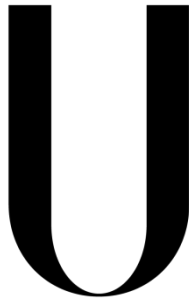


Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**Avaliação da perigosidade e vulnerabilidade associadas a condições
biometeorológicas adversas no município de Faro**

Raquel Alexandra dos Santos Fernandes

Dissertação de Mestrado orientada
pelo Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2018

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação da perigosidade e vulnerabilidade associadas a condições
biometeorológicas adversas no município de Faro**

Raquel Alexandra dos Santos Fernandes

Dissertação de Mestrado orientada
pelo Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professor Doutor João Vijoen de Vasconcelos da Escola Superior de Turismo e de Tecnologia do Mar do Instituto Politécnico de Leiria
- Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território

2018

Agradecimentos

Agradeço a todos os que acreditaram no meu projeto e que, de alguma forma, contribuíram para o tornar melhor e inovador.

Ao meu professor e orientador, professor Marcelo Fragoso, quero agradecer a motivação, constantes sugestões e apoio, e também a “pressão” colocada de forma a terminar este trabalho, mostrando-se sempre disponível desde que demos os primeiros passos nesta dissertação.

Aos professores e colegas do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território que, através dos seus conselhos e conhecimentos, enriqueceram o meu trabalho, enriquecendo de igual forma a minha visão em relação à Geografia e fomentando esta paixão.

Aos meus pais e família, que nunca duvidaram das minhas escolhas académicas, e possibilitaram que seguisse e cumprisse os meus objetivos.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram neste longo caminho e me recomfortaram quando as dificuldades surgiam.

A todos eles, um grande obrigado.

Resumo

A região algarvia, na qual se insere o município de Faro, tende a ser afetada por condições biometeorológicas adversas, tais como ondas de calor e eventos de má qualidade do ar (transporte e difusão de poeiras provenientes do norte de África).

A presente dissertação debruça-se na inventariação da ocorrência individual dos fenómenos naturais referidos, apurando-se, posteriormente, a sua possível ocorrência simultânea. Para cumprir este objetivo, foram utilizadas as séries meteorológicas das estações de Faro/Aeroporto (1973-2016) e de São Brás de Alportel (1980-2013). Na identificação de ondas de calor, a utilização de três métodos diferentes possibilitou a comparação do critério atualmente considerado em Portugal para identificar ondas de calor – o HWDI – com dois métodos recentes que têm o mesmo propósito – Météo-France e EHF. Através desta inventariação, foi possível verificar que, se por um lado o HWDI revela ser um método muito restritivo, o EHF afigura-se como um método mais satisfatório, pois direciona-se para os efeitos do calor na saúde humana e permite uma quantificação da intensidade das ondas de calor identificadas.

Com base no método EHF, verificou-se que a perigosidade associada a ondas de calor aumenta do litoral para as áreas mais interiores do norte do concelho. Quanto à vulnerabilidade, são a União de Freguesias de Conceição e Estoi e a União de Freguesias de Faro (Sé e São Pedro) que apresentam uma população mais exposta e sensível aos efeitos da ocorrência deste tipo de fenómeno extremo.

Foram também identificados eventos de má qualidade do ar, dos quais 56% ocorreram em simultâneo com ondas de calor identificadas no município, ocorrendo com maior frequência nos meses de julho e agosto.

Em 134 eventos de má qualidade do ar identificados nas estações de qualidade do ar existentes na região algarvia, apenas em 10 foram registados dias em que o valor legal diário de PM₁₀ (50 µg/m³) foi ultrapassado, sendo sempre cumprido o valor legal anual de PM₁₀ (40 µg/m³), tanto na estação Joaquim Magalhães como na estação Cerro.

Palavras-chave: biometeorologia, onda de calor, eventos de má qualidade do ar, perigosidade, vulnerabilidade.

Abstract

The Algarve region, which includes the Faro municipality, tends to be affected by adverse biometeorological conditions, such as heat waves and poor air quality events (transport and diffusion of dust from North Africa).

The present dissertation focuses on the inventory of the individual occurrence of the natural phenomena referred, and later, their simultaneously occurrence. To achieve this objective, the meteorological series of Faro/Aeroporto (1973-2016) and of São Brás de Alportel (1980-2013) were used. In the identification of heat waves, the use of three distinctive methods made it possible to compare the current method considered in Portugal – HWDI – with two recent methods that have the same purpose – Météo-France and EHF. Through these inventory procedures, it was possible to verify that, firstly, the HWDI is a limiting and insufficient method, and second, the EHF is a more satisfactory method, since it is directed to the effects of heat on human health, allowing the quantification of the intensity of the identified heat waves.

Based on the EHF method, it has been found the heat waves hazard increases from the coast to the inner parts for the Faro municipality. As for vulnerability, the União de Freguesias de Conceição e Estoi and the União de Freguesias de Faro (Sé e São) are the parishes where the populations exposed and sensitive population to the occurrence of this phenomenon.

Poor air quality events were identified, with 33% occurring simultaneously with the identified heat waves, occurring more frequently in the months of July and August.

Among 134 poor air quality events identified in the air quality stations of the Algarve region, only 10 days were recorded exceedences of the daily legal limit of PM₁₀ (50 µg/m³), although, the annual legal value of PM₁₀ (40 µg/m³) never was exceed, both at the Joaquim Magalhães station and at the Cerro station.

Keywords: biometeorology, heat waves, poor air quality events, hazard, vulnerability.

Índice

Introdução.....	1
Parte I - Introdução	3
Capítulo 1 – Enquadramento teórico	3
1.1. Influência do clima na saúde humana.....	3
1.2. Calor, saúde e mortalidade.....	3
1.3. Bases fisiológicas do (des)conforto térmico humano	5
1.4. Efeitos dos poluentes na saúde humana.....	8
1.5. Metodologias de identificação de eventos de CBA.....	12
1.5.1. Detecção de Ondas de Calor: aspetos gerais e exemplos da sua aplicação em Portugal	13
1.5.2. Detecção de Episódios de Má Qualidade do Ar: aspetos gerais e sua aplicação em Portugal	15
1.6. Vulnerabilidade da população às Condições Biometeorológicas Adversas em estudo ..	18
Capítulo 2 - Caracterização do território em estudo: o município de Faro.....	21
2.1. Caracterização Climática.....	21
2.2. Caracterização Demográfica	23
2.2.1. Uso e ocupação do solo.....	23
2.2.2. Evolução demográfica	24
2.3. O turismo no Algarve.....	27
Capítulo 3 - Recolha, organização e processamento da informação	28
3.1. Dados climatológicos.....	28
3.1.1. Testes de homogeneidade	30
3.2. Metodologias de identificação de ondas de calor	34
3.2.1. A metodologia Météo-France (Ouzeau et al., 2016).....	34
3.2.2. O método <i>Excessive Heat Factor</i> (EHF) (Nairn et al., 2009; Nairn & Fawcett, 2015)	36
3.3. Identificação de tendências climáticas.....	38
3.4. Inventários de eventos naturais (relatórios da APA).....	38
3.5. Dados de estações QUALAR: organização dos dados e metodologias.....	39
3.6. Dados de mortalidade	40
3.7. Avaliação da vulnerabilidade a ondas de calor	41

