O que deve ser ressaltado é que ambas as instituições envolvidas queriam enviar e receber todas as informações, mas quando a implementação foi feita de forma diferente. Este erro foi facilmente corrigido e está actualmente a funcionar correctamente. Medidas de controlo de qualidade devem ser implementadas nas fases iniciais da construção deste tipo de sistemas.

A construção de um sistema automatizado para vigilância dos óbitos requer uma forte vontade inter-institucional e consciência das potenciais falhas para

garantir que um tal sistema possa estar totalmente operacional durante todo o ano. E estas características parecem ser mais importantes do que os aspectos financeiros, como se demonstrou com o desenvolvimento das sucessivas versões do sistema VDM Português, que se fizeram sem qualquer orçamento específico utilizando apenas mão-de-obra e recursos informáticos disponíveis. Deverá ser possível estabelecer um sistema rápido de vigilância da mortalidade, como o VDM, ao nível Europeu. Tal requererá provavelmente uma forte boa vontade e uma coordenação entre as instituições a nível do país e entre países do que propriamente recursos, e enfrenta potenciais problemas que podem ser de natureza técnica que terão de ser resolvidos.

3.6 Avaliação da Vigilância Nacional de Ondas de Calor

3.6.1. Introdução

Como já foi referido o sistema de Vigilância evoluiu de um sistema centrado na informação relativa à cidade de Lisboa, para um sistema de âmbito nacional, onde são equacionadas as temperaturas diárias observadas e previstas para os 18 distritos de Portugal Continental e é avaliado o respectivo potencial de risco para a saúde da população através de onze Índices-ÍCARO, relativos a dimensões etárias, regionais e nacionais.

Desde 2007, inclusive, não foram observadas ondas de calor de grande magnitude (como as que ocorreram em 2003 e 2006) com impactos avultados na mortalidade. Temos conseqüentemente assistido a períodos de Verão quentes, percebidos com quentes mas sem grandes atribuições de risco particular.

Concomitantemente com a evolução do Sistema de Vigilância ÍCARO, processou-se a evolução do sistema de Vigilância Diária da Mortalidade (VDM), que desde 2003 tem servido de apoio à avaliação preliminar dos impactos dos períodos observados de calor na mortalidade portuguesa (16, 82, 86, 87) e é descrito na secção 0 da presente dissertação. Esta evolução do sistema VDM consistiu no estabelecer de um sistema automático, relativo a toda a mortalidade registada, que diariamente disponibiliza informação que permite avaliar a evolução da mortalidade. Assim, esse sistema dispõe de dados diários completos de mortalidade disponibilizados por “todas as causas” desde 2007 e autonomizou-se da vigilância das ondas de calor (sistema de vigilância ÍCARO, descrito na secção 3.4.2.), tendo já permitido no ano de 2009 (66) estimar impactos da actividade gripal sazonal 2008-9.

Este novo sistema VDM permite que se obtenha uma avaliação dos impactos dos períodos de calor de mais célere, mais detalhada, mais completa e de melhor qualidade do que outras feitas no passado recente (16, 82, 86, 87).

Assim, nesta secção parte-se da identificação dos períodos de ocorrência de calor iniciados pelo sistema de Vigilância ÍCARO, para a obtenção de estimativas de impacto na mortalidade aos mesmos associados.

3.6.2. Resultados

3.6.2.1 Evolução da Mortalidade

A Figura 72 mostra a evolução da mortalidade portuguesa, tal como recolhida pelo sistema de Vigilância Diária da Mortalidade. Este sistema baseia-se na informação de registo de óbitos feito diariamente por todas as conservatórias do registo civil portuguesas.

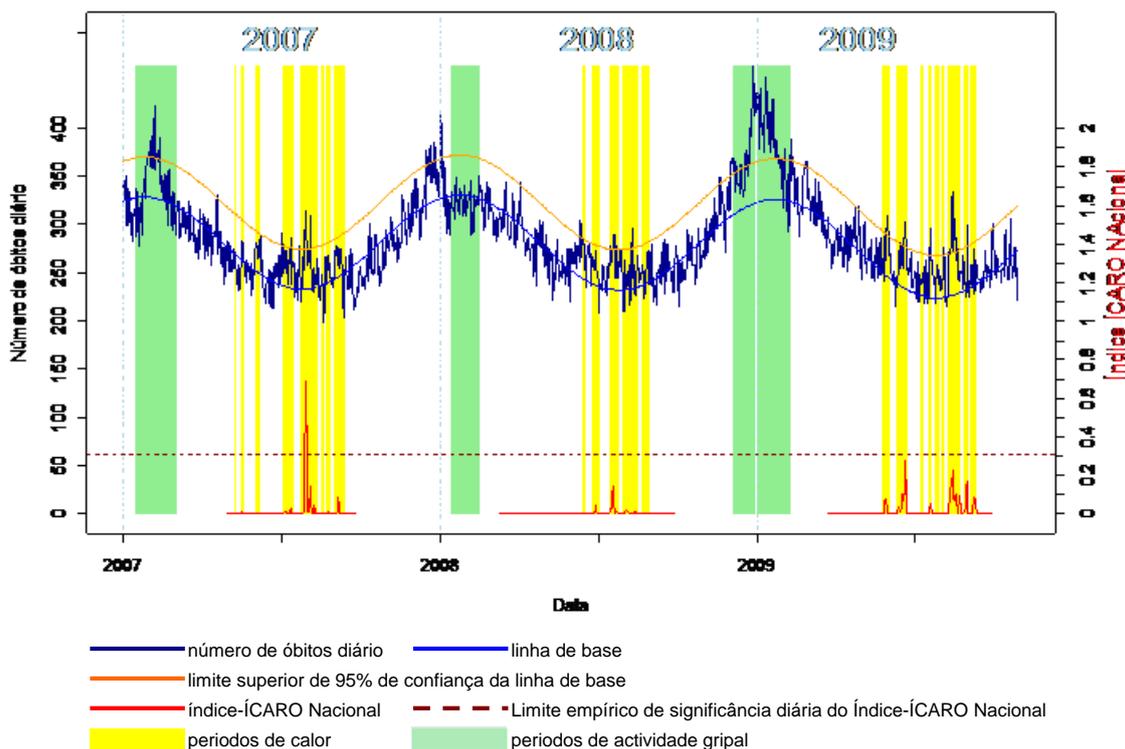


Figura 72. Evolução da mortalidade diária, linha de base e respectivo limite superior de 95% de confiança, períodos de calor, períodos de actividade gripal e índice ÍCARO nacional (2007-2009)

A Figura 72 inclui também os índices ÍCARO Nacionais observados desde 2007. Note-se que os índices dos últimos dois Verões não atingiram aquele limiar que é empiricamente considerado o limiar de significância diária.

O ano de 2008, em especial, teve Índices-ÍCARO nacionais reduzidos. Não parecendo existir grandes evidências de excesso de mortalidade associado aos períodos de calor identificados, embora como já foi notado no passado pareça verificar-se alteração da aleatoriedade do processo de mortalidade quando ocorrem vários índices ÍCARO positivos, mesmo que de magnitude reduzida.

Neste último Verão de 2009 verificou-se a existência de mais índices-ÍCARO nacionais positivos com magnitude relativamente moderada.

3.6.2.2 Períodos de calor identificados

Os critérios usados para determinar períodos com ocorrência de calor geraram 9 períodos, identificados na Tabela 49. Os períodos P3 e P6, resultaram de um modelo-ÍCARO regional para a população com mais de 65 anos, que é o único modelo que inclui directamente as temperaturas observadas na Região do Algarve.

Tabela 49. Períodos de calor identificados

| | | | |
|------|---------------|------------|------------|
| 2009 | P1 | 25-05-2009 | 04-06-2009 |
| 2009 | P2 | 11-06-2009 | 24-06-2009 |
| 2009 | P3 Região Sul | 08-07-2009 | 13-07-2009 |
| 2009 | P4 | 18-07-2009 | 22-07-2009 |
| 2009 | P5 | 25-07-2009 | 31-07-2009 |
| 2009 | P6 Região Sul | 03-08-2009 | 05-08-2009 |
| 2009 | P7 | 09-08-2009 | 25-08-2009 |
| 2009 | P8 | 27-08-2009 | 02-09-2009 |
| 2009 | p9 | 05-09-2009 | 12-09-2009 |

3.6.3. Estimativas de excesso de mortalidade - Método Directo Simple e Índice-ÍCARO Nacional

3.6.3.1 Estimativas globais de excesso de mortalidade

A Tabela 50 mostra a mortalidade total observada em cada período identificado de 2009 e nos períodos equivalentes dos anos de 2007 e 2008, as estimativas obtidas pelo método directo simple definido, o cumulativo do Índice-ÍCARO Nacional em cada período e ano, bem como as estimativas que lhes correspondem de mortalidade esperada (note-se que estes valores são independentes de toda a mortalidade observada constante na Tabela 50, e resultam de modelos que recorrem apenas a dados de temperaturas).

No método directo, dos 9 períodos identificados com ocorrência de calor apenas 5 mostraram evidências de excesso de óbitos (Tabela 50).

Os períodos nos quais não foram identificados excessos globais de óbitos associados à ocorrência de calor foram: P3, P5, P6 e P8 (Tabela 50).

Tabela 50. Períodos de calor e estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simple e excesso predito pelo Índice-ÍCARO Nacional

| Período | Períodos de calor | | Mortalidade Observada | | | Estimativa método directo | | | Índice ÍCARO Nacional* | | | |
|----------------------|-------------------|------|-----------------------|------|------|---------------------------|-----------|--------------|------------------------|-------|-------|--|
| | Início | Fim | VDM | | | Excesso óbitos (IC95%) | razão O/E | p | Cumulativo | | | Excesso Esperado pelo Índice-ÍCARO nacional* |
| | | | 2009 | 2008 | 2007 | | | | 2009 | 2008 | 2007 | |
| P1 | 25/5 | 4/6 | 2776 | 2629 | 2658 | 132,5 (110;156) | 1,05 | 0,005 | 0,214 | 0,000 | 0,003 | 53,5 |
| P2 | 11/6 | 24/6 | 3517 | 3529 | 3145 | 180 (154;207) | 1,05 | 0,001 | 0,921 | 0,003 | 0,000 | 230,4 |
| P3 ** | 8/7 | 13/7 | 1371 | 1358 | 1518 | -- | 0,95 | 0,961 | 0,000 | 0,000 | 0,030 | 0 |
| P4 *** | 18/7 | 22/7 | 1212 | 1288 | 1105 | 107 (87;128) | 1,10 | 0,001 | 0,113 | 0,297 | 0,000 | 28,5 |
| P5 **** | 25/7 | 31/7 | 1591 | 1656 | 1777 | -- | 0,96 | 0,945 | 0,003 | 0,000 | 1,069 | 0,8 |
| P6 ** / ***** | 3/8 | 5/8 | 735 | 813 | 740 | -- | 0,99 | 0,573 | 0,000 | 0,180 | 0,460 | 0 |
| P7 ***** | 9/8 | 25/8 | 4361 | 3943 | 3878 | 450,5 (409;493) | 1,12 | 0,000 | 1,268 | 0,020 | 0,084 | 317 |
| P8 ***** | 27/8 | 2/9 | 1679 | 1706 | 1653 | -- | 1,00 | 0,505 | 0,375 | 0,006 | 0,005 | 93,6 |
| P9 ***** | 5/9 | 12/9 | 1898 | 1802 | 1925 | 96 (77;116) | 1,05 | 0,012 | 0,230 | 0,000 | 0,176 | 57,4 |

* - O Índice ÍCARO nacional resulta da média ponderada dos quatro modelos ÍCARO Regionais, a ponderação é feita pela estimativa população residente em cada região. O número apresentado é cumulativo dos índices-ÍCARO no período.

** - Períodos definidos a partir de Índices ícaro positivos relativos à região sul e modelos que definem risco para a população com 65 ou mais anos.

*** - Neste período no ano de 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2007.

**** - Neste período no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

***** - Neste período nos anos de 2007 e 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Apesar disso, para o cálculo do número esperado de óbitos foi considerada a média de óbitos observados nos mesmos períodos de 2007 e 2008.

***** - Neste período, nos seus três primeiros dias e no último, no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

Os períodos de 11/6 a 24/6 (P2) e de 9/8 a 25/8 (P7) foram aqueles para os quais se estimaram os excessos de óbitos globais mais elevados. No primeiro estimou-se um acréscimo de 180 óbitos e no segundo a estimativa do respectivo excesso foi de 450,5 óbitos (Tabela 50).

3.6.3.2 Estimativas de excesso de mortalidade estratificadas por sexo

Ainda no método directo simples, na desagregação por sexo, os períodos identificados com excesso de óbitos associados à ocorrência de calor foram os mesmos obtidos nas estimativas globais (Tabela 51). No entanto, observaram-se períodos distintos na forma como o excesso de mortalidade afectou os indivíduos dos dois sexos. Na maioria dos períodos estimados com excesso de mortalidade associado à ocorrência de calor, aquela ocorreu em ambos os sexos, mas com o impacto relativo e absoluto a ser mais avultado no sexo feminino (períodos P2, P4 e P7).

O período de 9/8 a 25/8 (P7) foi aquele em que se observou maior impacto com as correspondentes estimativas relativas (razões O/E) a serem muito próximas: 1.13 para os homens e 1.14 para as mulheres.

No período de 25/5 a 4/6 (P1), embora as estimativas relativas apontem para mortalidade acima da esperada (1.02 para os homens e 1.13 para as mulheres) só no sexo feminino esta se revelou estatisticamente significativa (Tabela 51).

No período de 5 a 12/9 (P9) inverteu-se a situação, verificando-se que apenas a mortalidade do sexo masculino revelou significado estatístico, apesar de em ambos os sexos se ter observado mais mortalidade do que a esperada (razões O/E 1.08 para os homens e 1.03 para as mulheres).

É interessante notar que em todos os períodos onde se estimou excesso de mortalidade os respectivos valores foram sempre mais elevados nesta análise estratificada por sexo (Tabela 51) do que na estimativa global (Tabela 50).

Tabela 51. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo o sexo

| Período | Início | Fim | Sexo | Óbitos observados | | | óbitos esperados* | Excesso óbitos | razão O/E | p |
|---------------|--------|------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|
| | | | | 2009 | 2008 | 2007 | | | | |
| P1 | 25/5 | 4/6 | Masculino | 1376 | 1368 | 1343 | 1355,5 | 20,5 | 1,02 | 0,289 |
| | | | Feminino | 1381 | 1239 | 1203 | 1221 | 160 | 1,13 | 0,000 |
| | | | Total | 2757 | 2607 | 2546 | 2576,5 | 180,5 | 1,07 | 0,000 |
| P2 | 11/6 | 24/6 | Masculino | 1774 | 1770 | 1550 | 1660 | 114 | 1,07 | 0,003 |
| | | | Feminino | 1725 | 1724 | 1466 | 1466 | 259 | 1,18 | 0,000 |
| | | | Total | 3499 | 3494 | 3016 | 3255 | 244 | 1,07 | 0,000 |
| P3 ** | 8/7 | 13/7 | Masculino | 719 | 680 | 755 | 717,5 | 1,5 | 1,00 | 0,478 |
| | | | Feminino | 643 | 662 | 703 | 682,5 | -- | 0,94 | 0,935 |
| | | | Total | 1362 | 1342 | 1458 | 1400 | -- | 0,97 | 0,845 |
| P4 *** | 18/7 | 22/7 | Masculino | 622 | 654 | 561 | 561 | 61 | 1,11 | 0,005 |
| | | | Feminino | 580 | 621 | 508 | 508 | 72 | 1,14 | 0,001 |
| | | | Total | 1202 | 1275 | 1069 | 1069 | 133 | 1,12 | 0,000 |
| P5 **** | 25/7 | 31/7 | Masculino | 787 | 851 | 868 | 851 | -- | 0,92 | 0,986 |
| | | | Feminino | 794 | 789 | 846 | 789 | 5 | 1,01 | 0,429 |
| | | | Total | 1581 | 1640 | 1714 | 1640 | -- | 0,96 | 0,927 |
| P6 ** / ***** | 3/8 | 5/8 | Masculino | 382 | 330 | 405 | 367,5 | 14,5 | 1,04 | 0,225 |
| | | | Feminino | 350 | 334 | 379 | 356,5 | -- | 0,98 | 0,635 |
| | | | Total | 732 | 664 | 784 | 724 | 8 | 1,01 | 0,383 |
| P7 ***** | 9/8 | 25/8 | Masculino | 2199 | 1984 | 1916 | 1950 | 249 | 1,13 | 0,000 |
| | | | Feminino | 2142 | 1926 | 1823 | 1874,5 | 267,5 | 1,14 | 0,000 |
| | | | Total | 4341 | 3910 | 3739 | 3824,5 | 516,5 | 1,14 | 0,000 |
| P8 ***** | 27/8 | 2/9 | Masculino | 870 | 900 | 810 | 855 | 15 | 1,02 | 0,304 |
| | | | Feminino | 795 | 793 | 800 | 796,5 | -- | 1,00 | 0,521 |
| | | | Total | 1665 | 1693 | 1610 | 1651,5 | 13,5 | 1,01 | 0,370 |
| P9 ***** | 5/9 | 12/9 | Masculino | 992 | 917 | 956 | 917 | 75 | 1,08 | 0,007 |
| | | | Feminino | 896 | 869 | 919 | 869 | 27 | 1,03 | 0,180 |
| | | | Total | 1888 | 1786 | 1875 | 1786 | 102 | 1,06 | 0,008 |

* - média da mortalidade observada nos períodos homólogos de 2007 e 2008 excepto nas situações indicadas

** - Períodos definidos a partir de Índices ÍCARO positivos relativos à região sul e modelos que definem risco para a população com 65 ou mais anos.

*** - Neste período no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

**** - Neste período no ano de 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2007.

***** - Neste período nos anos de 2007 e 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Apesar disso, para o cálculo do número esperado de óbitos foi considerada a média de óbitos observados nos mesmos períodos de 2007 e 2008.

***** - Neste período, nos seus três primeiros dias e no último, no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

3.6.3.3 Estimativas de excesso de mortalidade estratificadas por Grupo Etário

Ainda no método directo simples, na desagregação por grupo etário a grande maioria dos períodos de calor identificados mostrou pelo menos uma estimativa de excesso de mortalidade num dos grupos etários (Tabela 52). Apenas três períodos (P3, P5 e P8) não registaram estimativas significativas de excesso de mortalidade. Embora seja de registar que no período P8 se observou um valor

não significativo ao nível de significância de 5%, mas que pode revelar alguma tendência ($p=0,095$) no grupo etário dos 45 aos 64 anos de idade.

A maioria dos períodos com evidências de excesso de mortalidade mostrou este fenómeno nos indivíduos com 75 ou mais anos de idade (P1, P2, P4 e P7).

Apenas os períodos de 18 a 24/7 (P4) e de 9 a 25/8 (P7) mostraram um impacto mais extenso em termos número de grupos etários afectados, registando no entanto, impactos com padrões distintos.

O período mais precoce, de 18 a 24/7 (P4), mostrou excesso de óbitos nos grupos etários abaixo dos 45. De facto este foi o único período que evidenciou um excesso de mortalidade associado à ocorrência de calor neste grupo etário, verificando-se, aliás, que, embora a correspondente estimativa relativa de impacto haja sido a mais elevada de todos os grupos etários (1.36), sucede, todavia, que, dada a natureza da mortalidade deste grupo etário, a diferença em causa se consubstanciou apenas num excesso de 20 óbitos.

Note-se que neste período, de 18 a 24/7 (P4), não existiu qualquer evidência de excesso de mortalidade no grupo etário dos 65 aos 74 anos.

O período Posterior, de 9 a 25/8 (P7), não mostrou evidência de excesso de mortalidade abaixo dos 45 anos de idade. No entanto, em todos os grupos etários acima desse grupo foi estimado excesso de mortalidade.

O período de 5 a 12/9 (P9) mostrou tendência para seguir o padrão mais comum, parecendo a sua mortalidade estar acrescida nos grupos etários acima dos 75 anos de idade. Aliás, a estimativa de excesso de mortalidade no grupo etário dos 75 aos 84 anos revelou-se *borderline* ($p=0,055$) e significativa no grupo etário dos 85 ou mais anos.

Foi relevante encontrar evidência de excesso de mortalidade no grupo etário dos 65 aos 74 anos no período de 3 a 5/8 (P6). De facto, este período (tal como o período P3) foi seleccionado por indicação de um modelo ÍCARO-Regional para indivíduos com 65 ou mais anos de idade.

Tabela 52. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo o grupo etário

| Período | Início | Fim | Grupo etário | Óbitos observados | | | óbitos esperados* | Excesso óbitos | razão O/E | p |
|---------------|--------|------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|
| | | | | 2009 | 2008 | 2007 | | | | |
| P1 | 25/5 | 4/6 | 0-44 | 118 | 134 | 113 | 123,5 | -- | 0,96 | 0,690 |
| | | | 45-64 | 352 | 314 | 374 | 344 | 8 | 1,02 | 0,333 |
| | | | 65-74 | 444 | 436 | 460 | 448 | -- | 0,99 | 0,575 |
| | | | 75-84 | 952 | 894 | 845 | 869,5 | 82,5 | 1,09 | 0,003 |
| | | | mais 85 | 887 | 771 | 734 | 752,5 | 134,5 | 1,18 | 0,000 |
| | | | TOTAL | 2753 | 2549 | 2526 | 2537,5 | 215,5 | 1,08 | 0,000 |
| P2 | 11/6 | 24/6 | 0-44 | 156 | 147 | 160 | 153,5 | 2,5 | 1,02 | 0,420 |
| | | | 45-64 | 468 | 482 | 435 | 458,5 | 9,5 | 1,02 | 0,329 |
| | | | 65-74 | 561 | 554 | 525 | 539,5 | 21,5 | 1,04 | 0,177 |
| | | | 75-84 | 1194 | 1177 | 1023 | 1100 | 94 | 1,09 | 0,002 |
| | | | mais 85 | 1115 | 1041 | 829 | 935 | 180 | 1,19 | 0,000 |
| | | | TOTAL | 3494 | 3401 | 2972 | 3186,5 | 307,5 | 1,10 | 0,000 |
| P3 ** | 8/7 | 13/7 | 0-44 | 72 | 64 | 89 | 76,5 | -- | 0,94 | 0,671 |
| | | | 45-64 | 199 | 195 | 207 | 201 | -- | 0,99 | 0,556 |
| | | | 65-74 | 224 | 218 | 262 | 240 | -- | 0,93 | 0,849 |
| | | | 75-84 | 481 | 457 | 486 | 471,5 | 9,5 | 1,02 | 0,331 |
| | | | mais 85 | 384 | 384 | 402 | 393 | -- | 0,98 | 0,675 |
| | | | TOTAL | 1360 | 1318 | 1446 | 1382 | -- | 0,98 | 0,723 |
| P4 *** | 18/7 | 22/7 | 0-44 | 76 | 53 | 56 | 56 | 20 | 1,36 | 0,004 |
| | | | 45-64 | 183 | 161 | 152 | 152 | 31 | 1,20 | 0,006 |
| | | | 65-74 | 178 | 214 | 203 | 203 | -- | 0,88 | 0,960 |
| | | | 75-84 | 400 | 441 | 363 | 363 | 37 | 1,10 | 0,026 |
| | | | mais 85 | 363 | 375 | 279 | 279 | 84 | 1,30 | 0,000 |
| | | | TOTAL | 1200 | 1244 | 1053 | 1053 | 147 | 1,14 | 0,000 |
| P5 **** | 25/7 | 31/7 | 0-44 | 85 | 79 | 86 | 79 | 6 | 1,08 | 0,230 |
| | | | 45-64 | 218 | 225 | 256 | 225 | -- | 0,97 | 0,680 |
| | | | 65-74 | 259 | 291 | 294 | 291 | -- | 0,89 | 0,970 |
| | | | 75-84 | 548 | 536 | 577 | 536 | 12 | 1,02 | 0,302 |
| | | | mais 85 | 471 | 477 | 483 | 477 | -- | 0,99 | 0,608 |
| | | | TOTAL | 1581 | 1608 | 1696 | 1608 | -- | 0,98 | 0,750 |
| P6 ** / ***** | 3/8 | 5/8 | 0-44 | 45 | 33 | 50 | 41,5 | 3,5 | 1,08 | 0,262 |
| | | | 45-64 | 110 | 99 | 116 | 107,5 | 2,5 | 1,02 | 0,405 |
| | | | 65-74 | 136 | 102 | 126 | 114 | 22 | 1,19 | 0,020 |
| | | | 75-84 | 238 | 219 | 251 | 235 | 3 | 1,01 | 0,422 |
| | | | mais 85 | 202 | 198 | 228 | 213 | -- | 0,95 | 0,774 |
| | | | TOTAL | 731 | 651 | 771 | 711 | 20 | 1,03 | 0,227 |
| P7 ***** | 9/8 | 25/8 | 0-44 | 216 | 201 | 234 | 217,5 | -- | 0,99 | 0,541 |
| | | | 45-64 | 634 | 559 | 552 | 555,5 | 78,5 | 1,14 | 0,000 |
| | | | 65-74 | 725 | 636 | 679 | 657,5 | 67,5 | 1,10 | 0,004 |
| | | | 75-84 | 1396 | 1343 | 1242 | 1292,5 | 103,5 | 1,08 | 0,002 |
| | | | mais 85 | 1368 | 1115 | 991 | 1053 | 315 | 1,30 | 0,000 |
| | | | TOTAL | 4339 | 3854 | 3698 | 3776 | 563 | 1,15 | 0,000 |
| P8 | 27/8 | 2/9 | 0-44 | 68 | 86 | 74 | 80 | -- | 0,85 | 0,903 |
| | | | 45-64 | 230 | 191 | 231 | 211 | 19 | 1,09 | 0,095 |
| | | | 65-74 | 288 | 297 | 279 | 288 | -- | 1,00 | 0,500 |
| | | | 75-84 | 570 | 583 | 552 | 567,5 | 2,5 | 1,00 | 0,458 |
| | | | mais 85 | 506 | 517 | 456 | 486,5 | 19,5 | 1,04 | 0,188 |
| | | | TOTAL | 1662 | 1674 | 1592 | 1633 | 29 | 1,02 | 0,236 |
| P9***** | 5/9 | 12/9 | 0-44 | 98 | 92 | 109 | 92 | 6 | 1,07 | 0,246 |
| | | | 45-64 | 276 | 268 | 245 | 268 | 8 | 1,03 | 0,313 |
| | | | 65-74 | 317 | 303 | 299 | 303 | 14 | 1,05 | 0,211 |
| | | | 75-84 | 637 | 598 | 650 | 598 | 39 | 1,07 | 0,055 |
| | | | mais 85 | 560 | 487 | 544 | 487 | 73 | 1,15 | 0,000 |
| | | | TOTAL | 1888 | 1748 | 1847 | 1748 | 140 | 1,08 | 0,000 |

* - média da mortalidade observada nos períodos homólogos de 2007 e 2008 excepto nas situações indicadas

** - Períodos definidos a partir de Índices ÍCARO positivos relativos à região sul e modelos que definem risco para a população com 65 ou mais anos.

*** - Neste período no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

**** - Neste período no ano de 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2007.

***** - Neste período nos anos de 2007 e 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Apesar disso, para o cálculo do número esperado de óbitos foi considerada a média de óbitos observados nos mesmos períodos de 2007 e 2008.

***** - Neste período, nos seus três primeiros dias e no último, no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

Globalmente, as estimativas de excesso de mortalidade feitas com a desagregação por grupo etário foram de valor mais elevado, em todos os períodos em que se observam evidências de excesso de mortalidade associada à ocorrência de calor, do que as estimativas feitas para a mortalidade global (Tabela 50) e com estratificação por sexo (Tabela 51).

3.6.3.4 Estimativas de excesso de mortalidade estratificadas por Região (de registo do óbito)

Ainda no método simples, na desagregação por região, a maioria dos períodos denotou ocorrência de excesso de mortalidade associada ao calor em pelo menos uma região. Apenas nos períodos de 3 a 5/8 (P6) e de 27/8 a 2/9 (P8) não se verificou qualquer evidência de excesso de mortalidade regional significativa. No de 27/8 a 2/9 (P8), foi obtida para a região do Algarve uma estimativa de impacto relativo importante (1.13), mas que correspondeu a um excesso de 11 óbitos e que não se mostrou, portanto, estatisticamente significativo.

Nenhum dos períodos evidenciou excesso de mortalidade em todas as regiões de Portugal Continental. O período que esteve mais próximo foi o período P7, onde se obtiveram estimativas de excesso de mortalidade em quatro das cinco regiões, excluindo apenas a região do Algarve. Note-se, porém que todos os períodos mostraram ter tido mais mortalidade do que a esperada.

Ocorreram três períodos onde, em todas as regiões, se observou mais mortalidade do que a esperada: de 11/6 a 24/6 (P2), de 18 a 22/7 (P4) e de 9 a 25/8 (P7).

Observaram-se três períodos com estimativas de excesso de mortalidade em três regiões: de 25/5 a 4/6 (P1), de 11 a 24/6 (P2) e 5 a 12/9 (P9).

Apenas um período mostrou duas regiões com excesso de mortalidade associada ao calor: de 18 a 22/7 (P4).

Tabela 53. Estimativas de excesso de óbitos usando o método directo simples por período de calor segundo a Região (de registo do óbito)

| Período | Início | Fim | Região | Óbitos observados | | | óbitos esperados* | Excesso óbitos | razão O/E | p |
|---------------|--------|------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|
| | | | | 2009 | 2008 | 2007 | | | | |
| P1 | 25/5 | 4/6 | Norte | 870 | 819 | 772 | 795,5 | 74,5 | 1,09 | 0,004 |
| | | | Centro | 750 | 689 | 674 | 681,5 | 68,5 | 1,10 | 0,004 |
| | | | Lisboa | 744 | 699 | 765 | 732 | 12 | 1,02 | 0,329 |
| | | | Alentejo | 270 | 274 | 205 | 239,5 | 30,5 | 1,13 | 0,024 |
| | | | Algarve | 123 | 130 | 130 | 130 | -- | 0,95 | 0,730 |
| | | | TOTAL | 2757 | 2611 | 2546 | 2578,5 | 178,5 | 1,07 | 0,000 |
| P2 | 11/6 | 24/6 | Norte | 1049 | 1020 | 928 | 974 | 75 | 1,08 | 0,008 |
| | | | Centro | 916 | 903 | 792 | 847,5 | 68,5 | 1,08 | 0,009 |
| | | | Lisboa | 1005 | 1033 | 900 | 966,5 | 38,5 | 1,04 | 0,108 |
| | | | Alentejo | 332 | 360 | 264 | 312 | 20 | 1,06 | 0,129 |
| | | | Algarve | 197 | 179 | 133 | 156 | 41 | 1,26 | 0,001 |
| | | | TOTAL | 3499 | 3495 | 3017 | 3256 | 243 | 1,07 | 0,000 |
| P3 ** | 8/7 | 13/7 | Norte | 439 | 406 | 479 | 442,5 | -- | 0,99 | 0,566 |
| | | | Centro | 357 | 372 | 378 | 375 | -- | 0,95 | 0,824 |
| | | | Lisboa | 376 | 365 | 428 | 396,5 | -- | 0,95 | 0,848 |
| | | | Alentejo | 134 | 130 | 97 | 113,5 | 20,5 | 1,18 | 0,027 |
| | | | Algarve | 56 | 71 | 78 | 74,5 | -- | 0,75 | 0,985 |
| | | | TOTAL | 1362 | 1344 | 1460 | 1402 | -- | 0,97 | 0,857 |
| P4 *** | 18/7 | 22/7 | Norte | 353 | 415 | 305 | 305 | 48 | 1,16 | 0,003 |
| | | | Centro | 323 | 360 | 296 | 296 | 27 | 1,09 | 0,058 |
| | | | Lisboa | 369 | 317 | 328 | 328 | 41 | 1,13 | 0,012 |
| | | | Alentejo | 107 | 117 | 92 | 92 | 15 | 1,16 | 0,059 |
| | | | Algarve | 51 | 69 | 48 | 48 | 3 | 1,06 | 0,300 |
| | | | TOTAL | 1203 | 1278 | 1069 | 1069 | 134 | 1,13 | 0,000 |
| P5 **** | 25/7 | 31/7 | Norte | 445 | 480 | 539 | 480 | -- | 0,93 | 0,945 |
| | | | Centro | 424 | 450 | 439 | 450 | -- | 0,94 | 0,890 |
| | | | Lisboa | 444 | 470 | 500 | 470 | -- | 0,94 | 0,885 |
| | | | Alentejo | 175 | 143 | 146 | 143 | 32 | 1,22 | 0,004 |
| | | | Algarve | 93 | 100 | 91 | 100 | -- | 0,93 | 0,739 |
| | | | TOTAL | 1581 | 1643 | 1715 | 1643 | -- | 0,96 | 0,937 |
| P6 ** / ***** | 3/8 | 5/8 | Norte | 226 | 197 | 250 | 223,5 | 2,5 | 1,01 | 0,434 |
| | | | Centro | 202 | 174 | 218 | 196 | 6 | 1,03 | 0,334 |
| | | | Lisboa | 210 | 185 | 214 | 199,5 | 10,5 | 1,05 | 0,229 |
| | | | Alentejo | 60 | 73 | 63 | 68 | -- | 0,88 | 0,818 |
| | | | Algarve | 34 | 35 | 40 | 37,5 | -- | 0,91 | 0,680 |
| | | | TOTAL | 732 | 664 | 785 | 724,5 | 7,5 | 1,01 | 0,390 |
| P7 ***** | 9/8 | 25/8 | Norte | 1372 | 1244 | 1129 | 1186,5 | 185,5 | 1,16 | 0,000 |
| | | | Centro | 1157 | 1031 | 961 | 996 | 161 | 1,16 | 0,000 |
| | | | Lisboa | 1162 | 1102 | 1110 | 1106 | 56 | 1,05 | 0,046 |
| | | | Alentejo | 425 | 335 | 318 | 326,5 | 98,5 | 1,30 | 0,000 |
| | | | Algarve | 225 | 199 | 221 | 210 | 15 | 1,07 | 0,150 |
| | | | TOTAL | 4341 | 3911 | 3739 | 3825 | 516 | 1,13 | 0,000 |
| P8 ***** | 27/8 | 2/9 | Norte | 495 | 497 | 494 | 495,5 | -- | 1,00 | 0,509 |
| | | | Centro | 453 | 485 | 427 | 456 | -- | 0,99 | 0,556 |
| | | | Lisboa | 490 | 481 | 463 | 472 | 18 | 1,04 | 0,204 |
| | | | Alentejo | 134 | 152 | 142 | 147 | -- | 0,91 | 0,858 |
| | | | Algarve | 93 | 79 | 85 | 82 | 11 | 1,13 | 0,104 |
| | | | TOTAL | 1665 | 1694 | 1611 | 1652,5 | 12,5 | 1,01 | 0,379 |
| P9***** | 5/9 | 12/9 | Norte | 567 | 527 | 565 | 527 | 40 | 1,08 | 0,041 |
| | | | Centro | 475 | 509 | 502 | 509 | -- | 0,93 | 0,934 |
| | | | Lisboa | 560 | 499 | 535 | 499 | 61 | 1,12 | 0,003 |
| | | | Alentejo | 198 | 176 | 180 | 176 | 22 | 1,13 | 0,049 |
| | | | Algarve | 88 | 76 | 93 | 76 | 12 | 1,16 | 0,078 |
| | | | TOTAL | 1888 | 1787 | 1875 | 1787 | 101 | 1,06 | 0,008 |