Parte II - Resultados	44
Capítulo 4 – As ondas de calor em Faro (1973-2016)	44
4.1. Ondas de calor em Faro (1973-2016)	44
4.1.1. Variabilidade inter-anual	44
4.1.2. Incidência intra-anual das ondas de calor.....	50
4.1.3. Intensidade e duração das ondas de calor.....	51
4.2. Ondas de calor de maior intensidade: os casos de 1991 e 2004	59
Capítulo 5 – Perigosidade e vulnerabilidade associadas a ondas de calor	62
5.1. Perigosidade: análise estatística e cartografia.....	62
5.2. Vulnerabilidade a Ondas de Calor	65
Capítulo 6 – Episódios de transporte e intrusão de poeiras no Algarve	67
6.1. Inventário segundo os relatórios da Agência Portuguesa do Ambiente	67
6.2. Eventos de má qualidade do ar por excedência de partículas inaláveis	69
6.3. Relação entre episódios de má qualidade do ar e ondas de calor.....	72
Conclusão.....	74
Bibliografia.....	79
Anexos	88

Índice de Figuras

Figura 1 - Efeitos das temperaturas elevadas no corpo humano. Fonte: Climate Commission, 2011 in Steffen et al., 2014.	6
Figura 2 - Formação do ozono na troposfera e na estratosfera. Fonte: Vieira, 2009.	8
Figura 3 - Distribuição do percentil 97,5 (P97,5) da temperatura máxima diária, de maio a setembro de 1981 a 2000, por distrito de Portugal Continental. Fonte: Nogueira et al. (2013).	14
Figura 4 - Estações que apresentaram excedência do valor limite diário de PM ₁₀ em 2001, 2006 e 2011. Fonte: (Faria, 2016).	17
Figura 5 - Número de dias em que se verificou a ocorrência de evento natural (intrusão de poeiras provenientes do Norte de África) em Portugal e na região do Algarve. Fonte: adaptado de Ferreira & Marques (2006-2016).	18
Figura 6 - Esquema conceptual referente à análise da vulnerabilidade da população a perigos de origem climática. Fonte: adaptado de Andrade et al. (2012).	19
Figura 7 - Localização da área de estudo.	21
Figura 8 - Regime anual da temperatura média, temperatura média máxima e temperatura média máxima em Faro e sua evolução nos períodos 1965-90 e 1981-2010. Fonte: adaptado das Normais Climatológicas de 1965-1990 e 1981-2010.	22
Figura 9 - Exemplo da progressão de uma onda de calor, registada em julho de 1995. Fonte: Ferreira, 2005.	23
Figura 10 - Ocupação do solo no município de Faro. Fonte: Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), Direção Geral do Território (2007).	24
Figura 11 - Evolução da estrutura etária da população residente no município de Faro, entre 2011 e 2015. Fonte: INE.	25
Figura 12 - Nº de hóspedes em estabelecimentos hoteleiros, entre 2008 e 2016, na região do Algarve. Fonte: INE, 2018.	27
Figura 13 - Nº de hóspedes em estabelecimentos hoteleiros, nos meses de abril a setembro (2008 – 2016). Fonte: INE, 2018.	28

Figura 14 - Localização das estações meteorológicas em estudo.....	29
Figura 15 - Localização das estações meteorológicas principais e complementares, com vista ao estudo da homogeneidade das séries climatológicas.	32
Figura 16 - Parâmetros de identificação e caracterização de ondas de calor, segundo o método Météo-France. Fonte: Ouzeau et al., 2016.....	36
Figura 17 – Localização das estações de qualidade do ar.....	40
Figura 18 - Variação do número de dias quentes (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.....	46
Figura 19 - Variação do número de ondas de calor (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.....	47
Figura 20 - Evolução do número de dias em onda de calor (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.....	48
Figura 21 - Distribuição do número de ondas de calor registadas nos meses quentes (abril a setembro), de 1980 a 2013, segundo cada método em estudo, para a estação de Faro/Aeroporto.....	50
Figura 22 - Distribuição do número de ondas de calor registadas nos meses quentes (abril a setembro), de 1980 a 2013, segundo cada método em estudo, para a estação de São Brás de Alportel.	50
Figura 23 - Ondas de calor, segundo o método Météo-France, para a estação Faro/Aeroporto. Os círculos representam a intensidade global de cada evento, sendo que, quanto maior o seu diâmetro, maior a intensidade global registada.	52
Figura 24 - Ondas de calor, segundo o método Météo-France, para a estação de São Brás de Alportel. Os círculos representam a intensidade global de cada evento, sendo que, quanto maior o seu diâmetro, maior a intensidade global registada.....	53
Figura 25 - Ondas de calor registadas na estação de Faro/Aeroporto, segundo o método EHF, caracterizadas segundo a sua duração e intensidade (sobrecarga térmica acumulada).....	55

Figura 26 - Ondas de calor registadas na estação de São Brás de Alportel (SBA), segundo o método EHF, caracterizadas segundo a sua duração e intensidade (sobrecarga térmica acumulada).....	56
Figura 27 - Relação EHF/óbitos durante o período 12 de julho a 8 de agosto. Os dias sem óbitos referem-se aos dias de fim-de-semana, nos quais não foi possível registar qualquer óbito nas Conservatórias de Faro e Portimão. Fonte: dados de mortalidade – Conservatória de Faro e Portimão (2004).....	61
Figura 28 - Perigosidade a ondas de calor no município de Faro.	64
Figura 29 - Vulnerabilidade a ondas de calor no município de Faro.	66
Figura 30 - A: Frequência de intrusões de poeiras registadas nas estações de qualidade do ar da região algarvia, por ano. B: Frequência mensal de intrusões de poeiras no Algarve.	68
Figura 31 - A: Repartição (%) por meses dos casos de excedência que ultrapassam o limiar de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na estação de Joaquim Magalhães. B: Repartição (%) por meses dos casos de excedência que ultrapassam o limiar de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na estação do Cerro. O percentil 98 de PM_{10} é relativo a cada um dos meses em estudo, em cada uma das estações referidas.....	70
Figura 32 - Relação entre temperatura média máxima de 2011 a 2016 e o percentil 98 da série de dados de PM_{10} . A: relação para a estação Joaquim Magalhães. B: relação para a estação do Cerro.	71
Figura 33 - Percentagem de dias que excedem o valor legal de PM_{10} , aquando da ocorrência de um evento de emissão de poeiras conjugado com uma onda de calor. Fonte: adaptado de Relatórios de Identificação e Avaliação dos Eventos Naturais em Portugal (2011-2016).	73

Índice de tabelas

Tabela 1 - Poluentes e suas características (Andrade, 1996; Vieira, 2009; Almeida, 2013).	9
Tabela 2 – Origem e fonte de poluentes. Fonte: adaptado de Ahrens (2011).	10
Tabela 3 - Ondas de calor ocorridas em Portugal Continental, com impactos significativos na mortalidade da população portuguesa.....	15
Tabela 4 - Percentagem de população residente, segundo a sua respetiva faixa etária, nas freguesias do concelho de Faro. Fonte: adaptado de INE (2011).	26
Tabela 5 - Principais características do critério HWDI, para identificação de ondas de calor.	34
Tabela 6 - Definição das variáveis para a avaliação da vulnerabilidade à ocorrência de ondas de calor.	41
Tabela 7 - Matriz de componentes após a rotação Varimax e respetivos fatores resultantes, segundo o peso de cada variável nos mesmos. Valores mais próximos de 1 indicam a que fator pertence cada variável.....	43
Tabela 8 - Resumo do número de dias quentes, ondas de calor e de duração máxima (dias) das ondas de calor identificadas, segundo cada método em estudo, para o período 1973 – 2016 em F/A (Faro/Aeroporto) e para o período 1980-2013 para SBA (São Brás de Alportel).....	45
Tabela 9 - Valor de p-valor relativo ao teste de Mann-Kendall, para um nível de confiança de 0,05. Para valores inferiores ao nível de confiança, considera-se a hipótese de existir uma tendência positiva na série em estudo. HWF – Nº de dias em onda de calor; HW N – Nº de ondas de calor; HWD – Duração da onda de calor mais longa (dias).	49
Tabela 10 - Valores mais elevados de <i>intensidade global</i> e <i>sobrecarga térmica acumulada</i> das ondas de calor identificadas e os seus respetivos anos de ocorrência. As células a laranja correspondem aos valores mais elevados identificados em cada estação, para cada método. As células a cinzento são respetivas a ondas de calor, que apesar de terem sido identificadas nas respetivas estações, não estão entre as cinco	

ondas de calor mais intensas. As células a preto referem-se a ondas de calor que não foram identificadas naquelas estações..... 57

Tabela 11 - Temperaturas médias, máximas e mínimas entre os 9 e 21 de julho de 1991 em São Brás de Alportel. Os valores a negrito representam as temperaturas que ultrapassam o limiar de 32°C. 59

Tabela 12 - Temperaturas médias, máximas e mínimas entre os 23 e 29 de julho de 2004. Os valores a negrito representam as temperaturas que ultrapassam o limiar de 32°C. 60

Introdução

Ondas de calor e eventos de má qualidade do ar (com origens em fontes naturais, tais como transporte e intrusão de poeiras e incêndios, e/ou antrópicas) são ambos exemplos de condições biometeorológicas adversas (CBA) que podem afetar a região algarvia, na qual se insere o município de Faro.

A proximidade do município ao continente africano, e, por sua vez, ao deserto da Saara, que se apresenta como uma fonte de emissão de poeiras muito vasta, e constitui uma área de formação de massas de ar tropicais continentais, muito quentes e secas, promovem uma maior exposição da população relativamente a estes mesmos fenómenos. No entanto, para esta área de estudo, poucos estudos foram realizados que relacionem as variáveis meteorológicas e de qualidade do ar e que incluam a abordagem dos efeitos potenciais da sua combinação.

Ambas as condições adversas são comuns no semestre quente (abril a setembro), durante o qual existe um aumento significativo da população em Faro, devido ao afluxo nacional e internacional de turistas. Refira-se que o Algarve representa o principal destino turístico nacional, tendo registado em 2017 30,7% do total das dormidas, secundado pela Área Metropolitana de Lisboa com 25,4% (Estatísticas do Turismo, 2017, INE).

Desta forma, justifica-se a realização deste estudo com a importância de analisar a perigosidade (frequência dos eventos) e também a vulnerabilidade da população, através da identificação dos locais onde poderá ocorrer maior exposição às CBA, em especial, às ondas de calor.

Com vista a estudar a incidência dos referidos fenómenos no município de Faro, a presente dissertação tem como objetivos gerais; i) a análise da possível relação entre a ocorrência de episódios de calor extremo e de eventos de má qualidade do ar, entre anos de 1973 e 2016 e nos meses de Abril a Setembro; ii) avaliar as consequências das CBA na população, procurando diferenciar a influência de cada um daqueles tipos de eventos, quer também da sua possível ocorrência combinada.

De igual forma, foram delineados objetivos específicos, para além dos anteriormente referidos objetivos principais: i) inventariar os episódios de calor extremo e os períodos

de má qualidade do ar, que tenham ocorrido de forma particular ou em simultâneo, segundo três diferentes metodologias; ii) avaliar a perigosidade dos eventos de CBA e analisar a sua incidência no tempo durante o semestre quente (Abril a Setembro); iii) caracterizar a vulnerabilidade da população do município de Faro face à ocorrência dos eventos de CBA.

Parte I - Introdução

Capítulo 1 – Enquadramento teórico

1.1. Influência do clima na saúde humana

O estudo da influência do clima e das situações meteorológicas adversas no conforto e na saúde humana é objeto da Biometeorologia e a Bioclimatologia Humana (Marques e Antunes, 2009). No entanto, a definição destes dois conceitos não é consensual no meio científico, sendo normalmente utilizados como sinónimos (Andrade, 2003).

Bioclimatologia pode ser definida como uma “ciência da adaptação (fisiológica e cultural) dos seres humanos à variabilidade das condições atmosféricas, perspetiva que segue a tendência atual da climatologia, em que variação e variabilidade são, claramente, objeto central de estudo” (Andrade, 2000). A Sociedade Internacional de Biometeorologia (2013) define Biometeorologia como uma “ciência interdisciplinar que estuda a interação entre os processos atmosféricos e os organismos vivos (plantas, animais e humanos)”.

Os episódios de ondas de calor são exemplos de fenómenos meteorológicos extremos que podem ter repercussões na saúde, no conforto, morbilidade e mortalidade da população (Moço, 2005).

Assim, a investigação em bioclimatologia humana poderá permitir o desenvolvimento de ferramentas importantes no reconhecimento e compreensão do efeito das condições climáticas no organismo humano, podendo identificar antecipadamente no espaço e no tempo, as condições ótimas para o agravamento das patologias sensíveis às temperaturas extremas (Almeida, 2012).

1.2. Calor, saúde e mortalidade

As ondas de calor são eventos climáticos que são, por natureza, imprevisíveis, de curta duração e que causam desconforto (Zuo et al., 2015). No meio científico não existe uma definição universal de ondas de calor, no entanto, é consensual entre os diversos autores que estes são eventos conhecidos por produzir impactos notáveis não só na mortalidade humana (aspeto fisiológico) mas também na economia e nos ecossistemas (aspeto sociológico) (Meehl & Tebaldi, 2004). Estes impactos demonstram a

necessidade de estudos específicos destes eventos para cada área geográfica, avaliando os seus efeitos com base na população que foi afetada e nos aspetos climáticos locais (Perkins & Alexander, 2013).

As alterações climáticas são uma realidade conhecida, com possíveis consequências no aumento da frequência e intensidade das ondas de calor (McGregor et al., 2015). A tendência para se repetirem situações como a que se verificou no verão de 2003, em toda a Europa, torna-se um importante desafio para a toda a sociedade (McGregor et al., 2015). Verifica-se, de igual forma, que a tendência para a ocorrência destes eventos fora da época de verão está a aumentar, assim como se regista um incremento em termos de duração e intensidade (Perkins et., 2012). Desta forma, é importante determinar as métricas apropriadas para o estudo de ondas de calor, tanto para os eventos históricos como para as ondas de calor futuras, de forma a criar medidas de prevenção adequadas. Contudo, a diversidade dos critérios já utilizados para a sua identificação dificulta a determinação de uma definição universal para este evento climático extremo.

Posto isto, atualmente, a definição de onda de calor refere-se a períodos de dias consecutivos que apresentam condições de maior calor relativamente às condições ditas “normais”. Contudo, a definição do número de dias e da anomalia (positiva) de temperatura necessária para significar ocorrência de calor extremo e/ou onda de calor varia consideravelmente (Kinney et al., 2008). Outro aspeto a ter em conta é que este fenómeno pode ocorrer não só no período de verão, mas também durante qualquer altura do ano.

Nas várias definições de onda de calor são geralmente utilizados parâmetros térmicos, tais como a temperatura mínima, temperatura máxima ou a temperatura média diária. A utilização da temperatura mínima justifica-se pela importância de avaliar os efeitos nefastos do insuficiente (ou ausente) arrefecimento noturno do corpo humano quando as condições de temperaturas elevadas extremas persistem durante a noite (Kinney et al., 2008; DGS, 2014). No entanto, os três parâmetros referidos estão fortemente correlacionados e podem servir para avaliar as ondas de calor através de várias formas, como por exemplo, risco de morte por número de dias acima do valor limiar especificado, número de dias acima de um percentil (p.e. percentil 99), comparação da

mortalidade com base em duas temperaturas especificadas, risco de mortalidade devido ao aumento de uma determinada temperatura, entre outros (Kinney et al., 2008). Outra forma de avaliar os efeitos das temperaturas elevadas extremas é avaliar estas temperaturas durante vários dias seguidos, levando-nos à ocorrência de uma onda de calor, e também identificar a probabilidade de interação entre a temperatura registada num determinado dia e as temperaturas no dia anterior (Kinney et al., 2008).