* - média da mortalidade observada nos períodos homólogos de 2007 e 2008 excepto nas situações indicadas

** - Períodos definidos a partir de Índices ÍCARO positivos relativos à região sul e modelos que definem risco para a população com 65 ou mais anos.

*** - Neste período no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

**** - Neste período no ano de 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2007.

***** - Neste período nos anos de 2007 e 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Apesar disso, para o cálculo do número esperado de óbitos foi considerada a média de óbitos observados nos mesmos períodos de 2007 e 2008.

***** - Neste período, nos seus três primeiros dias e no último, no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

Os períodos de calor tiveram padrões distintos, verificando-se que o número de estimativas regionais que se mostraram significativas foi bastante heterogéneo. Assim, as Regiões Norte e Alentejo tiveram cinco períodos com estimativas significativas, as Regiões Centro e Lisboa tiveram 3 períodos e o Algarve apenas um período (de 11 a 24/6 (P2)).

O período de 8 a 13/7 (P3) revelou a Região Alentejo com excesso de mortalidade, o que está de acordo com a definição deste período, que resultou de um modelo-ÍCARO regional que inclui a região do Alentejo e respeita à potencial mortalidade dos indivíduos de 65 ou mais anos por causa da ocorrência de calor.

Todas as estimativas globais de excesso de mortalidade por período, após estratificação por região, revelaram valores mais elevados que as estimativas globais (Tabela 50), sensivelmente iguais às estimativas globais obtidas com a estratificação por sexo (Tabela 51), e inferiores às feitas com recurso a estratificação por grupo etário (Tabela 52).

3.6.4. *Estimativas de Excesso de mortalidade - Regressão cíclica*

A abordagem de construção de linhas de base através do recurso à modelação usando a regressão cíclica mostrou ter algumas limitações (representações gráficas disponíveis em anexo deste documento). Essas limitações pareceram atribuíveis à dimensão da série de dados que é ainda relativamente curta e aos baixos valores diários de óbitos observados em algumas das subdivisões de mortalidade consideradas.

As linhas de base mais robustas foram conseguidas para a mortalidade total observada no continente nos grupos etários dos 75 e os 84 anos e no de 85 ou mais anos de idade. A linha de base obtida para a Região Norte mostrou-se também particularmente robusta quando comparada com os resultados conseguidos para as restantes regiões.

A linha de base determinada para a mortalidade da Região do Alentejo mostrou ter particulares limitações, assim como a Região do Algarve, que também revelou uma qualidade muito limitada, apesar de aparentemente melhor que aquela outra.

Todos os restantes modelos demonstraram gerar linhas de base ajustadas à mortalidade observada, apesar de genericamente apresentarem uma tendência de decréscimo da respectiva mortalidade (excepção foram as mortalidades entre os 45 e os 74 anos). Estas tendências podem introduzir enviesamentos nas estimativas de excesso de mortalidade obtidas com base nesses modelos.

As linhas de base obtidas pela modelação através de regressão cíclica para a mortalidade por Regiões mostraram-se na globalidade demasiado frágeis, pelo que se omitem aqui as estimativas desagregadas por Região.

3.6.4.1 Estimativas globais de excesso de mortalidade

As estimativas globais de excesso de mortalidade associado à ocorrência de calor nos períodos identificados, obtidas usando regressão cíclica (definição 1) revelaram-se sistematicamente mais elevadas que as obtidas pelo método directo simples. As estimativas obtidas considerando apenas a mortalidade dos dias que excederam o limite de 95% de confiança da respectiva linha de base (definição 2) mostraram-se mais próximas das estimativas resultantes do método directo simples.

Tabela 54. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor

| Período | Nível | Observado | Esperado | O/E (IC95%) | Excesso | Acima do limite de 95% de confiança da linha de base |
|---------|------------|-----------|----------|-------------------|---------|--|
| P1 | Continente | 2776 | 2552,8 | 1,087 (1.03;1.15) | 223,2 | 111,9 |
| P2 | Continente | 3518 | 3098,7 | 1,135 (1.08;1.19) | 419,3 | 257,2 |
| P3 | Continente | 1371 | 1279,3 | 1,072 (0.99;1.16) | 91,7 | 0,0 |
| P4 | Continente | 1213 | 1059,6 | 1,145 (1.05;1.24) | 153,4 | 69,1 |
| P5 | Continente | 1593 | 1482,5 | 1,075 (1;1.15) | 110,5 | 0,0 |
| P6 | Continente | 735 | 637,1 | 1,154 (1.04;1.28) | 97,9 | 55,5 |
| P7 | Continente | 4363 | 3661,1 | 1,192 (1.14;1.25) | 701,9 | 409,0 |
| P8 | Continente | 1682 | 1541,4 | 1,091 (1.02;1.17) | 140,6 | 66,9 |
| P9 | Continente | 1904 | 1800,3 | 1,058 (0.99;1.13) | 103,7 | 0,0 |

3.6.4.2 Estimativas de excesso de mortalidade estratificadas por sexo

As estimativas globais de excesso de mortalidade por período com estratificação dos dados por sexo pelo método directo simples e por modelação revelaram o mesmo padrão entre si. Uma diferença adicional consistiu no facto de esta abordagem com modelação perspetivar também excesso de mortalidade nos períodos de 3 a 5/8 (P6) e 27/8 a 2/9 (P8), que apresentavam limitações na abordagem pelo método directo simples.

Tabela 55. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor segundo o sexo

| Período | SEXO | Observado | Esperado | O/E (IC95%) | Excesso | Acima do limite de 95% de confiança da linha de base |
|---------|-----------|-----------|----------|-------------------|---------|--|
| P1 | Masculino | 1376 | 1297,6 | 1,060 (0.98;1.14) | 78,4 | 0,0 |
| | Feminino | 1381 | 1182,5 | 1,168 (1.08;1.26) | 198,5 | 85,2 |
| P2 | Masculino | 1774 | 1581,0 | 1,122 (1.05;1.2) | 193,0 | 70,7 |
| | Feminino | 1725 | 1419,4 | 1,215 (1.13;1.3) | 305,6 | 223,1 |
| P3 | Masculino | 719 | 655,3 | 1,097 (0.99;1.22) | 63,7 | 0,0 |
| | Feminino | 643 | 578,6 | 1,111 (0.99;1.25) | 64,4 | 0,0 |
| P4 | Masculino | 622 | 543,3 | 1,145 (1.02;1.29) | 78,7 | 52,3 |
| | Feminino | 580 | 477,2 | 1,215 (1.07;1.37) | 102,8 | 65,1 |
| P5 | Masculino | 787 | 760,6 | 1,035 (0.94;1.14) | 26,4 | 0,0 |
| | Feminino | 794 | 665,8 | 1,193 (1.07;1.32) | 128,2 | 28,9 |
| P6 | Masculino | 382 | 327,0 | 1,168 (1.01;1.36) | 55,0 | 0,0 |
| | Feminino | 350 | 285,5 | 1,226 (1.05;1.44) | 64,5 | 41,8 |
| P7 | Masculino | 2199 | 1878,6 | 1,171 (1.1;1.25) | 320,4 | 135,4 |
| | Feminino | 2142 | 1637,5 | 1,308 (1.23;1.4) | 504,5 | 428,5 |
| P8 | Masculino | 870 | 790,2 | 1,101 (1;1.21) | 79,8 | 32,8 |
| | Feminino | 795 | 689,1 | 1,154 (1.04;1.28) | 105,9 | 45,1 |
| P9 | Masculino | 992 | 921,7 | 1,076 (0.98;1.18) | 70,3 | 0,0 |
| | Feminino | 896 | 805,5 | 1,112 (1.01;1.22) | 90,5 | 0,0 |

3.6.4.3 Estimativas de excesso de mortalidade estratificadas por Grupo Etário

Na desagregação por grupo etário, apesar de menos evidências de diferenças, os resultados não foram discrepantes dos obtidos no método directo simples. Em particular, as estimativas para o período de 9 a 25/8 (P7) foram semelhantes.

As duas metodologias pareceram conduzir à conclusão de que, quando feita a desagregação por grupo etário, os períodos de 8 a 13/7 (P3), de 25 a 31/7 (P5), 27/8 a 2/9 (P8) e 5 a 12/9 (P9) não mostram evidências de excesso de mortalidade associada ao calor.

Tabela 56. Estimativas de excesso de óbitos usando regressão cíclica por período de calor segundo o grupo etário

| Período | Grupo Etário | Observado | Esperado | O/E (IC95%) | Excesso | Acima do limite de 95% de confiança da linha de base |
|---------|--------------|-----------|----------|-------------------|---------|--|
| P1 | 00-44 | 118 | 105,0 | 1,124 (0.86;1.48) | 13,0 | 8,4 |
| | 45-64 | 352 | 362,5 | 0,971 (0.84;1.13) | -10,5 | 0,0 |
| | 65-74 | 444 | 439,9 | 1,009 (0.88;1.15) | 4,1 | 0,0 |
| | 75-84 | 952 | 891,6 | 1,068 (0.97;1.17) | 60,4 | 24,4 |
| | 85+ | 887 | 798,5 | 1,111 (1.01;1.22) | 88,5 | 32,7 |
| P2 | 00-44 | 156 | 130,9 | 1,192 (0.94;1.52) | 25,1 | 8,6 |
| | 45-64 | 468 | 453,8 | 1,031 (0.9;1.18) | 14,2 | 0,0 |
| | 65-74 | 561 | 544,5 | 1,030 (0.91;1.16) | 16,5 | 0,0 |
| | 75-84 | 1194 | 1082,7 | 1,103 (1.01;1.2) | 111,3 | 31,3 |
| | 85+ | 1115 | 952,4 | 1,171 (1.07;1.28) | 162,6 | 50,4 |
| P3 | 00-44 | 72 | 54,9 | 1,311 (0.91;1.9) | 17,1 | 8,9 |
| | 45-64 | 199 | 192,4 | 1,034 (0.84;1.27) | 6,6 | 0,0 |
| | 65-74 | 224 | 229,4 | 0,977 (0.81;1.18) | -5,4 | 0,0 |
| | 75-84 | 481 | 447,9 | 1,074 (0.94;1.22) | 33,1 | 0,0 |
| | 85+ | 384 | 387,2 | 0,992 (0.86;1.15) | -3,2 | 0,0 |
| P4 | 00-44 | 76 | 45,5 | 1,672 (1.14;2.47) | 30,5 | 18,8 |
| | 45-64 | 183 | 160,3 | 1,142 (0.92;1.42) | 22,7 | 0,0 |
| | 65-74 | 178 | 191,1 | 0,932 (0.76;1.15) | -13,1 | 0,0 |
| | 75-84 | 400 | 371,5 | 1,077 (0.93;1.24) | 28,5 | 0,0 |
| | 85+ | 363 | 319,8 | 1,135 (0.97;1.32) | 43,2 | 22,0 |
| P5 | 00-44 | 85 | 63,4 | 1,342 (0.96;1.89) | 21,6 | 11,0 |
| | 45-64 | 218 | 224,8 | 0,970 (0.8;1.17) | -6,8 | 0,0 |
| | 65-74 | 259 | 268,3 | 0,965 (0.81;1.15) | -9,3 | 0,0 |
| | 75-84 | 548 | 520,5 | 1,053 (0.93;1.19) | 27,5 | 0,0 |
| | 85+ | 471 | 447,2 | 1,053 (0.92;1.2) | 23,8 | 0,0 |
| P6 | 00-44 | 45 | 27,1 | 1,662 (1.01;2.78) | 17,9 | 18,0 |
| | 45-64 | 110 | 96,6 | 1,139 (0.86;1.51) | 13,4 | 0,0 |
| | 65-74 | 136 | 115,5 | 1,177 (0.91;1.52) | 20,5 | 0,0 |
| | 75-84 | 238 | 224,0 | 1,063 (0.88;1.28) | 14,0 | 0,0 |
| | 85+ | 202 | 192,3 | 1,050 (0.86;1.29) | 9,7 | 0,0 |
| P7 | 00-44 | 216 | 152,9 | 1,413 (1.14;1.75) | 63,1 | 36,0 |
| | 45-64 | 634 | 551,9 | 1,149 (1.02;1.29) | 82,1 | 13,5 |
| | 65-74 | 725 | 664,7 | 1,091 (0.98;1.21) | 60,3 | 24,1 |
| | 75-84 | 1396 | 1290,7 | 1,082 (1;1.17) | 105,3 | 28,5 |
| | 85+ | 1368 | 1111,1 | 1,231 (1.14;1.33) | 256,9 | 163,3 |
| P8 | 00-44 | 68 | 62,9 | 1,081 (0.76;1.55) | 5,1 | 7,0 |
| | 45-64 | 230 | 229,9 | 1,000 (0.83;1.21) | 0,1 | 13,3 |
| | 65-74 | 288 | 279,3 | 1,031 (0.87;1.22) | 8,7 | 0,0 |
| | 75-84 | 570 | 545,0 | 1,046 (0.93;1.18) | 25,0 | 0,0 |
| | 85+ | 506 | 471,8 | 1,072 (0.94;1.22) | 34,2 | 31,2 |
| P9 | 00-44 | 98 | 71,9 | 1,362 (1;1.87) | 26,1 | 0,0 |
| | 45-64 | 276 | 265,6 | 1,039 (0.87;1.23) | 10,4 | 0,0 |
| | 65-74 | 317 | 325,1 | 0,975 (0.83;1.14) | -8,1 | 0,0 |
| | 75-84 | 637 | 637,9 | 0,999 (0.89;1.12) | -0,9 | 0,0 |
| | 85+ | 560 | 555,7 | 1,008 (0.89;1.14) | 4,3 | 0,0 |

3.6.5. Relação entre as diferentes estimativas globais de excesso de mortalidade por período

Obtiveram-se nesta secção múltiplas estimativas para o impacto causado na mortalidade pela ocorrência de calor nos períodos considerados, diferindo apenas nas metodologias utilizadas para a sua obtenção.