No caso europeu, verifica-se que a intensidade das ondas de calor aumenta à medida que nos deslocamos para sul, ou seja, a região mediterrânea regista ondas de calor mais intensas em comparação ao norte do continente (Meehl & Tebaldi, 2004).

Nos últimos anos, a investigação sobre as ondas de calor permitiu uma evolução do seu conceito, uma melhor compreensão do fenómeno e medição mais precisa do mesmo, tendo evoluído no sentido de definições que combinam variadas características das ondas de calor, e não só a sua duração, por exemplo (Perkins, 2015).

1.3. Bases fisiológicas do (des)conforto térmico humano

Quando falamos dos efeitos das temperaturas elevadas extremas na saúde humana, estes dependem do nível de exposição (frequência, gravidade e duração), da dimensão da população e da sua vulnerabilidade (DGS, 2014).

A temperatura corporal é regulada dentro de um limite relativamente estreito, entre os 35°C e os 39°C (DGS, 2014). Quando o ser humano se encontra exposto a temperaturas elevadas extremas coloca em funcionamento um conjunto de processos que têm como objetivo manter o equilíbrio térmico do organismo (Almeida, 2012) e evitar a ocorrência de consequências danosas para o indivíduo (fig.1). Inicia-se assim a termorregulação, que tem como objetivo manter a temperatura corporal apropriada (37°C) (Bouchama & Knochel, 2002; DGS, 2014). Quando exposto a um determinado estímulo, o corpo humano tem mecanismos de termorregulação, com vista a impedir variações na temperatura corporal, que são coordenados no hipotálamo, que regula as funções automáticas, como por exemplo o balanço de água, as atividades vasomotoras e humorais (Moço, 2014). Nikolopoulou et al. (1999) refere que *“no contexto do ambiente térmico, este processo tem o nome de aclimatização fisiológica”*.

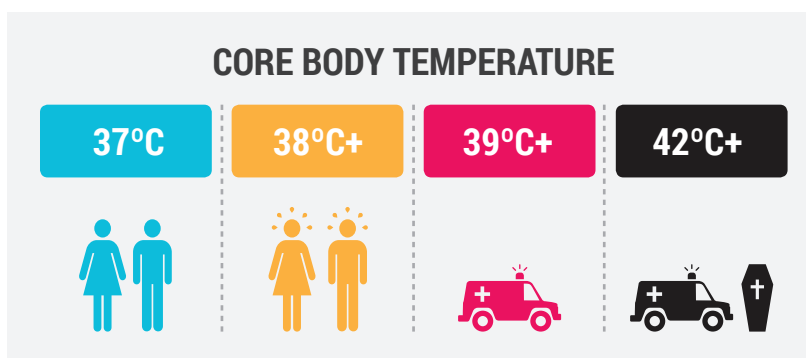


Figura 1 - Efeitos do aumento da temperatura interna no corpo humano.
 Fonte: Climate Commission, 2011 in Steffen et al., 2014.

A avaliação do ambiente térmico remete para as sensações subjetivas e individuais de conforto ou desconforto térmico (Andrade, 2003). A procura desse conforto, ou seja, quando a taxa de produção de calor é igual à taxa de perda do mesmo, é um relevante objeto de estudo pois este conforto influencia o estado de saúde e o bem-estar humanos (Almeida, 2012).

O conforto ou desconforto térmico é, assim, uma sensação essencialmente psicológica que vai expressar a satisfação ou repulsa, respetivamente, em relação ao ambiente térmico, sendo analisado de forma subjetiva, ou seja, os investigadores baseiam-se em questionários relativos a diferentes situações particulares a que os indivíduos são sujeitos de forma a construir modelos (ASHRAE¹, 2003). A falta de satisfação pode traduzir-se no desconforto térmico positivo (calor) ou negativo (frio) do corpo como um todo ou de uma parte do corpo em particular ISO² (2005).

Quando a temperatura do ar ultrapassa os 40°C, o *stress térmico* pode tornar-se mais significativo (IPCC, 2012). O *stress térmico* é o efeito mais direto das ondas de calor, podendo levar à exaustão e a golpes de calor (Moço, 2014). Existem parâmetros fisiológicos que contribuem para a ocorrência desta condição (Andrade, 2003), nomeadamente o género, a idade ou a pré-existência de doenças, nomeadamente doenças cardíacas, respiratórias, renais e hipertensão, que influenciam o aumento ou

¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

² International Organization for Standardization

diminuição da vulnerabilidade da população ao calor extremo, para além de diversas variáveis socioeconómicas (Almeida, 2012; IPCC, 2012).

Nas últimas décadas, várias ondas de calor desafiaram significativamente a saúde pública (Li et al., 2015), demonstrando assim a importância de estudar os impactos deste fenómeno.

Segundo Matzarakis & Amelung (2008) a relação causa-efeito entre o ambiente atmosférico e a saúde e conforto humano deve ser estudada com base em três complexos: térmico, que considera os elementos meteorológicos que apresentam um efeito termofisiológico nos seres humanos; poluição do ar, que tem em conta os poluentes atmosféricos e antrópicos nos diferentes estados físicos da matéria; e actínico, ou seja, que compreende a influência direta que a radiação solar (espectro visível e ultravioleta) apresenta nos seres humanos. De referir que, neste estudo, apenas são avaliados os primeiros dois complexos.

Nos últimos anos, a crescente preocupação com o impacto direto da atmosfera nos seres vivos e nas atividades humanas resultou numa maior ênfase atribuída a estes aspetos, pois o conforto térmico exterior condiciona muitas atividades ao ar livre e afeta o bem-estar da população, principalmente em termos de saúde (Andrade, 1998). O estudo desta relação pode contribuir para a aplicação da climatologia no planeamento e ordenamento do território (Andrade, 1998).

De forma a determinar a influência térmica, os índices térmicos baseados no balanço de energia do corpo humano, conjugam uma série de parâmetros que apresentam repercussões termofisiológicas para o corpo humano. Um exemplo de índice é o *Physiologically Equivalent Temperature (PET)*, que se trata de um “índice de conforto térmico estacionário e com um carácter geral, utilizável em qualquer tipo de condições térmicas” (Andrade, 2003). Para o cálculo do citado índice é necessário um conjunto de parâmetros que são considerados influentes no balanço energético dos seres humanos, tais como a temperatura do ar, a pressão do vapor de água, a velocidade do vento e a temperatura radiante média envolvente (Höppe, 1999; Matzarakis et al, 1999). O modelo bioclimático RayMan permite o cálculo do de fluxos de radiação e de índices térmicos tais como o PET, e deriva o modelo MEMI (Munich energy balance model for

individuais), que se apresenta como um modelo de balanço de calor termofisiológico e se baseia numa equação de balanço energético, que não só tem em conta os parâmetros anteriormente descritos, como também considera as atividades humanas (Watt) e a resistência do vestuário ao calor (unidades clo) (Matzarakis & Amelung, 2008).

1.4. Efeitos dos poluentes na saúde humana

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (2008) a qualidade do ar refere-se ao “*grau de poluição no ar que se respira, ou seja, o tipo e a concentração máxima de cada um dos poluentes que não pode ser excedida durante um determinado período de tempo*”. É considerado poluente qualquer substância existente na atmosfera que tenha efeitos nocivos no ambiente e na saúde humana (Artigo 2.º, Decreto-Lei n.º 102/2010).

A poluição do ar é, assim, uma complexa mistura de gases, partículas, aerossóis e vapor de água originada pelas atividades antrópicas e naturais que modificam a composição química natural atmosférica (Nicolau & Machado, 2010).

Do ponto de vista de qualidade do ar destacam-se duas camadas da atmosfera: a troposfera, onde ocorrem a maioria dos fenómenos relacionados com a poluição do ar, e a estratosfera, onde ocorrem essencialmente os fenómenos relacionados com a diminuição da camada de ozono (Vieira, 2009).

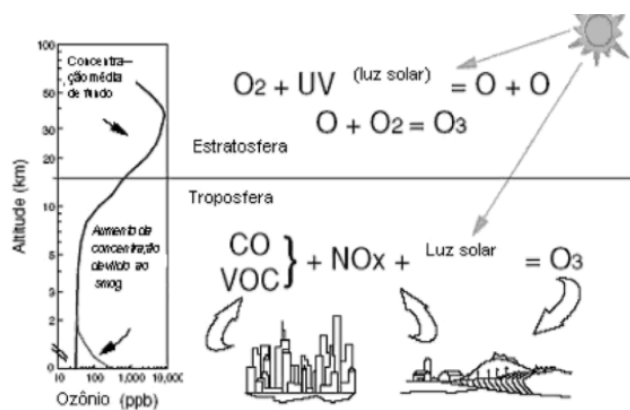


Figura 2 - Formação do ozono na troposfera e na estratosfera. Fonte: Vieira, 2009.

Deste modo, um poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos (Duchiade, 1992), e que possam ocorrer em níveis de

concentração suficientemente elevados para colocar em perigo a saúde dos seres vivos (Ahrens, 2000).

Os poluentes atmosféricos (tabela 1) são classificados como primários e secundários: os primeiros são emitidos diretamente no ar, nomeadamente, o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogénio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e as partículas; os segundos são formados na atmosfera através de reações químicas (hidrólise, oxidação ou reações fotoquímicas) (Vieira, 2009), como por exemplo o Ozono (O₃).

Tabela 1 - Poluentes e suas características (Andrade, 1996; Vieira, 2009; Almeida, 2013).

Poluentes	Características
Monóxido de Carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none">• Gás incolor, inodoro e insípido;• Resulta da combustão incompleta da mistura entre o ar e a gasolina.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none">• Gás incolor, estável, não inflamável e não explosivo;• Tem origem na queima de combustíveis fósseis que contém enxofre (pe. carvão).
Ozono (O ₃)	<ul style="list-style-type: none">• Gás incolor;• Originado pela reação fotoquímica de outros poluentes, tais como os óxidos de azoto (NO_x)
Óxidos de Azoto (NO _x)	<ul style="list-style-type: none">• São emitidos essencialmente sob a forma de NO resultado de combustões a alta temperatura.
Dióxido de Azoto (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none">• Forma-se por oxidação espontânea do NO.

Um outro poluente primário são as partículas, normalmente designadas de aerossóis. Estas podem encontrar-se no estado sólido ou líquido, e são de dimensão suficientemente reduzida para não se depositar muito rapidamente por gravidade na superfície terrestre (Duchiade, 1992). Devido à sua diversidade química e granulométrica muito grande (Andrade, 1994), torna-se importante definir os termos habitualmente utilizados para a designação das mesmas.

As fontes dos poluentes podem ser classificadas em naturais e antrópicas (tabela 2). As fontes naturais são aquelas que produzem poluentes através de eventos naturais tais como erupções vulcânicas ou dispersão de poeiras do deserto (Nicolau & Machado, 2010). No caso específico das partículas destacam-se as tempestades de poeiras, que podem atingir uma extensa área territorial, transportando grandes quantidades não só

de partículas mas também de outros poluentes e materiais de origem biológica (Goudie, 2014).

Quanto às fontes antrópicas, estas estão essencialmente ligadas às emissões provenientes de veículos motorizados (tráfego) e a atividades industriais (Nicolau & Machado, 2010).

Tabela 2 – Origem e fonte de poluentes. Fonte: adaptado de Ahrens (2011).

Origem	Fonte	Poluente
Natural	Erupções vulcânicas	Partículas (poerias, cinzas), gases (SO ₂ , CO ₂)
	Incêndios florestais	Fumos, hidrocarbonetos não queimados, CO ₂ , óxidos de nitrogénio, cinzas
	Tempestades de areias	Partículas suspensas
	Ondulação	Partículas de sal
	Vegetação	Hidrocarbonetos, pólen
	Fontes termais	Gases de enxofre
Antrópica		
Industrial	Fábricas de papel	Partículas, óxidos de enxofre
	Usinas de energia	Por exemplo: cinzas, óxidos de enxofre, CO.
	Refinarias	Hidrocarbonetos, óxidos de enxofre, CO.
	Manufaturas	Por exemplo: SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , partículas.
Individual	Viaturas	CO, óxidos de nitrogénio, hidrocarbonetos, partículas
	Lareiras	CO, partículas
	Queimadas domésticas	CO, partículas

Após a emissão para a atmosfera, os poluentes podem, por um lado, ser difundidos ou transportados, e por outro, ser transformados quimicamente. Por fim, ocorre a sua receção por parte dos seres vivos ou então podem ser depositados na superfície terrestre (Andrade, 1996). O tempo de permanência das partículas na atmosfera depende, em grande medida, do tamanho da partícula, ou seja, quanto mais pequena e leve a partícula, mais tempo permanecerá em suspensão. As de diâmetro mais pequeno podem permanecer na atmosfera durante várias semanas (Latha e Highwood, 2006), percorrendo centenas de quilómetros antes de serem removidas, principalmente pela ação da precipitação (deposição húmida). Andrade (1996) salienta a importância de conhecer os campos de vento sobre a cidade, em diferentes condições sinópticas e os mecanismos de funcionamento das brisas, assim como as relações entre a ilha de calor urbano e a estrutura térmica da atmosfera, de forma a perceber os mecanismos de difusão existentes de local para local.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, são atribuídas à poluição cerca de 2 milhões de mortes, e, portanto, os estudos epidemiológicos são um importante contributo na medida em que avaliam os efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde humana e visam suportar o desenvolvimento de estratégias para reduzir esses mesmos efeitos (Nicolau & Machado, 2010).

Os efeitos na saúde resultantes dependem do tempo de exposição do indivíduo e da concentração dos poluentes. Podem ser definidos como efeitos crónicos, em que a exposição é prolongada e os níveis de concentração são mais baixos, ou então agudos, com uma exposição mais curta, mas maior concentração de poluentes (Nicolau & Machado, 2010).

Os efeitos provenientes da exposição a matéria particulada aumentam de expressão em crianças e idosos e em indivíduos com doenças pré-existentes, tanto cardiovasculares como respiratórias. A exposição a partículas mais finas está fortemente relacionada com o aumento da mortalidade devido a cancro do pulmão (Pope et al., 2002, Anderson et al, 2011). No entanto, a dimensão das partículas apresenta diferentes efeitos na saúde humana. Se falarmos das PM_{10} , estas são de tamanho inferior a $10\ \mu m$ e penetram no sistema respiratório inferior, já as $PM_{2,5}$, definidas como partículas inferiores a $2,5\ \mu m$, conseguem infiltrar-se em áreas mais interiores dos pulmões, nomeadamente onde ocorrem as trocas gasosas.

Existem também outros problemas de saúde provenientes da exposição a matéria particulada, nomeadamente conjuntivites, irritações de pele, assim como se regista mortalidade e morbilidade associada a acidentes de transporte aquando da ocorrência de tempestades de poeiras (Goudie, 2014), devido, por exemplo, à diminuição da visibilidade.