O enquadramento em que foi possível obter maior número de diferentes abordagens metodológicas foi na estimativa global para cada período (sem qualquer estratificação), que é também o enquadramento mais robusto.

A Tabela 57 apresenta um resumo dos resultados de todas as estimativas globais de excesso de mortalidade para cada um dos períodos de calor identificados.

Tabela 57. Períodos de calor e estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso previsto pelo Índice-ÍCARO Nacional

| Período | Períodos de calor | | Mortalidade Observada | | | Estimativa método directo | | | Regressão Cíclica | | | Excesso esperado pelo Índice-ÍCARO Nacional* |
|----------------------|-------------------|------|-----------------------|------|------|---------------------------|-----------|--------------|---|---|---------------------|--|
| | Início | Fim | VDM | | | Excesso óbitos (IC95%) | razão O/E | p | Excesso óbitos (IC95%) - Todos os dias do período | Excesso óbitos (IC95%) - Dias com óbitos acima do IC da linha de base | Nº dias com excesso | |
| | | | 2009 | 2008 | 2007 | | | | | | | |
| P1 | 25/5 | 4/6 | 2776 | 2629 | 2658 | 132,5 (110;156) | 1,05 | 0,005 | 223,2 (194;253) | 111,9 (92;133) | 2 | 53,5 |
| P2 | 11/6 | 24/6 | 3517 | 3529 | 3145 | 180 (154;207) | 1,05 | 0,001 | 419,3 (380;460) | 257,2 (226;289) | 5 | 230,4 |
| P3 ** | 8/7 | 13/7 | 1371 | 1358 | 1518 | -- | 0,95 | 0,961 | 91,7 (73;111) | -- | 0 | 0 |
| P4 *** | 18/7 | 22/7 | 1212 | 1288 | 1105 | 107 (87;128) | 1,10 | 0,001 | 153,4 (130;178) | 69,1 (53;86) | 1 | 28,5 |
| P5 **** | 25/7 | 31/7 | 1591 | 1656 | 1777 | -- | 0,96 | 0,945 | 110,5 (90;132) | -- | 0 | 0,8 |
| P6 ** / ***** | 3/8 | 5/8 | 735 | 813 | 740 | -- | 0,99 | 0,573 | 97,9 (79;118) | 55,5 (41;71) | 1 | 0 |
| P7 ***** | 9/8 | 25/8 | 4361 | 3943 | 3878 | 450,5 (409;493) | 1,12 | 0,000 | 701,9 (650;754) | 409,0 (370;449) | 6 | 317 |
| P8 ***** | 27/8 | 2/9 | 1679 | 1706 | 1653 | -- | 1,00 | 0,505 | 140,6 (51;83) | 66,9 (51;83) | 1 | 93,6 |
| P9 ***** | 5/9 | 12/9 | 1898 | 1802 | 1925 | 96 (77;116) | 1,05 | 0,012 | 103,7 (84;124) | -- | 0 | 57,4 |
| Total | | | | | | 966 | | | 2042,2 | 969,6 | | 781,2 |

* - média da mortalidade observada nos períodos homólogos de 2007 e 2008 excepto nas situações indicadas

** - Períodos definidos a partir de Índices ÍCARO positivos relativos à região sul e modelos que definem risco para a população com 65 ou mais anos.

*** - Neste período no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

**** - Neste período no ano de 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2007.

***** - Neste período nos anos de 2007 e 2008 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Apesar disso, para o cálculo do número esperado de óbitos foi considerada a média de óbitos observados nos mesmos períodos de 2007 e 2008.

***** - Neste período, nos seus três primeiros dias e no último, no ano de 2007 foram observados índices ÍCARO nacionais positivos. Para o cálculo do número esperado de óbitos foi apenas considerado o ano de 2008.

Todas as quatro estimativas consideradas apresentaram valores distintos entre si. No entanto, três delas foram de magnitudes semelhantes, sendo apenas a estimativa que resultou da aplicação directa da linha de base obtida da

regressão cíclica (definição 1), de valor superior, com cerca do dobro das restantes.

Quando se avaliou a correlação entre estas diferentes estimativas do excesso de mortalidade associado aos períodos de calor, apesar de o tamanho da amostra ser muito limitado (n=9), os resultados foram notoriamente consistentes.

Todos os coeficientes de correlação linear de Pearson (R) foram iguais ou superiores a 0,884, com *p-values* inferiores ou iguais a 0.00156 (Tabela 58 e Figura 73).

A menor correlação (R=0.884) foi observada entre as estimativas obtidas pelo método directo simples e as estimativas indicadas *a priori* pelos Índices-ÍCARO observados diariamente.

A correlação mais elevada (R=0.986) foi observada entre as duas estimativas obtidas através da metodologia de regressão cíclica.

Tabela 58. Matriz de correlações entre estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso previsto pelo Índice-ÍCARO Nacional

| | Parâmetro | Estimativas Método Directo Simples | Estimativas Regressão Cíclica - Acima do IC95% da linha de base | Estimativas Regressão Cíclica | Estimativas Índice-ÍCARO nacional |
|--|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| Estimativas Método Directo Simples | R | 1 | 0,92 | 0,952 | 0,884 |
| | p | - | 0,000444 | 0,000078 | 0,001560 |
| | n | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Estimativas Regressão Cíclica - Acima do IC95% da linha de base | R | 0,92 | 1 | 0,986 | 0,952 |
| | p | 0,000444 | - | 0,000001 | 0,000075 |
| | n | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Estimativas Regressão Cíclica | R | 0,952 | 0,986 | 1 | 0,956 |
| | p | 0,000078 | 0,000001 | - | 0,000057 |
| | n | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Estimativas Índice-ÍCARO nacional | R | 0,884 | 0,952 | 0,956 | 1 |
| | p | 0,001560 | 0,000075 | 0,000057 | - |
| | n | 9 | 9 | 9 | 9 |

Note-se a dimensão da correlação entre as estimativas de excesso de mortalidade resultante dos índices-ÍCARO nacionais e as estimativas obtidas

pela regressão cíclica. Os valores das primeiras depende apenas das temperaturas observadas e as linhas de base geradas pela regressão cíclica também não consideram a mortalidade ocorrida nos períodos de interesse. No entanto, as duas técnicas estão, de alguma forma, em sintonia, faltando apenas acertar a verdadeira dimensão do excesso de mortalidade associado aos períodos de calor real.

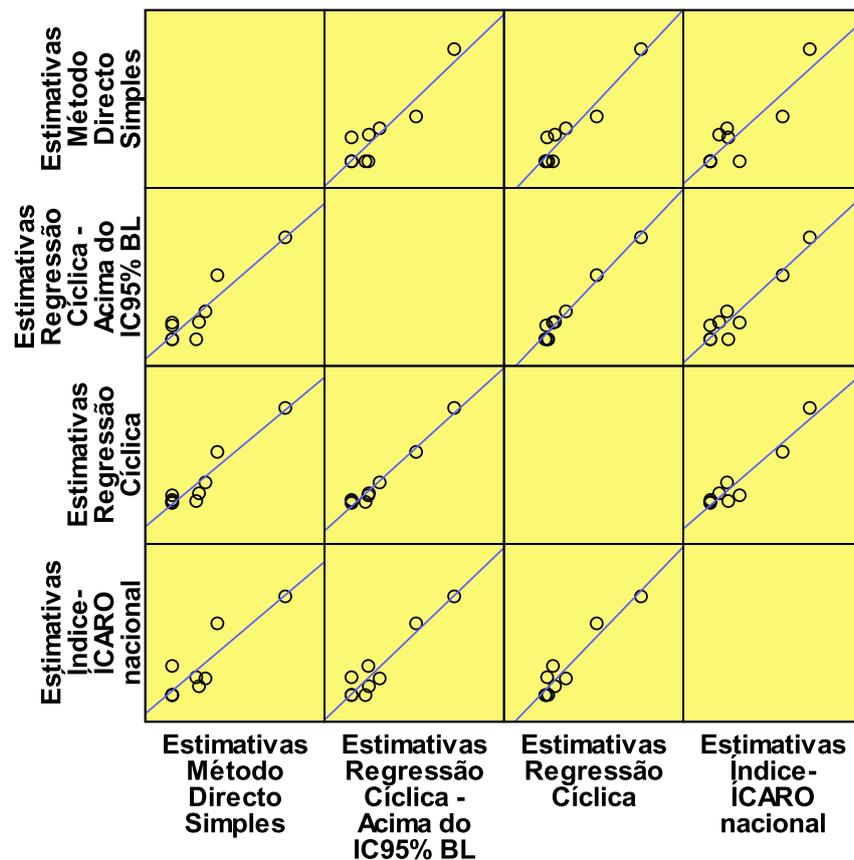


Figura 73. Matriz de diagramas de dispersão entre estimativas de excesso de mortalidade pelo método directo simples, por regressão cíclica (total do período e apenas dias com excesso fora do intervalo de confiança da linha de base), e excesso predito pelo Índice-ÍCARO Nacional

3.6.6. Discussão e Resultados

Os diferentes resultados obtidos ao longo desta secção (3.6) mostraram bastante consistência entre si, apesar de globalmente ser difícil aferir a real dimensão do observado excesso de mortalidade atribuível à ocorrência de calor. Podemos, no entanto, afirmar que:

1. Globalmente, **os períodos de calor identificados mostraram-se associados à existência de mortalidade para além da esperada** quando se procedeu à análise da mortalidade total do período ou quando se procedeu à respectiva análise desagregada por sexo, grupo etário ou região (do registo do óbitos). Quando analisada a mortalidade total de cada período de calor consistente ao longo das várias metodologias usadas, pelo menos cinco dos períodos tiveram mortalidade acrescida e em pelos menos 3 deles o excesso situou-se na ordem das centenas de óbitos.
2. Existiram **dois períodos com maiores estimativas de impacto na mortalidade, relativos às datas de 11 a 24/6 (P2) e a 9 a 25/8 (P7)**. No período de 11 a 24/6 (P2) estimou-se um acréscimo na ordem dos 200 óbitos e no período 9 a 25/8 (P7) a estimativa do respectivo excesso foi superior a 400 óbitos. Existiram alguns indícios de que a verdadeira magnitude destes impactos poderá ser mais elevada;
3. Quando foram feitas estimativas desagregadas por sexo, grupo etário e região (do registo do óbitos), os valores dos impactos na mortalidade tenderam a mostrar-se mais elevados, mostrando que existiram padrões heterogéneos de impacto nos diferentes períodos de calor de 2009, o que poderá resultar de diferentes padrões de intensidade do calor, dos níveis de exposição e dos níveis de adaptação ao longo do Verão.
4. O Verão de 2009 pode ser considerado moderado, teve prevalentemente temperaturas amenas, com alguns dias percepcionados como tendo temperaturas elevadas (88), em que não houve, no decurso do Verão,

percepção de ocorrência de ondas de calor no sentido meteorológico. O documento de avaliação do plano de contingência das ondas de calor de 2009 (88), veio confirmar a ocorrência de pelo menos 5 ondas de calor quer pelo critérios meteorológico⁶⁹, quer pelos critérios do projecto SIAM II (89) verificando-se que:

- 4.1. O índice-ÍCARO nacional integra essas duas definições de ondas de calor (até a onda de calor definida pelo critério meteorológico de 22 a 28 de Setembro foi, muito marginalmente, captada pelo índice-ÍCARO⁷⁰ vejam-se as Figura 55 e Figura 56, página 214);
 - 4.2. Os períodos identificados pelo sistema de vigilância ÍCARO confirmados pelas duas referidas definições de onda de calor corresponderam aos períodos P1, P2, P4, P7, P8 e P9. Em todos estes períodos o índice-ÍCARO determinou, aprioristicamente, eventualidade de excesso de óbitos. E, de facto, todos estes períodos foram identificados com excesso de mortalidade. Apenas os períodos P8 e P9 não tiveram os respectivos métodos confirmados por todas as metodologias usadas, reunindo evidências de dois métodos em três.
 - 4.3. O sistema de vigilância ÍCARO detectou excesso de mortalidade associado a períodos de calor que não se configuram como ondas de calor, pelo menos pelos critérios citados pelo que não é apenas válido para ondas de calor.
5. Assim, podemos afirmar, que o sistema de Vigilância ÍCARO se mostrou sensível a detectar situações limiares de ocorrência de calor, mostrando níveis de acuidade que não estavam ainda demonstrados.
 6. A magnitude do excesso de mortalidade associada ao calor definido *a priori* pelos índices-ÍCARO nacionais está estatisticamente associada à dos respectivos excessos de mortalidade estimados *a posteriori* por outras metodologias.

⁶⁹ 6 dias consecutivos com Temp. Max. Superior em 5°C à Temp. Máxima no período 1971-2000

⁷⁰ Este período não foi estudado por ser de duração muito curta e ser muito tardio. Como discutido anteriormente não há historial de excesso de óbitos em fase tão tardia do Verão mesmo na presença de Índices-ÍCARO mais relevantes.

7. As metodologias usadas para obter estimativas do excesso de mortalidade associada à ocorrência de calor num contexto *a posteriori*, com base na mortalidade observada, mostraram-se diferentes entre si, com pontos fracos e fortes;
- 7.1. O método directo simples gerou em todas as circunstâncias estimativas consistentes, apesar de identificadas limitações nos períodos P6, P7 e P8, onde nos anos de comparação (2007 e 2008) não foi possível estabelecer períodos não contaminados por alguma ocorrência de calor⁷¹;
- 7.2. As abordagens que recorreram à regressão cíclica mostraram fragilidades à partida. Desde logo não geraram sempre linhas de base robustas⁷². As duas definições de determinação de excesso de mortalidade originaram estimativas de magnitudes distintas que se situaram em média no dobro uma da outra. A *definição 1* - diferença da mortalidade observada no período e a mortalidade esperada resultante da linha de base determinada pelo modelo de regressão cíclica - foi aquela que originou as estimativas mais elevadas; a *definição 2* - a soma da diferença da mortalidade observada e esperada dos dias em que a mortalidade observada se encontrou acima do limite de 95% de confiança da linha de base da mortalidade definida pelo modelo de regressão cíclica - gerou estimativas comparáveis com as do método directo simples (Tabela 57, na página 264).
- 7.3. Melhores estimativas seriam esperadas pelas metodologias que recorrem à regressão cíclica se as séries de dados de mortalidade fossem mais longas, o que não é possível dado o facto de o sistema VDM ser muito recente e os dados oficiais de mortalidade diária do Instituto Nacional de Estatística posteriores a 2004 não estarem disponíveis.

Os resultados mostram que, mesmo em Verões moderados, como os observados nos últimos três anos (2007 a 2009), existem impactos relevantes do ponto de

⁷¹ Identificados pela ocorrência de índices-ÍCARO positivos nesses períodos nas respectivas épocas de vigilância ÍCARO.

⁷² São consideradas robustas as linhas de base que apresentam um padrão cíclico bem definido e que não apresentam marcadas tendências. Ver Figura 76 a Figura 79 como contra exemplos

vista da saúde pública. O que aconselha que **a tomada de medidas apropriadas não deve esperar por grandes eventos de calor.**

As múltiplas estimativas de excesso de mortalidade obtidas usando diversas abordagens mostraram-se consistentes entre si, o que constitui um contributo importante para o estudo dos impactos da ocorrência de calor na mortalidade humana.

3.6.7. Anexo

Linhas de Base

As figuras apresentadas neste anexo foram obtidas através da aplicação de regressão cíclica aos respectivos dados. Os dados de mortalidade observada apresentados a cor verde foram omitidos para efeitos da modelação. A linha azul representa a linha de base estimada pelo modelo e a linha vermelha o limite superior do intervalo de 95% de confiança para a linha de base.