Tal como acontece nos períodos de temperaturas elevadas extremas, o impacto deste fenómeno reflete-se de forma diferente na população, pois existem grupos que apresentam maior vulnerabilidade aos efeitos provocados pela exposição à poluição. Tendo em conta os estudos já realizados nesta matéria, existem três cenários que relacionam a mortalidade e a exposição aos poluentes atmosféricos (Nicolau &

Machado, 2010): i) Indivíduos fragilizados e com doenças pré-existentes apresentam risco de mortalidade maior quando expostos a poluição atmosférica; ii) Existe maior probabilidade de ocorrência de doenças crônicas, que fragilizam o indivíduo, mas não levam diretamente ao seu óbito; iii) A poluição não está diretamente relacionada com as doenças crônicas pré-existentes, contudo a exposição a curto prazo a este fenómeno aumenta a mortalidade no grupo de indivíduos considerados de risco.

Pyrgou et al (2018) demonstrou que, em Nicósia (Chipre), a ocorrência de ondas de calor se verifica em períodos com diminuição da velocidade do vento, levando a condições de estabilidade atmosférica favoráveis para a concentração de ozono, a qual atinge o seu pico por volta do meio-dia, coincidindo com temperaturas elevadas. Desta forma, o parâmetro temperatura máxima diária e o ozono apresentam uma forte correlação, assim como a velocidade e direção do vento influenciam a concentração do poluente à superfície (Otero et al, 2016).

Deste modo, as condições meteorológicas são um fator importante a analisar na determinação da concentração de poluentes no ar ambiente.

1.5. Metodologias de identificação de eventos de CBA

As características mediterrânicas do clima de Portugal Continental fazem com que os perigos climáticos sejam bastante significativos na mortalidade da população assim como em bens e infraestruturas (Cunha, 2012). As condições climáticas existentes predis põem a ocorrência de incêndios florestais e de outros riscos ambientais, tais como a poluição do ar e da água, determinando a ocorrência de doenças e óbitos, que, direta ou indiretamente, são o resultado de fenómenos como as ondas de calor (Cunha, 2012). É na primavera e no verão que os efeitos das temperaturas elevadas mais se fazem sentir, nomeadamente na saúde humana, através de problemas como a desidratação e agravamento de doenças crônicas, levando a um aumento da procura de serviços de saúde (DGS, 2014).

Todos os anos os setores de atividade, nomeadamente o da agricultura, dos transportes e o do turismo, sofrem também prejuízos significativos (Cunha, 2012). No caso algarvio, o turismo é uma atividade significativa que leva, todos os anos, a um aumento de população sazonal, ou seja, no verão (DGS, 2014).

1.5.1. Detecção de Ondas de Calor: aspetos gerais e exemplos da sua aplicação em Portugal

O Instituto Português do Mar e da Atmosfera define onda de calor meteorológica como o período em que a temperatura máxima diária supera em 5°C o valor médio diário no período de referência, durante um intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos (Peterson et al., 2001).

Existem ainda definições que focam os impactos das ondas de calor na saúde humana: período de dois ou mais dias consecutivos com temperaturas máximas iguais ou superiores a 32°C (Paixão, 2003; Calado et al., 2004; Andrade et al., 2012). Este é um valor sugerido pela literatura científica (Nogueira et al., 1999), com base na experiência norte americana, utilizado no projeto inicial do Sistema de Monitorização e Vigilância ÍCARO, no qual a função da temperatura máxima, ou *sobrecarga térmica acumulada*, é obtida pelo número de dias em que a temperatura máxima diária ultrapassa os 32°C, ponderados pelo excesso da temperatura máxima acima dessa mesma temperatura (Nogueira et al., 1999). Os resultados obtidos revelaram resultados ajustados à realidade de Portugal Continental (Nogueira et al., 2013). Este limiar de temperatura corresponde ao ponto a partir do qual a mortalidade do distrito de Lisboa aumenta após um ou dois dias consecutivos acima deste limiar (Nogueira et al., 2013). O distrito de Faro encontra-se no intervalo entre os 33,6°C e os 35,5°C (fig.3).

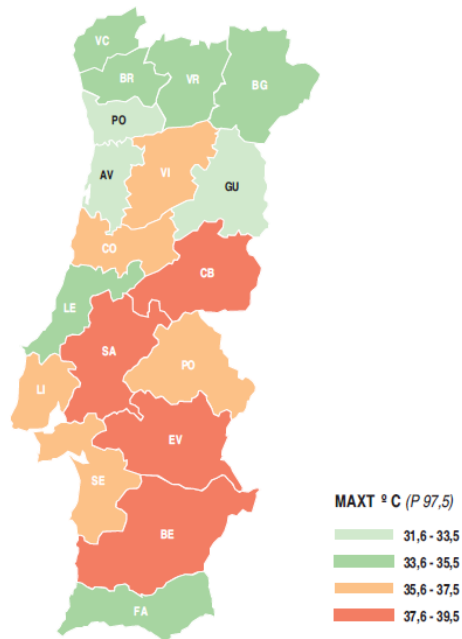


Figura 3 - Distribuição do percentil 97,5 (P97,5) da temperatura máxima diária, de maio a setembro de 1981 a 2000, por distrito de Portugal Continental. Fonte: Nogueira et al. (2013).

O supracitado Sistema de Monitorização e Vigilância ÍCARO, desenvolvido a partir de 1999 pelo Instituto Ricardo Jorge em parceria com o Instituto de Meteorologia, atual Instituto Português do Mar e da Atmosfera, é parte integrante do Plano de Contingência para Temperaturas Extremas Adversas desde 2004.

Entre 15 de maio e 30 de setembro encontra-se ativado o Plano de Contingência – Módulo Calor, no qual entre maio e setembro são emitidos relatórios diários que permitem a possível transmissão de recomendação de alerta de onda de calor, baseada nos valores de temperatura e do valor do Índice Alerta Ícaro (DGS, 2014). Neste contexto, os períodos de calor extremo são definidos como o conjunto de três ou mais dias que cumpram pelo menos um dos critérios seguintes: I) Índice de Alerta-Ícaro diário acima de 1; II) um distrito com temperatura máxima igual ou superior a 36°C; III) dois ou mais distritos com temperatura máxima igual ou superior a 35°C (DGS, 2014). Para estimar os possíveis impactos na mortalidade dos períodos identificados, são adicionados três dias pois, segundo a literatura, verifica-se um atraso entre a ocorrência do excesso de calor e a mortalidade (Nogueira et al., 2013; Silva et al., 2014).

Nos últimos trinta anos, quatro períodos de calor extremo destacaram-se devido ao excesso de óbitos registado: 1981, 1991, 2003 e 2013 (tabela 3).

Tabela 3 - Ondas de calor ocorridas em Portugal Continental, com impactos significativos na mortalidade da população portuguesa.

Ano	Duração	Óbitos Observados	Excesso de Óbitos
1981 (Paixão& Nogueira, 2003)	12 – 20 junho	S/Informação	1907 óbitos
1991 (Paixão& Nogueira, 2003)	12 – 21 julho	Um pico: 18 de julho (455 óbitos)	1002 óbitos (44,7% > esperado)
2003 (Calado et al., 2004)	28 julho – 15 agosto	Total: 6453 óbitos Três picos: 1º - 2 de Agosto (418 óbitos) 2º - 8 de agosto (464 óbitos) 3º - 13 de agosto (439 óbitos)	1953 óbitos (43% > esperado)
2013	23 junho – 11 julho	S/Informação	11 a 40 óbitos / 100 000 hab. nível distrital (óbitos significativos)

A análise da relação temperaturas elevadas/mortalidade é realizada através de métodos tais como: diferença entre a mortalidade esperada e a mortalidade observada, resultando no excesso de mortalidade (Nogueira et al., 2013; Silva et al., 2014); estimação do excesso de óbitos com base nos “anos anteriores”, que compara a mortalidade ocorrida em períodos homólogos em anos anteriores aos períodos de calor extremo identificados (Calado et al., 2004), e no “mesmo ano”, comparando a mortalidade ocorrida num período de tempo que precede os episódios de calor extremo (Calado et al., 2004).

1.5.2. Detecção de Episódios de Má Qualidade do Ar: aspetos gerais e sua aplicação em Portugal

A Diretiva 2008/59/CE apresenta-se como o ato legislativo relativo à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa³. A transposição da Diretiva para a ordem jurídica interna é realizada pelo Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro (alterado

³ Site oficial da Agência Portuguesa do Ambiente (<https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316> – visualizado a 9 de março de 2018).

a 27 de Março pelo Decreto-Lei nº43/2015) que é, atualmente, o documento que designa os objetivos e orientações referentes à qualidade do ar com base nos programas da Organização Mundial da Saúde que se destinam à prevenção e redução das emissões de poluentes atmosféricos. No anexo I do mesmo decreto-lei encontra-se a lista de poluentes alvo de avaliação e gestão, sendo eles o dióxido de enxofre, dióxido de azoto, óxidos de azoto, partículas em suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}), chumbo, benzeno, monóxido de carbono, ozono, arsénio, cádmio, níquel, benzo(a)pireno e mercúrio.

A avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente é realizada em zonas, ou seja, áreas de características homogêneas no que toca a qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional (Artigo 2º, Decreto-Lei nº 102/2010), e aglomerações, que correspondem a áreas abrangendo conurbações com número de habitantes superior a 250 000 ou em que o número de habitantes está compreendido entre os 50 000 e os 250 000 e tenha uma densidade populacional superior a 500 hab/km² (Artigo 2º, Decreto-Lei nº 102/2010); ambas são delimitadas pelas entidades competentes, a Agência Portuguesa do Ambiente, como autoridade nacional e laboratório de referência nacional, em parceria com as comissões de coordenação e desenvolvimento regional (CCDR) (Artigo 3º, Decreto-Lei nº 102/2010).

A gestão da qualidade do ar tem como objetivo, assim, certificar um desenvolvimento económico e social sustentável, sem consequências na saúde da população e no ambiente (Faria, 2016).

A monitorização dos principais poluentes atmosféricos através do cumprimento da legislação existente visa tentar alcançar a sua redução. Em Portugal, esta monitorização é realizada através de uma rede de estações que avaliam o cumprimento dos critérios estabelecidos legalmente e que permitem analisar a concentração de poluentes, assim como as suas possíveis fontes (Faria, 2016). A Rede de Qualidade do Ar, como se designa, encontra-se espalhada por todo o país.

No caso português, os poluentes atmosféricos que mais contribuem para a deterioração da qualidade do ar são o ozono troposférico e as partículas em suspensão, considerando-se os mais preocupantes em termos de saúde pública (Borrego, 2010). Os períodos de maior concentração de poluentes estão correlacionados com os períodos em que foram observados eventos de emissão de poeiras do Sahara e também de

incêndios, com maior incidência nos meses de junho a setembro (Morozova & Mironova, 2015). Também os poluentes antropogênicos afetam a concentração local de poluentes com maior impacto na Área Metropolitana de Lisboa (Morozova & Mironova, 2015). De 2001 para 2011, aumentou, em Portugal Continental o número de estações de monitorização de PM₁₀ (fig.4) (Faria, 2016), devido às obrigações exigidas pela Diretiva (2008), que estabelece que o número de estações depende da densidade populacional e das fontes de emissão, resultando numa maior densidade de estações na zona litoral, assim como em Lisboa e no Porto, o que permitirá uma melhor caracterização e abordagem à diminuição da concentração dos poluentes nestas áreas em relação às áreas rurais (Faria, 2016).

As variações de concentração de poluentes estão também relacionadas com os parâmetros meteorológicos, tais como a temperatura, pressão atmosférica, precipitação e duração de horas de sol, que, por sua vez, variam com a altura do ano (Morozova & Mironova, 2015). Neste campo, a relação mais significativa foi encontrada entre a temperatura máxima diária e amplitude média diária e o conteúdo de aerossóis absorventes durante o período de Verão (Morozova & Mironova, 2015).

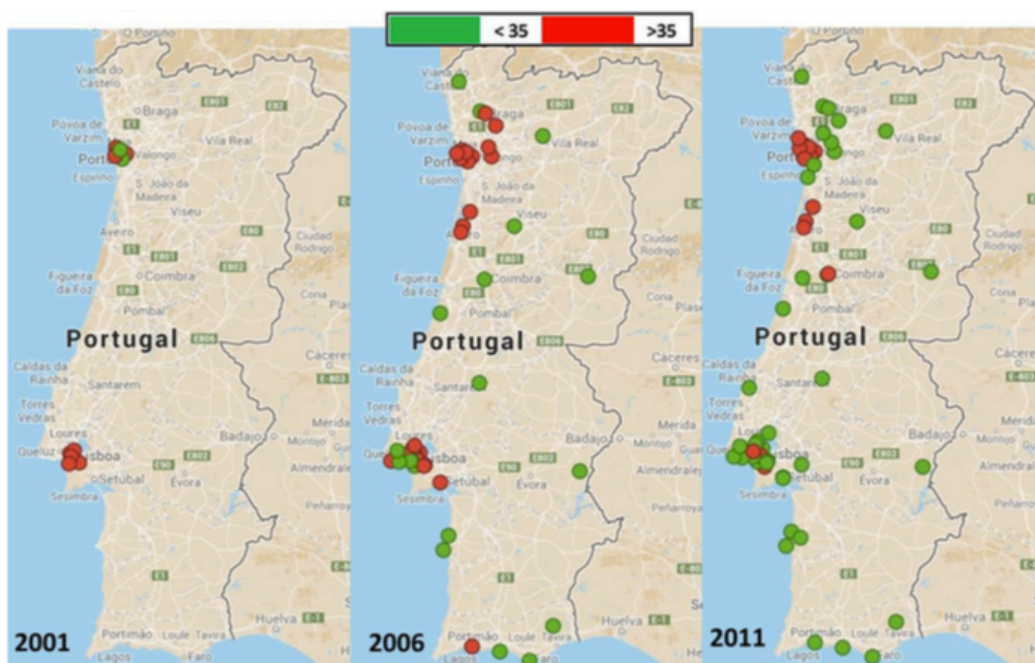


Figura 4 - Estações que apresentaram excedência do valor limite diário de PM₁₀ (50 µg/m³), em 2001, 2006 e 2011. A verde encontram-se as estações que não ultrapassaram 35 dias de excedência do valor limite, a vermelho estão as estações em que foram superados 35 dias de excedência do mesmo. Segundo o Decreto-Lei 102/2010, o valor limite não deve ser excedido mais de 35 vezes por ano civil. Fonte: (Faria, 2016).

Em Portugal, o ano de 2007 foi o que registou maior número de eventos naturais, ou seja, eventos de transporte de longa distância de poeiras com origem nos desertos do norte de África (Ferreira & Marques, 2017), registados do período 2006 a 2016 (fig. 5). Já no caso algarvio, foi o ano de 2011 que registou maior número de eventos naturais (fig.5). Apesar de 2016 ter apresentado um maior número de dias com ocorrência de eventos naturais dos últimos cinco anos, verificou-se que nenhuma aglomeração ultrapassou os limites legais de PM₁₀ (Ferreira & Marques, 2017).