Portugal Continental

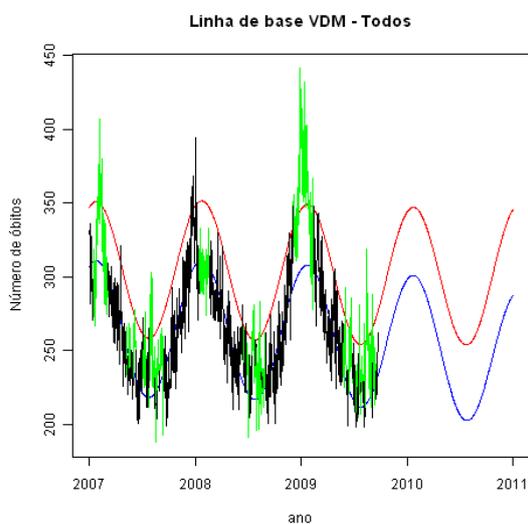


Figura 74. Mortalidade por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

Sexo

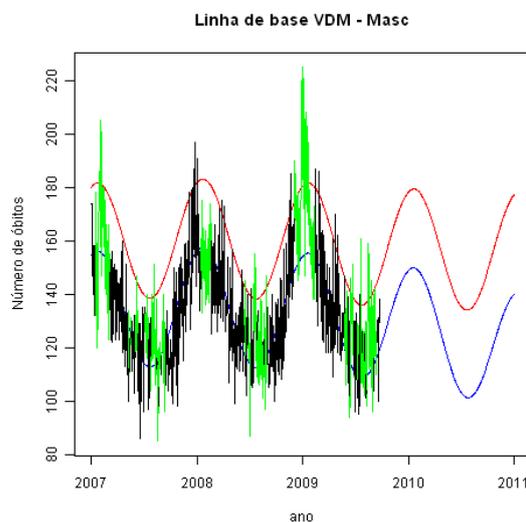


Figura 75. Mortalidade Masculina por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

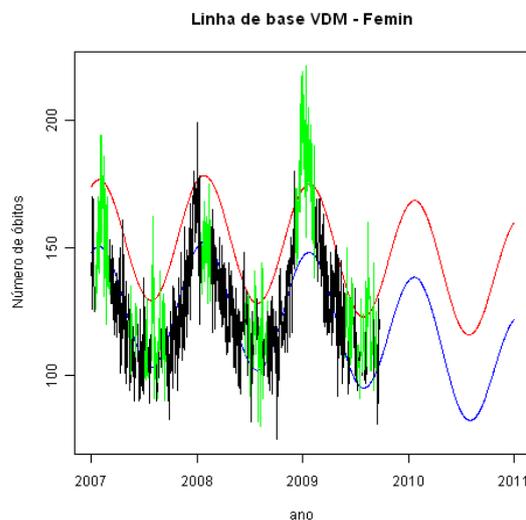


Figura 76. Mortalidade Feminina por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

Grupo etário

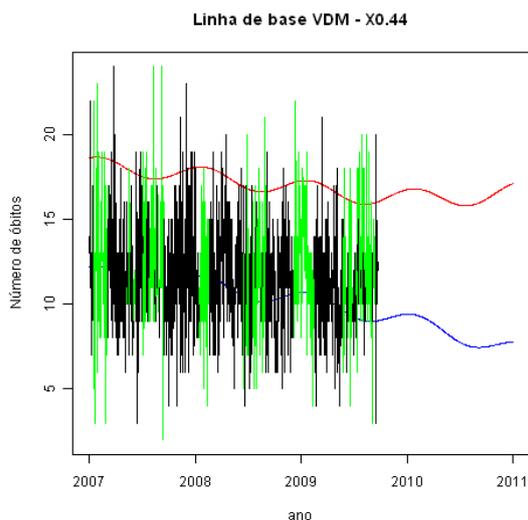


Figura 77. Mortalidade no grupo etário 0-44 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

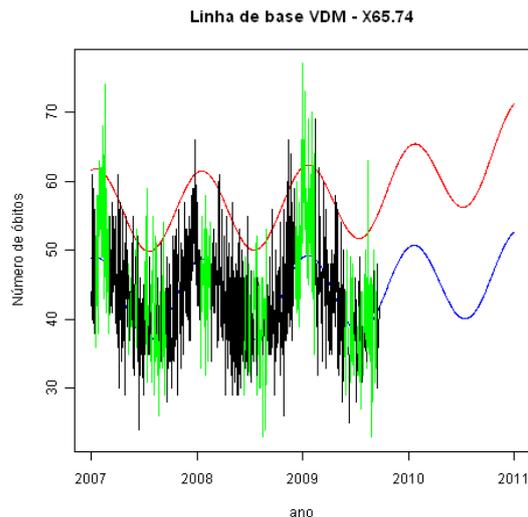


Figura 79. Mortalidade no grupo etário 65-74 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

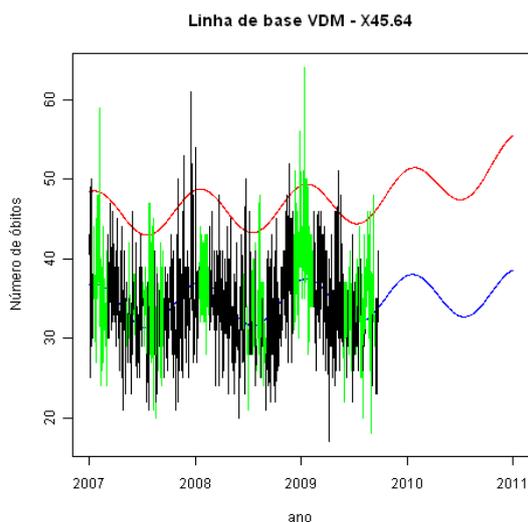


Figura 78. Mortalidade no grupo etário 45-64 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

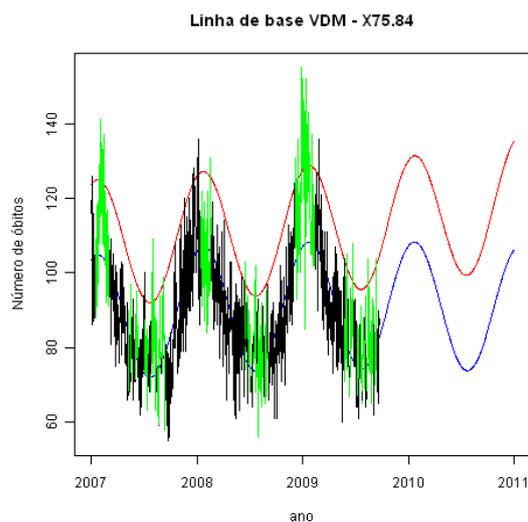


Figura 80. Mortalidade no grupo etário 75-84 por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

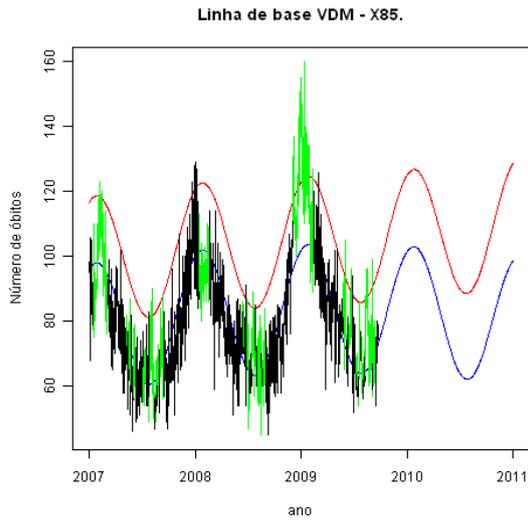


Figura 81. Mortalidade no grupo etário 85+ por "todas as causas" de Portugal Continental entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

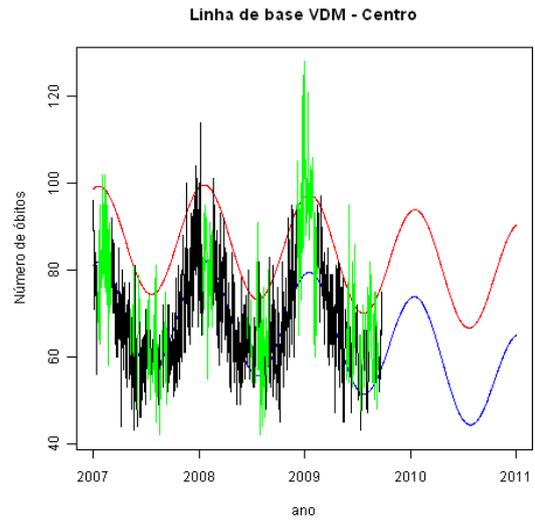


Figura 83. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Centro entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

Região (do registo do óbito)

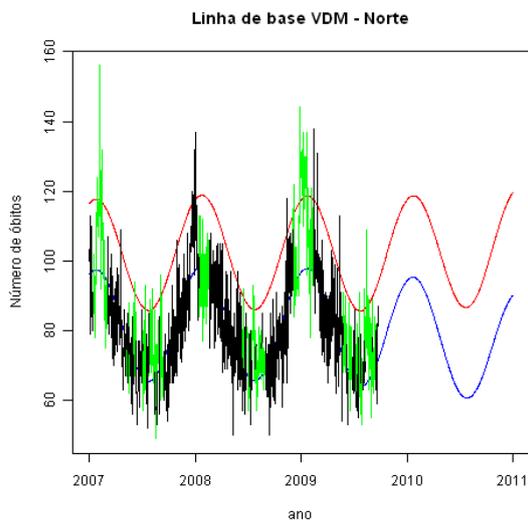


Figura 82. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Norte entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

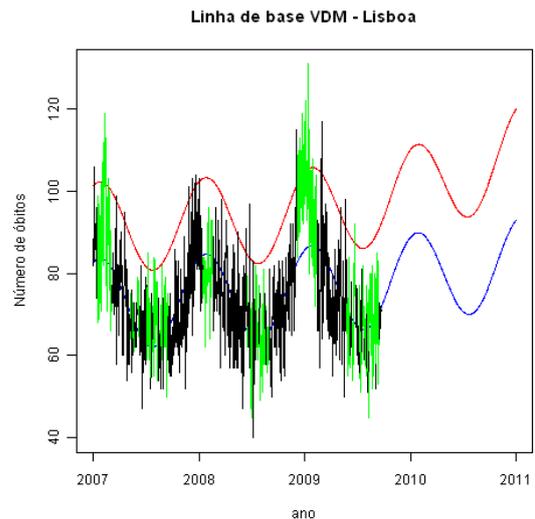


Figura 84. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região de Lisboa entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

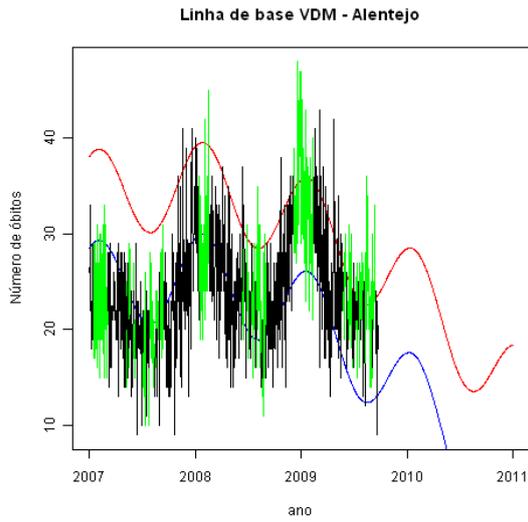


Figura 85. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Alentejo entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

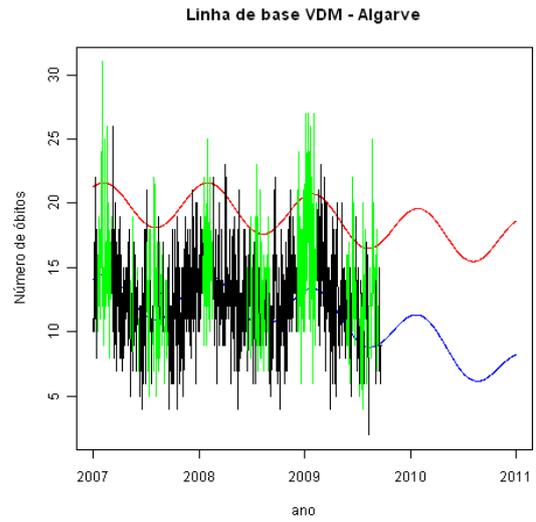


Figura 86. Mortalidade por "todas as causas" registada na Região Algarve entre 2007 e 2009 e respectivas linhas de base e limite superior de 95% de confiança (com projecção até final de 2011)

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES GLOBAIS

<Página em branco>

A presente dissertação teve como objectivos principais a definição de modelos para a relação entre a ocorrência de calor excessivo e o respectivo impacto na mortalidade humana; a construção destes modelos e o estabelecimento de capacidade de previsão no contexto da realidade portuguesa; a definição e discussão de métodos de medição dos impactos do calor na mortalidade; e a definição e estabelecimento de mecanismos de monitorização quer das ondas de calor (ou períodos de calor) quer dos respectivos impactos. O trabalho desenvolvido consistiu num conjunto de seis estudos com interligações entre si (ver Figura 4, página 27, esquema à esquerda/azul) que permitiram ir estabelecendo conhecimento e informação para cumprir todos os objectivos propostos.

Todos os objectivos foram atingidos.

No que respeita aos objectivos principais:

Foram definidos modelos para a relação calor-mortalidade. Do racional que existia à partida assente no limiar fixo de 32°C reminiscente da literatura científica e oriundo da experiência nos Estados Unidos da América (32-34, 51, 90-94), da variável Sobrecarga Térmica Acumulada e do modelo de séries temporais (36), evoluiu-se para um contexto mais simplificado de modelos de regressão linear múltipla, para a utilização de um conceito generalizado da variável STA e para a generalização do conceito de limiar de temperatura, tendo-se passado a considerar limiares dinâmicos e limiares múltiplos em contraponto ao simples limiar fixo. A experiência de vigilância demonstrou que no contexto português a consideração de apenas um sistema centrado numa cidade (Lisboa) não é uma estratégia óptima, a posição geográfica de Lisboa, leva a que por vezes as suas características sejam diferentes do resto do País, pelo que foi necessário pensar a relação calor-geografia-mortalidade para além dos simples diferenciais de limiares referidos na literatura científica (25) nos usuais sistemas de vigilância de ondas de calor (Heat-Health Watch/Warning Systems) (95). Um dos desafios colocados à abordagem aqui apresentada é o facto de esta não assentar fortemente em modelos preestabelecidos por outros, noutros contextos, mas ser sim, quase

exclusivamente, uma novidade portuguesa. Assim, o esforço de demonstração de validade recaiu essencialmente na demonstração de que o respectivo racional está escudado em conhecimento disperso pela literatura científica e no estabelecimento de uma estratégia de validação dos modelos estatisticamente sustentada e sólida. No entanto, o relatório da OMS de 2004 afirma na sua secção *métodos para estimar o efeito da temperatura ambiente na mortalidade e morbidade*: “os métodos epidemiológicos preferidos para estimar o impacto das temperaturas na mortalidade são os estudos de séries temporais da mortalidade diária”. Porém, “a relação entre temperatura e a mortalidade pode ser obtida usando um modelo de regressão linear que quantifica a extensão da variabilidade dos óbitos de dia-para-dia que é explicada pela variação nas temperaturas” (25). Assim a opção do uso de modelos de regressão linear tem precedentes, é justificada e é aceite pela OMS.

O mesmo relatório da OMS afirma que “a relação entre temperatura e mortalidade é muitas vezes não-linear ao longo da gama de possíveis temperaturas” e “a relação entre temperatura e mortalidade em países temperados é descrita como sendo não linear (em forma-de-V ou em forma-de-U) onde existe um ponto mínimo (ou limiar) identificado” (25). Os modelos construídos nesta dissertação estão em completa sintonia com estas afirmações. De facto as variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA e STAG) propostas definem uma forma não linear da relação entre a temperatura e a mortalidade que lhe é concomitante, com a vantagem de o fazer recorrendo à multiplicação de duas componentes lineares fáceis de compreender (número de dias consecutivos acima de um limiar de temperatura e temperatura diária acima daquele limiar).

Ainda o mesmo relatório afirma que “um passo importante é remover a componente sazonal da série de dados para que apenas as associações de curto-prazo (dia-para-dia) restem para serem modeladas” (25). Na leitura do relatório não é completamente claro se é pretendida eliminação da sazonalidade dos dados se refere aos dados de mortalidade ou da temperatura. Nos modelos apresentados nesta dissertação são consideradas estas duas componentes. Foi feita a modelação dos dados de Maio a Outubro para manter a homogeneidade dos dados de Mortalidade e foram testados limiares dinâmicos de temperatura (em particular para o distrito de Lisboa) que compensam a sazonalidade nas

temperaturas diárias. Esta abordagem relaciona-se particularmente bem com a descrição apresentada no relatório da OMS, mostrando que as populações parecem ter uma adaptação rápida à evolução das temperaturas a curto prazo (de semana-para-semana). Estas pistas, levantadas pelos limiares dinâmicos nos modelos para a mortalidade de Lisboa, apontam uma direcção que deve ser explorada na possível dos modelos regionais apresentados. A evolução dos modelos regionais do uso de múltiplos limiares fixos para limiares dinâmicos apresenta-se como um desafio muito interessante para futuro próximo.

Foi alcançada a construção de modelos e o estabelecimento de capacidade de previsão de ondas de calor ou de impactos na mortalidade devidos à ocorrência de calor. O que foi conseguido através do teste de vários modelos para a mortalidade, quer do distrito de Lisboa, quer de quatro regiões (conjuntos de distritos) de Portugal Continental desenhadas exclusivamente para o efeito.

Os modelos para a mortalidade do Distrito de Lisboa para além de estabelecerem a importância da variável Sobrecarga Térmica Acumulada Generalizada acabaram por consistir essencialmente na escolha do melhor limiar dinâmico de temperatura a partir do qual se revelam impactos na mortalidade. O modelo escolhido como melhor para efeitos de vigilância permite detectar impactos na mortalidade com temperaturas ligeiramente acima de 29°C no Final de Abril princípio de Maio, mas em meses posteriores uma temperatura de 30°C não constituirá qualquer perigo. Igualmente interessante foi o constatar que apesar de as temperaturas atingirem o seu máximo por volta dos meados de Agosto e voltarem a decrescer posteriormente os modelos não revelaram qualquer necessidade de controlar esse facto.

Os modelos para as mortalidades regionais constituíram um grande desafio, porque não existia, à partida, a noção de que fossem exequíveis nem uma ideia clara de como transpor o racional definido de um distrito densamente povoado para um conjunto de distritos com menos população e com eventuais heterogeneidades de exposição ao calor. Foi por isso corrido o risco de ter um grande número de modelos em teste onde se fez variar os dados de base (as ondas de calor incluídas), o conjunto de temperaturas (um distrito versus todos

os distritos), o conjunto de variáveis e, pela inclusão sistemática de dois limiares fixos de temperatura 32°C e 35°C [ver Tabela 1, página 44].

Resultou imediato que **a utilização de uma temperatura de referência**, neste caso foi usada a temperatura do distrito com maior correlação com as temperaturas dos restantes distritos do grupo, **não resultou** num racional a seguir quando comparado com os resultados obtidos com a introdução simultânea das temperaturas de todos os distritos do respectivo grupo.

De facto o modelo que **procurava** testar a hipótese da utilização da temperatura de referência e revelou de tanto virtudes como falta destas. Por um lado, **gerou sempre um modelo relativamente mais simples** que os restantes; **mas com o inconveniente de ser quase em regra dos modelos menos explicativos dos testados**. É notório que se não se tivesse testado outros modelos, que se revelaram mais explicativos, **este racional de recurso apenas à temperatura de um distrito, conferiria bons resultados para a vigilância das ondas de calor em cada uma das regiões**.

De facto todos os modelos regionais testados seriam bons para efeitos de previsão e vigilância de ondas de calor. Pois, **todos os modelos incluíram temperaturas de vários distritos; todos os modelos incluíram variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA ou STAG) do dia anterior e do próprio dia**; todos os modelos **consideraram ambos os limiares de temperatura usados de 32 e 35°C**; e, principalmente, todos os modelos **apresentaram ótimos valores de especificidade** (próximos ou acima de 0,99); globalmente apresentaram **muito bons valores de sensibilidade**, estimada para os dados diários no conjunto de 23 anos (1981 a 2003), sobretudo para valores elevados de mortalidade; e **quase perfeitos valores de probabilidade de decisão correcta**.

A definição e discussão de métodos de medição dos impactos do calor na mortalidade foram feitas no último estudo (secção 3.6, com início na página 249). Foram comparadas as estimativas obtidas pelo método directo, consistindo na razão de óbitos observados e esperados (O/E) recorrendo a período homólogos, conforme descrito na subsecção 2.3.5.1.1 (página 51), e por comparação da mortalidade observada comparativa a uma linha de base

definida por um modelo de regressão cíclica, conforme descrito na secção 2.3.5.1.2 (página 52). Adicionalmente, o índice-ÍCARO nacional definido (e equivalentemente se poderia também afirmar o mesmo para o Índice-Alerta-ÍCARO correspondente) revelou-se igualmente um indicador de excesso global de mortalidade associada à ocorrência de calor.

De facto, a magnitude do excesso de mortalidade associada ao calor definido *a priori* pelos índices-ÍCARO nacionais mostrou-se estatisticamente associada à dos respectivos excessos de mortalidade estimados *a posteriori* por outras metodologias (embora se tenha revelado com valor inferior à estimativa mais consensual).

Os métodos usados para obter estimativas do excesso de mortalidade associada à ocorrência de calor num contexto *a posteriori*, o método directo e o método com recurso à regressão cíclica, com base na mortalidade observada, mostraram-se diferentes entre si, com pontos fracos e fortes distintos;

O método directo simples gerou sempre estimativas consistentes, apesar de identificadas limitações nos períodos onde nos anos de comparação (2007 e 2008) não foi possível estabelecer períodos não contaminados por alguma ocorrência de calor;

As abordagens que recorreram à regressão cíclica mostraram fragilidades à partida. Desde logo não geraram sempre linhas de base robustas. As duas definições de determinação de excesso de mortalidade geraram estimativas de magnitudes distintas que se situaram em média no dobro uma da outra. A definição que considerou todos os valores de mortalidade observados no período foi aquela que originou as estimativas mais elevadas; a definição que considerou apenas os valores observados de mortalidade nos dias onde do período onde esta se revelou acima do limite superior de 95% de confiança da linha de base, gerou estimativas comparáveis com as do método directo simples. Seriam expectáveis melhores estimativas pelas metodologias que recorrem à regressão cíclica se as séries de dados de mortalidade fossem mais longas, o que infelizmente não foi possível dado o facto de o sistema VDM ser muito recente e os dados oficiais de mortalidade diária do Instituto Nacional de Estatística pós-2004 não estarem disponíveis.

Por sua vez, no que respeitou à **definição e estabelecimento de mecanismos de monitorização quer das ondas de calor (ou períodos de calor) quer dos respectivos impactos, foram alcançados resultados notáveis** em toda a linha.

No plano da vigilância das ondas de calor, de um cenário em que se tinha apenas um modelo (modelo ÍCARO 1999) **evoluiu-se para um conjunto de 11 modelos** de previsão, dois adicionais para Lisboa (toda a população + população idosa), e mais 8 relativos às quatro regiões definidas (4 para a população total + 4 para a população mais idosa); dos quais aplicada a definição de índice-ÍCARO resultam também **11 índices-ÍCARO** (regionais e distritais); aos quais se acrescentou a noção de índice-ÍCARO nacional, obtido por média ponderada dos índices-ÍCARO regionais pelo uso da população residente de cada região, donde surgem dois **índices-ÍCARO nacionais**, um para toda a população e outro para a população com 75 ou mais anos de idade⁷³; juntou-se **uma melhor compreensão das propriedades dos índices-ÍCARO**; destas surgiu **o conceito de Índice-Alerta-ÍCARO** se apresenta como uma ferramenta para aligeirar a percepção do risco associado aos diferentes índices-ÍCARO disponíveis permitindo que todos eles tenham um único enquadramento de interpretação e concomitantemente de relação entre si; numa escala geográfica mais fina foram ainda estabelecidos modelos para os limiares de temperatura máxima por distrito, que constitui uma ferramenta adicional para a decisão local das autoridades de saúde e de protecção civil.

No plano da vigilância da mortalidade um longo caminho foi percorrido. Como descrito na secção 3.5 (página 222) o sistema desenvolvido de Vigilância Diária da Mortalidade teve a sua génese no grande episódio de onda de calor de 2003, conferindo a este sistema rápido de vigilância de mortalidade o mais antigo estabelecido na Europa (96). Inicialmente um sistema algo arcaico que recorria ao número de óbitos registados por dia, num conjunto de conservatórias do Registo Civil, e de forma convencional usando muitas pessoas, telefonemas e

⁷³ A procura do índice nacional apresentada na secção 3.4.4. centrou-se apenas no índice global para todos os grupos etários. Assumiu-se que a discussão para o índice relativo à população mais idosa completamente idêntica. Apesar de não se apresentar chegou-se a experimentar o uso da população idosa residente em vez da população total como eventual melhor ponderador, mas as diferenças foram imperceptíveis.

faxes. É agora um sistema leve, atempado, rápido e completo que permite de um dia para o outro ter a síntese da informação da mortalidade disponível ao nível nacional, com uma noção muito clara do número de óbitos que ocorrem por dia, com estratificação por género, grupo etário e diferentes localizações geográficas de acordo com o local do registo do óbito. Este sistema de vigilância da mortalidade ultrapassa largamente os objectivos da monitorização dos impactos do calor, colocando-se como uma ferramenta de enorme potencial para monitorização e acção da saúde pública, que está, em Portugal, inevitavelmente ligado na sua origem ao fenómeno das ondas de calor e da sua vigilância.

Todo o trabalho apresentado nesta dissertação mostra a transição⁷⁴ de um sistema simples de vigilância centrado numa grande cidade, como existiam outros na literatura científica (97, 98), e num modelo simples de previsão de mortalidade baseada nas temperaturas do ar, para um sistema de vigilância nacional que dispõe de múltiplos modelos regionais, que integram potencialmente informação de todas as temperaturas distritais, assente num conjunto de índices de avaliação do risco associado, com um enquadramento uniformizado de interpretação, e com uma ferramenta de monitorização da mortalidade que permite a confirmação rápida da mortalidade prevista, que não tem, para já, comparação com nenhum outro sistema de vigilância de ondas de calor implementado em qualquer outra parte do mundo. Este facto dificulta a defesa do trabalho com base na literatura científica, a validação decorre mais de conjunto de passos dados sistematicamente e assentes em muita experiência no terreno, em ambiente concreto de vigilância de ondas de calor.

De tudo o que se expôs resulta claramente vencida uma batalha técnica. Daqui para a frente é possível um sistema de vigilância de ondas de calor nacional, com ferramentas padronizadas de interpretação do risco associado à ocorrência do calor, com níveis de informação relevantes para as autoridades no terreno, e com ferramentas de confirmação rápida ao nível da mortalidade. Daqui não há retrocesso.

⁷⁴ Ou talvez melhor, os passos que permitiram esta transição.

Certamente que mais de uma década de vigilância de ondas de calor em Portugal amplamente associada ao trabalho aqui apresentado, já produziu alguns ganhos de saúde e de vidas, mas uma demonstração inequívoca de tal não existe, não é ainda possível e será sempre difícil. Não foi objectivo deste trabalho envolver-se em questões de mitigação dos efeitos das ondas de calor, que obviamente as autoridades competentes procuram responder o melhor que é possível, mas parece lícito que do trabalho aqui apresentado, se dê uma noção de quando ou que critério poderão dar-nos uma indicação de que as medidas no terreno tiveram um sucesso irrefutável. Dada a sistemática observação de valores de excesso de óbitos do que os previstos pelo índice-ÍCARO, ao longo dos últimos anos, como aconteceu em 2009, conforme visto na secção 3.6, e havia já acontecido em 2006 (83, 84), **a obtenção sistemática de menos óbitos do que os previstos pelo actual índice-ÍCARO Nacional no balanço anual da mortalidade de Verão** constituiria um inequívoco indicador de sucesso das estratégias de mitigação dos efeitos do excesso de calor.

Por razões que são difíceis de esclarecer, os dados de mortalidade de rotina, que em Portugal são da responsabilidade do INE (o trabalho aqui apresentado assentou em 23 anos desses dados), têm vindo a estar menos disponíveis para a investigação. É relevante o exemplo da onda de calor ocorrida em 2006, da qual as únicas estimativas disponíveis são as obtidas pelo sistema VDM na sua versão original que apresentava muitas limitações. A nova versão do VDM apresentada, mostra muitas virtudes, de detecção e de confirmação de fenómenos com impactos na mortalidade, nos quais se incluem os de ondas de calor, mas não colmata todas as necessidades de investigação. Por exemplo, é necessário conseguir caracterizar as causas de morte que se associam aos períodos de ocorrência de calor, para perceber se o padrão é o mesmo que se observava no passado ou se existem outros padrões que impliquem medidas de acção específicas. É para tal necessário que os dados de rotinas continuem a estar disponíveis em contexto de investigação em saúde ou que se criem sistemas alternativos que permitam ultrapassar estas limitações.

O conceito desenvolvido de Índice-Alerta-ÍCARO foi integrado a título experimental no boletim-ÍCARO de 2010 em Abril, e foi prontamente assimilado e integrado nos critérios de alerta propostos no documento do plano de contingência de ondas de calor de 2010 (99) anunciado publicamente antes do dia 15 de Maio. Esta tão rápida assimilação deve significar que o conceito era de facto necessário e que apresenta as vantagens que se lhe anteviam.

A literatura científica recente parece apoiar muitas das pistas estabelecidas para e pelos modelos construídos nesta dissertação. Nomeadamente,

- O uso de temperaturas do ar e respectiva escolha de limiares (100, 101);
- As variáveis de Sobrecarga Térmica Acumulada (STA e STAG) (100);
- A utilização das variáveis STA e STAG do próprio dia e do dia anterior (101);
- A utilização de dois limiares para os modelos regionais (101, 102);
- A consideração da mortalidade de grupos mais idosos para realização de modelos para a relação calor-mortalidade (12, 53);
- A proposta de adaptação a curto prazo à subida sustentada das temperatura no período inicial do Verão (12, 102, 103);
- A construção de um sistema de vigilância de ondas de calor (104);
- A definição de período de calor com impacto na mortalidade saindo um pouco da ideia de que se trata de um fenómeno restrito às ondas de calor (12);
- A definição da proposta de indicador das estratégias de mitigação dos efeitos de ocorrência de excesso de calor (105).

De facto, o artigo de Kysely e Kriz (2008) (101) discute a definição de onda de calor, em que se propõe um período de pelo menos três dias com temperaturas elevadas. Afirma-se ainda que já foi demonstrado que o uso das temperaturas do ar médias, máximas e mínimas são bons indicadores, mas que o ideal é o uso da média dos índices de calor diários. Em particular, estes autores definem, para a república Checa, onda de calor como sendo um período de pelo menos três dias com índice médio de calor a exceder o quantil de 95% da sua distribuição (estudada num período de 20 anos, 1986-

2006), com pelo menos um dia a exceder o quantil de 98% “para garantir que existe pelo menos um dia com calor realmente extremo”.

A propósito afirmam adicionalmente: “as definições de ondas de calor e frio usando dois limiares são relativamente frequentes em estudos bio e climatológicos”.

Este estudo reconhece também que a mortalidade de Verão se relaciona habitualmente de forma mais forte com desfasamento de um dia.

Todos estes aspectos se relacionam com os modelos propostos nesta dissertação.

Primeiro, nos modelos propostos aqui defendidos usou-se apenas a mortalidade máxima do ar diária com assinaláveis resultados. Não foi considerado o uso de índices de calor. Tal constituirá um estudo que se poderá fazer no futuro para avaliar se a respectiva utilização resulta em melhoramento dos modelos para a realidade portuguesa. Mas é no entanto particularmente relevante que a escolha das temperaturas limiares tenha sido feita de forma similar, recorrendo aos quantis de 97,5% das temperaturas do ar (ver secção 3.1, página 56);

Segundo, nos modelos regionais (secção 3.3, página 97) recorreremos à utilização de duas temperaturas limiares, para ter um princípio comum para todas as regiões e porque o conhecimento e as circunstâncias para a modelação regional não eram tão boas como para o distrito de Lisboa, mas na perspectiva destes autores também é algo usual nos estudos bio e climatológicos.

Terceiro, mais uma vez as variáveis sobrecarga térmica acumulada (STA e STAG) saem reforçadas porque embora em si não equacionem um número mínimo de dias, a sua quantificação de risco aumenta de forma multiplicativa com o número de dias consecutivos com temperaturas muito elevadas. Em certa medida as variáveis STA e STAG são uma generalização das definições de onda de calor propostas por estes autores.

Quarto, a referência ao desfasamento de um dia entre a ocorrência das temperaturas e o seu impacto na mortalidade, é recorrente na literatura científica sobre a temática, e está de acordo com a inclusão nos modelos estudados das variáveis STA ou STAG do próprio dia [STA_t ou $STAG_t$] e do dia anterior [STA_{t-1} ou $STAG_{t-1}$].

Por sua vez, Hertel et al. (2009) (100) discutem a forma não linear da mortalidade com o calor em períodos de dias consecutivos de temperatura elevada, observando que “existe alguma evidência de que a longa duração de ininterrupta de calor (a chamada onda de calor) contribui para mortalidade aumentada. Independentemente e acima do efeito puro da temperatura elevada”, chamam-lhe mesmo “efeito acrescido da onda de calor”, argumentando adicionalmente que este efeito “parece biologicamente plausível” porque os dias sucessivos de calor induzem stress sobre o sistema termo-regulador, e o corpo é incapaz de recuperar quando não existem períodos intermitentes de calor.

Esta descrição também se ajusta perfeitamente à construção das variáveis de sobrecarga térmica acumulada [STA e STAG]. Note-se o quão próximo a designação “sobrecarga térmica” está da noção apresentada por estes autores e de como a construção da variável STAG está da noção de “recuperação do corpo [do stress térmico] quando existem períodos intermitentes de calor”.

No artigo de revisão sobre mortalidade relacionada com o calor Hajat e Kosatky (2010) (12) estudaram os limiares de temperatura e declives para 64 localizações de seis continentes, a maioria da América do Norte e da Europa. Os limiares de temperatura foram genericamente mais elevados em comunidades mais próximas do equador, sugerindo algum grau de adaptação.

Em cerca de metade das cidades o risco aumenta 1 a 3 % por cada 1°C de aumento da temperatura máxima, mesmo em cidades onde o problema nunca foi percebido.

Usando modelos de meta-regressão estes autores mostraram que o aumento da densidade demográfica, a diminuição do PIB e a percentagem de indivíduos com 65 ou mais anos de idade se associam todos independentemente com a relação calor-mortalidade.

Este artigo reconhece que para lá das situações “catastróficas” das ondas de calor que trouxeram os seus riscos para a ribalta, é reconhecido actualmente que “mesmo temperaturas moderadamente quentes podem ser associadas a

efeitos de saúde adversos e que podem ocorrer mortes relacionadas com o calor durante o Verão que são teoricamente preveníveis”.

Este artigo dá indicações que apoiam a ideia de adaptação a curto prazo à evolução das temperaturas no início do Verão. As eventuais correlações da mortalidade relacionada com o calor com o PIB não parece relevante para a construção de modelos de um só país ou de pequenas regiões, aliás alguns estudos tentaram relacionar o binómio calor-mortalidade com o nível socioeconómico (54) e de privação (106) dos indivíduos sem obterem resultados conclusivos.

O artigo McMichael et al. (2008) (103) reporta um estudo sobre a mortalidade relacionada com o frio e o calor em 12 populações urbanas de países pertencentes e não pertencentes à OCDE (Deli, Montrey, Cidade do México, Chiang Mai, Bangucoque, Salvador, Santiago, Cidade do Cabo, Ljubliana, Bucarest e Sofia).

A maioria das cidades apresentou uma relação (calor-mortalidade) em forma-de-U e os respectivos limiares para morte relacionada com o calor variaram dos 16°C aos 31°C.

Este artigo afirma ainda que em enquadramentos geográficos muitos diversos ocorrem excessos de mortalidade associada a temperaturas extremas. Os impactos dependem de factores climáticos e não climáticos (como os perfis de doença de cada país). No entanto, **estas populações mostram capacidade de adaptação às subidas sustentadas das temperaturas do ar**. O artigo afirma porém que são necessários estudos adicionais para aprofundar o conhecimento sobre este aspecto da adaptação. No entanto é relevante que seja referido o aspecto da adaptação a curto prazo à evolução das temperaturas mais elevadas o que está em sintonia com a mesma ideia defendida nesta dissertação.

Este artigo aponta **que os modelos para a relação entre calor e mortalidade parecem ter características universais, cujo desafio é saber como generalizá-las**.

No artigo Tong, Wang e Barnett (2010) (102) os autores reconhecem que não existe uma definição global de onda de calor porque a aclimatização e a

adaptação influenciam o impacto do calor extremo, afirmam ainda que até ao nível local podem existir múltiplas definições [de ondas de calor] baseadas em diferentes níveis de temperatura e períodos de tempo. Estes autores usaram dados climáticos, de poluição e morbidade australianos para investigar uma dezena e possíveis definições de ondas de calor mostrando que pequenas variações na definição usada produzem alterações consideráveis nos impactos de saúde estimados.

O que é relevante para o trabalho desta dissertação é a discussão que estes autores fazem das possíveis definições locais de ondas de calor que podem ter múltiplas concretizações baseadas em vários níveis de temperatura e períodos de tempo, o que está em sintonia com o trabalho aqui desenvolvido onde o uso de múltiplas temperaturas ao nível distrital permitem diferenciação local da definição [de onda de calor ou períodos de calor], e em particular o recurso aos limiares dinâmicos testados nos modelos para Lisboa que integram ambas as ideias, onde a definição de onda de calor ou período de calor depende do período de tempo em que nos encontremos e do nível de temperatura.

Nesta dissertação sugeriu-se que os modelos (sobretudo aqueles com limiares dinâmicos) apontavam para a noção de adaptação dos indivíduos (e comunidades) a curto prazo ao aumento das temperaturas ao longo dos meses de Maio, Junho e Julho, estes autores, sem o demonstrar, dizem: “a adaptação [às temperaturas] influenciam [/dificultam] o estabelecimento de uma definição única de onda de calor”.

Por sua vez o artigo de O'Neill et al. (2009) (104) discute o que é um sistema de vigilância de ondas de calor (HHWS) no conjunto de possíveis estratégias preventivas. Citando Kovats e Ebi 2006 (107) definem que um sistema de vigilância de ondas de calor é um “sistema que usa previsões meteorológicas para dar início a acções específicas de saúde pública delineadas para reduzir os impactos, na saúde humana, relacionados com o calor durante períodos de atípico tempo quente” e as subsequentes intervenções incluem avisos na comunicação social, abertura de espaços de refrigeração, visitas domiciliárias ou chamadas telefónicas a grupos de pessoas vulneráveis, e

boletins electrónicos em websites, mas a eficácia destas medidas necessita de estudos adicionais.

O sistema de vigilância ÍCARO, longamente discutido nesta dissertação, enquadra-se de nesta definição e é uma ferramenta com grande potencial para a adopção das respectivas medidas de saúde pública.

Por último, o artigo de Fouillet et al. (2008) (105) sugere que a ocorrência de menos excesso de mortalidade observada [em 2006] do que a esperada por modelação pode ser interpretada como “um decréscimo da vulnerabilidade populacional [desde 2003]” em conjunto com a crescente consciencialização do risco relacionado com as temperaturas extremas, e as medidas preventivas tomadas em França. Esta ideia tem algum paralelo com a sugestão feita acima de um indicador concreto do sucesso das estratégias de mitigação dos efeitos das ondas de calor passa pela observação consistente de menos mortalidade do que as esperadas pelos actuais modelos de previsão.

O estudo dos métodos de cálculo de excesso de mortalidade atribuível à ocorrência de períodos de calor ou ondas de calor, metodologia apresentada na secção 2.3.5.1 (página 50) e discutida na secção 3.6 (com início na página 249) reveste-se de importância porque é necessário que seja feita avaliação do impacto das ondas de calor após a sua ocorrência. A este propósito Ostro et al. (2009) (108), na sequência da onda de calor ocorrida em 2006 na Califórnia (EUA), descreve o problema da mortalidade relacionada com o calor tender a ser subestimada. Estes autores alegam que tal acontece por não existir uma definição clara de caso e a natureza da mortalidade associada ao calor ser multifactorial. Assim advogam que, do ponto de vista da saúde pública, é fundamental/necessário que exista “uma cuidada avaliação da mortalidade após [a ocorrência] de uma onda de calor”.

Existem alguns aspectos que são referenciados na literatura científica recente que não foram integrados nos modelos defendidos nesta dissertação. Nomeadamente:

- O efeito de colheita (109)

Em Portugal não foi ainda descrita evidência de um efeito de colheita. Por alguma razão, tal ainda não se mostrou relevante. Existe, pelo contrário, evidência de excesso de calor alguns dias depois de uma grande onda de calor provocar excesso adicional de mortalidade. Desta forma não se mostrou importante integrar este aspectos nos modelos apresentados.

- Dependência entre Invernos e Verões conectivos (110)

Este aspecto também não foi considerado nos modelos aqui discutidos. De facto, estes modelos foram obtidos de dados de ondas de calor que não de anos consecutivos, que distam umas das outras vários anos. Assim também não foi relevante considerá-lo para a modelação.

É no entanto de notar que este facto justifica a abordagem de estimação de excesso de mortalidade [dos períodos de excesso de calor] usando o método de regressão cíclica. Muitos leitores desta metodologia (secção 2.3.5.1.2) acham estranho que para estimar mortalidade ocorrida no Verão se recorra a dados de actividade gripal. De facto, quando se usa esta metodologia, omitir os dados dos períodos de calor e actividade gripal permite controlar estas eventuais transferências e mortalidade referidas pelos autores Rocklov et al. (2009) (110).

- A utilização de índices de calor em vez de temperaturas absolutas (111)

O artigo de Metzger, Ito e Matte (2010) (111) compara vários índices de calor na cidade de Nova Iorque (EUA) (1992-2006) concluindo que o *Heat Index Max* (HIM) que tem uma correlação $R=0,07$ com a mortalidade total diária contra o uso da *temperatura máxima* (TMax) que apresenta uma correlação $R=0,06$ com a mesma mortalidade diária e a correlação entre os dois Índices (HIM e TMax) foi $R=0,99$, ou seja parece ser possível aferir que a diferença entre os dois índices é praticamente indiferenciável. É um facto que a literatura tende a usar índices de temperatura em vez das temperaturas do ar, mas aqui os

resultados obtidos são particularmente bons. Se tal é algo específico da realidade portuguesa ou da forma como os modelos foram construídos é algo que necessitará de estudos adicionais.

- A utilização de outras variáveis como o ozono (112)

Podíamos dar aqui conta de inúmeros artigos que referem a importância de outras variáveis na relação calor-mortalidade. Dada a relação tão directa entre temperatura e mortalidade, pelo menos para a realidade portuguesa, os modelos desenvolvidos nesta dissertação permitem assinalar a ocorrência de ondas de calor com impacto assinalável em 99,5% dos casos, é difícil de imaginar que a consideração de outras variáveis melhore este indicador para efeitos de vigilância de períodos de calor com impacto na mortalidade. Pois regra geral acontece como a Tong, Ren e Becker. (2010) (112) para a ocorrência de excesso de mortalidade numa onda de calor de 2004 na Austrália, onde concluíram que “a ocorrência do excesso de mortalidade deveu-se principalmente ao calor mas o ozono também terá contribuído”.

- Consideração de maior vulnerabilidade nas mulheres (53, 54)

Existem várias razões para considerar que a construção de modelos distintos para mulheres e homens não se reveste de importância prática.

- 1) Os modelos alcançados para ambos os sexos em conjunto são particularmente bons;
- 2) A noção de que o sexo feminino é mais vulnerável é um conhecimento recente, que só foi apontado após a grande onda de calor de 2003, onde se observou maior mortalidade absoluta e relativa nas mulheres contra o conhecimento estabelecido até então [contrariando o conhecimento descrito no relatório da OMS de 2004 (25)]. Vários países descreveram este facto, entre eles Portugal (26, 113) e cujo facto foi notado por Kosatsky (2005) (114). Esta discrepância parece ocorrer quando a onda de calor tem uma duração particularmente longa. O objectivo prático dos modelos da relação calor-mortalidade é

assinalar a ocorrência de fenómeno anómalo mais precocemente possível e não acertar exactamente o número de óbitos de mulheres na terceira semana da onda de calor.

O futuro do trabalho aqui apresentado passa no essencial pela capacidade de generalizar os resultados aqui apresentados [para outros locais e populações] conforme afirmado por McMichael et al. (2008) (103), já referido acima.

Mas obviamente que a obtenção de modelos de resultados de saúde com o calor não se esgota na mortalidade. De facto, mostra-se um desafio interessante conseguir modelos semelhantes para dados de morbilidade como é o exemplo de ocorrências de internamento hospitalar ou a procura de cuidados de saúde em unidades de serviços de emergência. De momento surgem muitos estudos nesta área, mostrando o respectivo potencial. Por exemplo, os trabalhos e Jossier et al. (2009) (115) e (2010) (116) e ainda de Knowlton et al. (2009) (117) discutem o aumento da morbilidade durante as ondas de calor e os mecanismos de monitorização dos respectivos dados. Stafoggia et al. (2008) (52), junta morbilidade e mortalidade e mostra que existe mortalidade nosocomial devida ao calor, com um aumento de 40% da mortalidade no hospital quando ocorrem ondas de calor. Nunes et al. (2010) (118), na mesma linha vai um pouco mais longe e relaciona ainda a presença de ar condicionado no hospital, mostrando que tal presença reduz a mortalidade nosocomial em 40%.

Montero et al. (2010) (119) abre ainda outra linha de investigação interessante falando sobre a necessidade dos planos de contingência das ondas de calor e dos aspectos que são necessários ter em conta para os seus melhoramentos à luz dos conhecimentos mais recentes. Afirmam eles que “estudos recentes têm demonstrado fraquezas dos planos [de contingência das ondas de calor]”, “muitos dos planos foram desenhados de forma apressada sem considerarem com base sólida os mecanismos biológicos que influenciam a relação entre ondas de calor e saúde porque tais estudos não existem”.

A ocorrência de ondas de calor ou de períodos de calor e a respectiva relação com a saúde humana colocam desafios que não se esgotarão no futuro próximo.

Por isso o trabalho desta dissertação não pode deixar de ser um modesto contributo para o caminho ainda a percorrer.

REFERÊNCIAS

1. Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths--four states, July-August 2001, and United States, 1979-1999. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2002 Jul 5;51(26):567-70.
2. Clarke JF. Some climatological aspects of heat waves in the contiguous United States. *Environ Res.* 1972;5(1):76-84.
3. Kunst AE, Looman CW, Mackenbach JP. Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. *Am J Epidemiol.* 1993 Feb 1;137(3):331-41.
4. Smoyer-Tomic KE, Kuhn R, Hudson A. Heat wave hazards: An overview of heat wave impacts in Canada. *NATURAL HAZARDS.* 2003 MAR 2003;28(2-3):463-85.
5. Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Vichi M, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res.* 2005;98(3):390-9.
6. Faunt JD, Wilkinson TJ, Aplin P, Henschke P, Webb M, Penhall RK. The effete in the heat: heat-related hospital presentations during a ten day heat wave. *AustNZJ Med.* 1995;25(2):117-21.
7. Richards DA. Deaths in a heat wave. *AustNZJ Med.* 1995;25(2):109-10.
8. Heat--related illnesses and deaths-United States, 1994-1995. *MMWR MorbMortalWklyRep.* 1995;44(25):465-8.
9. Wainwright SH, Buchanan SD, Mainzer HM, Parrish RG, Sinks TH. Cardiovascular mortality--the hidden peril of heat waves. *PrehospDisasterMed.* 1999;14(4):222-31.
10. Mastrangelo G, Hajat S, Fadda E, Buja A, Fedeli U, Spolaore P. Contrasting patterns of hospital admissions and mortality during heat waves: are deaths from circulatory disease a real excess or an artifact? *Med Hypotheses.* 2006;66(5):1025-8.
11. Yip FY, Flanders WD, Wolkin A, Engelthaler D, Humble W, Neri A, et al. The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000-2005. *Int J Biometeorol.* 2008 Nov;52(8):765-72.

12. Hajat S, Kosatky T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *J Epidemiol Community Health*. 2010 Sep;64(9):753-60.
13. Montero Rubio JC, Miron Perez IJ, Criado-Alvarez JJ, Linares C, Diaz Jimenez J. [Heat health warning systems: possibilities of improvement]. *Rev Esp Salud Publica*. 2010 Mar-Apr;84(2):137-49.
14. Trigo RM, Garcia-Herrera R, Diaz J, Trigo IF, Valente MA. How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*. 2005 MAY 18 2005;32(10).
15. Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol*. 2008 Feb;331(2):171-8.
16. Falcão JM, Castro MJ, Falcão MLM. Efeitos de uma onda de calor na mortalidade da população de Lisboa. *Saúde em Números*. 1988;3(2):10-2.
17. Garcia A, Nogueira P, Falcão J. Onda de calor de Junho de 1981 em Portugal: efeitos na mortalidade. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. 1999;1:67-77.
18. Paixão E, Nogueira P. Estudo da Onda de calor de Julho de 1991 em Portugal: Efeitos na Mortalidade. Report. Lisboa.: Observatório Nacional de Saúde – Instituto Nacional de saúde Dr. Ricardo Jorge.2002.
19. Calado R, Botelho J, Catarino J, Carreira M, Nogueira PJ, Paixão EJ, et al. A ONDA DE CALOR DE AGOSTO DE 2003 E OS SEUS EFEITOS SOBRE A MORTALIDADE DA POPULAÇÃO PORTUGUESA. *Revista Nacional de Saúde Pública*. 2004 Julho/Dezembro de 2004;2:7-20.
20. Calado R, Botelho J, Catarino J, Carreira M, Nogueira PJ, Paixão EJ, et al. Onda de calor de Agosto de 2003: os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa. Report. Lisboa.: Observatório Nacional de Saúde – Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge e Direcção de Serviços de Informação e Análise - Direcção-Geral da Saúde 20042004.

21. Paixão E, Nogueira P. EFEITOS DE UMA ONDA DE CALOR NA MORTALIDADE. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. 2003;21(1):41-54.
22. Falcão J, Paixão E, Nogueira P, Nunes B. Onda de calor de Julho de 2004: efeitos sobre a mortalidade na região do Algarve, Agosto de 2004. Report. Lisboa.: Observatório Nacional de Saúde – Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.2004.
23. Kilbourne EM. The spectrum of illness during heat waves. *Am J Prev Med*. 1999;16(4):359-60.
24. Semenza JC, McCullough JE, Flanders WD, McGeehin MA, Lumpkin JR. Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med*. 1999;16(4):269-77.
25. Koppe C, et al. Heat Waves: risk and responses: World Health Organization.; 2004.
26. Nogueira PJ, Falcao JM, Contreiras MT, Paixao E, Brandao J, Batista I. Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *Euro Surveill*. 2005;10(7):150-3.
27. Garcia-Herrera R, Díaz J, Trigo RM, E H. Extreme summer temperatures in Ibéria: Health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geographicae*. 2005;23:239-51.
28. Garcia-Herrera R, Díaz J, Trigo RM, Hernández E. Extreme summer temperatures in Ibéria: Health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geographicae*. 2005;23:239-51.
29. Diaz J, Jordan A, Garcia R, Lopez C, Alberdi JC, Hernandez E, et al. Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health*. 2002;75(3):163-70.
30. Schuman SH, Anderson CP, Oliver JT. Epidemiology of Successive Heat Waves in Michigan in 1962 and 1963. *Jama*. 1964 Sep 7;189:733-8.
31. Henschel A, Burton LL, Margolies L, et al. An analysis of the heath deaths in St. Louis during July, 1966. *American Journal of Public Health*. 1969;59(12):2232-42.

32. Centers for Disease Control and P. Heat-related illness and deaths- United States, 1994-1995. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 1995;44(25):465-8.
33. Centers for Disease Control and P. Heat-Wave Related Mortality – Milwaukee, Wisconsin, July 1995. *JAMA.* 1996;276(4):275.
34. Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths- Dallas, Wichita, and Cook Counties, Texas, and United States, 1996. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 1997;46(23):528-31.
35. Dessai S. Heat stress and mortality in Lisbon part I. model construction and validation. *Int J Biometeorol.* 2002 Dec;47(1):6-12.
36. Nunes B, Canto e Castro L. Não morrer de calor! ... Será uma questão de habituação? *Estatística: A diversidade na Unidade Novas tecnologias*, 7. Lisboa, Portugal: Edições Salamandra; 1998.
37. Saez M, Sunyer J, Castellsague J, Murillo C, Anto JM. Relationship between weather temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona. *Int J Epidemiol.* 1995 Jun;24(3):576-82.
38. Smoyer KE, Rainham DG, Hewko JN. Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996. *Int J Biometeorol.* 2000 Nov;44(4):190-7.
39. Smoyer KE, Kalkstein LS, Greene JS, Ye HC. The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.* 2000 JUN 30 2000;20(8):881-97.
40. Naughton MP, Henderson A, Mirabelli MC, Kaiser R, Wilhelm JL, Kieszak SM, et al. Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med.* 2002;22(4):221-7.
41. Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, V T, Vichi M, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res.* 2005 Jul;98(3):390-9.
42. Cayolla-da-mota. *Um Dicionário de Epidemiologia (segunda edição).* Lisboa: Departamento de Estudos e Planeamento da Saúde; 1995.
43. Porta M. *A dictionary of epidemiology edited for the International Epidemiological Association.* 5th ed. ed. Porta M, Greenland S, Last J, editors: Oxford University Press; 2008.

44. Galbraith R. Trigonometric Regression. In: Armitage A, Colton T, editors. Encyclopedia of Biostatistics - second edition: Wiley and Sons; 2005.
45. Hair Jj, Black W, Babin B, Anderson R, Tatham. Multivariate Data Analysis - 6th edition. Prentice Hall; 2005.
46. Medicos-Sentinela. O que se fez em 2007. Lisboa: Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge 2009.
47. Royston P. Polynomial Regression. In: Armitage P, Colton T, editors. Encyclopedia of Biostatistics - second edition: John Wiley and Sons; 2005. p. 4140-3.
48. Morgenstern H. Ecologic studies. In: Greenland kJReS, editor. Modern epidemiology second edition. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers; 1998.
49. Paustenback D. Human and Ecological risk assessment. Theory and practice. Paustenback D, editor: John Wiley and Sons; 2002.
50. Kovats S, Ebi K, B M. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Copenhagen: World Health Organization 2003.
51. Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths - Chicago, July 1995. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 1995;44(31):577-9.
52. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, Caranci N, de'Donato F, Demaria M, et al. Factors affecting in-hospital heat-related mortality: a multi-city case-crossover analysis. J Epidemiol Community Health. 2008 Mar;62(3):209-15.
53. Bell ML, O'Neill MS, Ranjit N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA, Gouveia NC. Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. Int J Epidemiol. 2008 Aug;37(4):796-804.
54. Ishigami A, Hajat S, Kovats RS, Bisanti L, Rognoni M, Russo A, et al. An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. Environ Health. 2008;7:5.
55. Schifano P, Cappai G, De Sario M, Michelozzi P, Marino C, Bargagli AM, et al. Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. Environ Health. England 2009. p. 50.

56. Cerutti B, Tereanu C, Domenighetti G, Cantoni E, Gaia M, Bolgiani I, et al. Temperature related mortality and ambulance service interventions during the heat waves of 2003 in Ticino (Switzerland). *SozPraventivmed.* 2006;51(4):185-93.
57. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, et al. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health. England* 2010. p. 37.
58. Marinacci C, Marino M, Ferracin E, Fubini L, Gilardi L, Visentin P, et al. [Testing of interventions for prevention of heat wave related deaths: results among frail elderly and methodological problems]. *Epidemiol Prev.* 2009 May-Jun;33(3):96-103.
59. de Martino A, Vasselli S, D'Argenio P. [Strategies for protecting the elderly from the health-risks of heat-waves: measures undertaken in Italy in the summer of 2004]. *Ig Sanita Pubbl.* 2005 May-Jun;61(3):293-312.
60. Canoui-Poitrine F, Cadot E, Spira A. Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2006;54(2):127-35.
61. Pirard P, Vandentorren S, Pascal M, Laaidi K, Le Tertre A, Cassadou S, et al. Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *Euro Surveill. France* 2005. p. 153-6.
62. Simon F, Lopez-Abente G, Ballester E, Martinez F. Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Euro Surveill.* 2005;10(7):156-61.
63. Michelozzi P, de Donato F, Bisanti L, Russo A, Cadum E, DeMaria M, et al. The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *Euro Surveill. France* 2005. p. 161-5.
64. Nogueira P, Nunes B, Dias C, Falcão J. Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice Ícaro. *Revista Portuguesa de Saúde Pública.* 1999;1:79-84.
65. Nunes B, Natario I, Carvalho L. Flubase: Baseline of mortality free of influenza epidemics. R package version 1.0. 2009.

66. Nogueira P, Nunes B, Machado A, Rodrigues E, Gómez V, Sousa L, et al. Early estimates of the excess mortality associated with the 2008-9 influenza season in Portugal. *Euro Surveill.* 2009;18(14):pii: 19194.
67. Hoshiko S, English P, Smith D, Trent R. A simple method for estimating excess mortality due to heat waves, as applied to the 2006 California heat wave. *Int J Public Health.* 2009 Aug 13.
68. Zar J. *Biostatistical analysis* - 3rd edition: Prentice Hall; 1996.
69. Carracedo-Martinez E, Tobias A, Saez M, Taracido M, Figueiras A. [Case-crossover design: Basic essentials and applications]. *Gac Sanit.* 2009 Mar-Apr;23(2):161-5.
70. Breslow N, Day N. *Statistical methods in cancer research. Vol. II: The design and analysis of cohort studies.* Research IAfC, editor. Lyon: International Agency for Cancer Research; 1987.
71. Silcocks P. Estimating confidence limits on a standardised mortality ratio when the expected number is not error free. *J Epidemiol Community Health.* 1994 Jun;48(3):313-7.
72. Nogueira P, Falcao J, Contreiras M, Paixao E, Brandao J, Batista I. Mortality in Portugal associated with the heat wave of August 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *Euro Surveill.* 2005;10(7):150-3.
73. Garcia AC, Nogueira PJ, Falcão JM. Onda de calor de Junho de 1981 em Portugal: efeitos na mortalidade. *Revista Portuguesa de Saúde Pública.* 1999;I:67-77.
74. Paixão EJ, Nogueira PJ. EFEITOS DE UMA ONDA DE CALOR NA MORTALIDADE. *Revista Portuguesa de Saúde Pública.* 2003 2003;21(1):41-54.
75. Nogueira PJ, Nunes B, Dias CM, Falcão JM. Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice Ícaro. *Revista Portuguesa de Saúde Pública.* 1999;I:79-84.
76. Nogueira PJ, Kirch W, Menne B, Bertollini R. Examples of Heat Health Warning Systems: Lisbon's ICARO's surveillance system, summer of 2003. *Extreme weather events and Public Health Responses: European Public Health Association.*; 2005.

77. Nogueira PJ. Examples of Heat Health Warning Systems: Lisbon's ICARO's surveillance system, summer of 2003. Extreme weather events and Public Health Responses: European Public Health Association.; 2005.
78. Nunes B, Canto e Castro L, Falcão JM. Efeitos do Excesso de Calor na Mortalidade: Modelos de Previsão. Report: Observatório Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge. Documento Interno (Não Publicado).1999.
79. Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, Haines A. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health*. 2002;56(5):367-72.
80. Mazick A. Monitoring excess mortality for public health action: potential for a future European network. *Euro Surveill*. 2007 Jan;12(1):E070104 1.
81. Nogueira P, Paixão E. Models for mortality associated with heatwaves: update of the Portuguese heat health warning system. *International Journal of Climatology*. 2008;28(4):545-62.
82. Nogueira P, Paixão E, Nunes B, Falcão M. Excesso de calor em Agosto de 2005: Efeitos na mortalidade. Estimativas para Portugal Continental. Lisboa: INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge2005.
83. Paixão E, Nogueira P, Nunes A, Nunes B, Falcão J. Onda de calor de Julho de 2006: efeitos na mortalidade. Estimativas preliminares para Portugal Continental: INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge2006.
84. Paixão E, Nogueira P, Nunes A, Nunes B, Falcão M. Temperaturas elevadas em Agosto de 2006: evidências de um efeito moderado na mortalidade. Nota preliminar: INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge2006.
85. Falcão JM, Paixão EJ, Nogueira PJ, Nunes B. Onda de calor de Julho de 2004: efeitos sobre a mortalidade na região do Algarve, Agosto de 2004. Report. Lisboa.: Observatório Nacional de Saúde – Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.2004.
86. Paixão E, Nogueira P, Nunes A, Nunes B, Falcão M. Temperaturas elevadas em Agosto de 2006: evidências de um efeito moderado na

- mortalidade. Nota preliminar: INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge2006.
87. Paixão E, Nogueira P, Nunes A, Nunes B, Falcão J. Onda de calor de Julho de 2006: efeitos na mortalidade. Estimativas preliminares para Portugal Continental: INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge2006.
 88. Robalo J, Dieges P, Batalha L, Selada C. Plano de contingencia para ondas de calor 2009. Lisboa: Direcção Geral da Saúde - Ministério da Saúde2009.
 89. Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II. Santos F, Miranda P, editors. Lisboa: Gradiva; 2006.
 90. Centers for Disease Control and P. Heat-related mortality--Arizona, 1993-2002, and United States, 1979-2002. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2005;54(25):628-30.
 91. Centers for Disease Control and P. Extreme Heat: a prevention guide to promote your personal health and safety. 2005.
 92. Centers for Disease Control and P. Heat-related Mortality - United States, 1997. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 1998;47(23):473-6.
 93. Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths - Philadelphia and United States, 1993-1994. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 1994;43(25):453-68.
 94. Centers for Disease Control and P. Heat-related deaths - United States, 1993. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 1993;42(28):558-60.
 95. Kalkstein LS, Jamason PF, Greene JS, Libby J, Robinson L. The Philadelphia Hot Weather - Health Watch/Warning System: Development and Application, Summer 1995. Bulletin of the American Meteorological Society. 1996;77(7):1519-28.
 96. Conti S, Kanieff M, Minelli G, Rago G, group TWC. Inventory of the existing mortality monitoring systems in Europe - EuroMOMO Project Work Package 4 Report2009.
 97. Kalkstein AJ, Sheridan SC. The social impacts of the heat-health watch/warning system in Phoenix, Arizona: Assessing the perceived

- risk and response of the public. *International Journal of Biometeorology*. 2007;52(1):43-55.
98. Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, D'Ippoliti D, De Sario M, Marino C, et al. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2010 May;7(5):2256-73.
 99. Robalo J, Diegues P, Batalha L, Selada C. PLANO DE CONTINGÊNCIA PARA ONDAS DE CALOR 2010: Direcção Geral da Saúde 2010.
 100. Hertel S, Le Tertre A, Jäckel K-H, Hoffmann B. Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany. *European Journal of Epidemiology*. 2009;24(8):407-14.
 101. Kysely J, Kriz B. Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response? *Int J Biometeorol*. 2008.
 102. Tong S, Wang XY, Barnett AG. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PLoS One*. 2010;5(8):e12155.
 103. McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, et al. International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *Int J Epidemiol*. 2008 Oct;37(5):1121-31.
 104. O'Neill MS, Carter R, Kish JK, Gronlund CJ, White-Newsome JL, Manarolla X, et al. Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. *Maturitas*. 2009 Oct 20;64(2):98-103.
 105. Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empeur-Bissonnet P, Le Tertre A, et al. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol*. 2008 Apr;37(2):309-17.
 106. Rey Gg, Fouillet A, Bessemoulin P, Frayssinet P, Dufour A, Jouglu E, et al. Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *European Journal of Epidemiology*. 2009;24(9):495-502.
 107. Kovats RS, Kristie LE. Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health*. 2006;16(6):592-9.

108. Ostro BD, Roth LA, Green RS, Basu R. Estimating the mortality effect of the July 2006 California heat wave. *Environ Res.* 2009 Jul;109(5):614-9.
109. Toulemon L, Barbieri M. The mortality impact of the August 2003 heat wave in France: investigating the 'harvesting' effect and other long-term consequences. *PopulStud (Camb).* 2008;62(1):39-53.
110. Rocklov J, Forsberg B, Meister K. Winter mortality modifies the heat-mortality association the following summer. *Eur Respir J.* 2009 Feb;33(2):245-51.
111. Metzger KB, Ito K, Matte TD. Summer heat and mortality in New York City: how hot is too hot? *Environ Health Perspect.* 2010 Jan;118(1):80-6.
112. Tong S, Ren C, Becker N. Excess deaths during the 2004 heatwave in Brisbane, Australia. *International Journal of Biometeorology.* 2010;54(4):393-400.
113. Nogueira P. Examples of Heat Health Warning Systems: Lisbon's ICARO's surveillance system, summer of 2003. *Extreme weather events and Public Health Responses: European Public Health Association;* 2005.
114. Kosatsky T. The 2003 European heat waves. *Euro Surveill.* 2005;10(7):148-9.
115. Josseran L, Caillere N, Brun-Ney D, Rottner J, Filleul L, Brucker G, et al. Syndromic surveillance and heat wave morbidity: a pilot study based on emergency departments in France. *BMC Med Inform Decis Mak.* 2009;9:14.
116. Josseran L, Fouillet A, Caillere N, Brun-Ney D, Ilef D, Brucker G, et al. Assessment of a syndromic surveillance system based on morbidity data: results from the Oscour network during a heat wave. *PLoS One.* 2010;5(8):e11984.
117. Knowlton K, Rotkin-Ellman M, King G, Margolis HG, Smith D, Solomon G, et al. The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect.* 2009 Jan;117(1):61-7.

118. Nunes B, Paixao E, Dias CM, Nogueira P, Marinho Falcao J. Air conditioning and intrahospital mortality during the 2003 heatwave in Portugal: evidence of a protective effect. *Occup Environ Med.* 2010 Oct 4.
119. Montero JC, Linares C, Miron IJ, Criado JJ, Diaz J. Aspects to be considered in extreme-temperature prevention plans in the light of new research. *Public Health.* 2010 Jan;124(1):37-8.