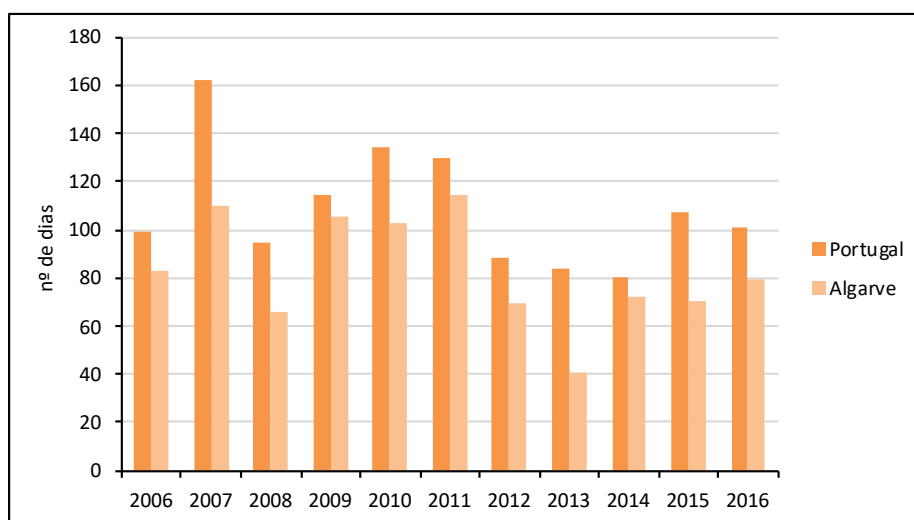


Figura 5 - Número de dias em que se verificou a ocorrência de evento natural (intrusão de poeiras provenientes do Norte de África) em Portugal e na região do Algarve. Fonte: adaptado de Ferreira & Marques (2006-2016).

1.6. Vulnerabilidade da população às Condições Biometeorológicas

Adversas em estudo

A vulnerabilidade a perigos ambientais é definida, de uma forma geral, pelo grau de perda, que varia no tempo e no espaço, e também consoante os grupos sociais (Cutter et al., 2003). No estudo da vulnerabilidade existem três princípios fundamentais: identificação das condições que promovem a vulnerabilidade tanto da população como do território a eventos naturais extremos (modelo de exposição) (Cutter et al., 2003); assumir que a vulnerabilidade é uma condição social, avaliada pela resistência ou resiliência social aos perigos (Blaikie et al., 1994); deve ser integrada a exposição potencial e a resiliência social com um foco específico em lugares ou regiões particulares (Cutter et al., 2003).

A ocorrência de episódios em que a qualidade do ar é afetada no meio urbano não são geralmente causados por aumentos súbitos na emissão de poluentes, mas sim por condições meteorológicas desfavoráveis, que dificultam a dispersão dos poluentes na atmosfera, demonstrando assim a importância de estudar a ocorrência simultânea de ondas de calor e eventos de má qualidade do ar. Por exemplo, os centros urbanos são, normalmente, mais afetados pelo efeito “ilha urbana de calor”, o que resulta num aumento das temperaturas nestas áreas devido à maior retenção de calor durante a noite em relação às áreas suburbanas e rurais envolventes (Martó, 2005; Haines et al., 2006).

A vulnerabilidade pode ser avaliada através de um grande número de indicadores, tais como os internamentos hospitalares de emergência, o atendimento médico de emergência, nomeadamente as chamadas de ambulâncias e as visitas ao departamento de emergência, entre outros (Li et al., 2015).

Estes impactos são alvo de estudo à escala nacional ou regional, mas existem variações a uma escala maior que devem ser tidas em conta, nomeadamente os contrastes climáticos locais e a desigual vulnerabilidade da população (fig.6) (Andrade et al., 2012), promovida pelas diferentes características demográficas (Li et al., 2015).

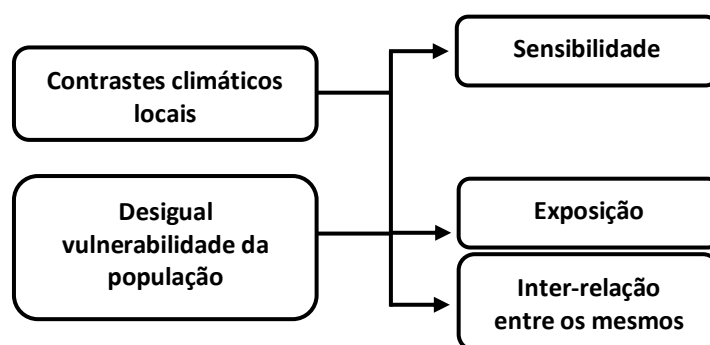


Figura 6 - Esquema conceptual referente à análise da vulnerabilidade da população a perigos de origem climática. Fonte: adaptado de Andrade et al. (2012).

A desigual vulnerabilidade da população resulta da sensibilidade e exposição dos indivíduos, assim como da inter-relação existente entre ambas.

Por um lado, a sensibilidade depende de características demográficas. A idade e o género são duas variáveis que influenciam a maior ou menor sensibilidade aos extremos térmicos. Se falarmos especificamente da vulnerabilidade a ondas de calor, as crianças e os adultos a partir dos 50 anos apresentam maior vulnerabilidade, particularmente as mulheres (Kovats & Hajat, 2008). A existência prévia de uma patologia específica ou a composição corporal (percentagem de gordura corporal) são também variáveis a ter em conta, pois qualquer doença que comprometa a termorregulação do organismo vai potenciar a morte devido ao calor. Os estudos epidemiológicos relevam que indivíduos com doenças cardiovasculares, doenças respiratórias, diabetes e depressão são mais sensíveis aos efeitos do calor (Haines et al., 2006). A sensibilidade de cada indivíduo depende dos fatores culturais, sociais e económicos, tais como as condições de trabalho ou o acesso a serviços de saúde.

Por outro lado, a exposição da população é influenciada por fatores como a mobilidade individual ou as características do local de trabalho e de residência. Em Portugal, a mortalidade e morbidade evidenciam um padrão sazonal que apresenta relação com o desconforto térmico dentro das nossas próprias casas (Vasconcelos et al, 2011), pois no inverno as residências apresentam-se frias e húmidas, enquanto no verão são bastante quentes. Este é um aspeto a ser trabalhado e melhorado no nosso país, de forma a que o desconforto térmico sentido possa ser reduzido e, conseqüentemente, tenha melhores efeitos na saúde da população (Vasconcelos et al, 2011), demonstrando assim a importância de uma correta aclimatização dos espaços individuais e públicos.

As variáveis tendem a ser redundantes, e, portanto, é efetuada a sua sintetização através de indicadores ou índices compósitos de vulnerabilidade.

Quando falamos da exposição à poluição, esta é definida como o evento que ocorre em que um indivíduo está em contacto com um determinado poluente (Ott, 1982), sendo que este conceito se pode desdobrar em três aspetos: magnitude, que se relaciona com a concentração de um determinado poluente; duração, indicativa do tempo em que o indivíduo está em contacto com o poluente; e frequência com que ocorre essa mesma exposição (Ferreira, 2007).

Capítulo 2 - Caracterização do território em estudo: o município de Faro

O município de Faro está localizado no sul de Portugal, no distrito de Faro, que coincide também com a região algarvia (fig.7). Com uma área de 201,9 km², encontra-se delimitado a norte pelo concelho de São Brás de Alportel, a oeste pelo Oceano Atlântico e por Loulé, a este por Olhão, e a sul pela Ria Formosa. O concelho agrega 4 freguesias: Santa Bárbara de Nexe a União de Freguesias de Conceição e Estoi a norte, e a União de Freguesias de Faro (S. Pedro e Sé) e Montenegro, localizadas a sul.

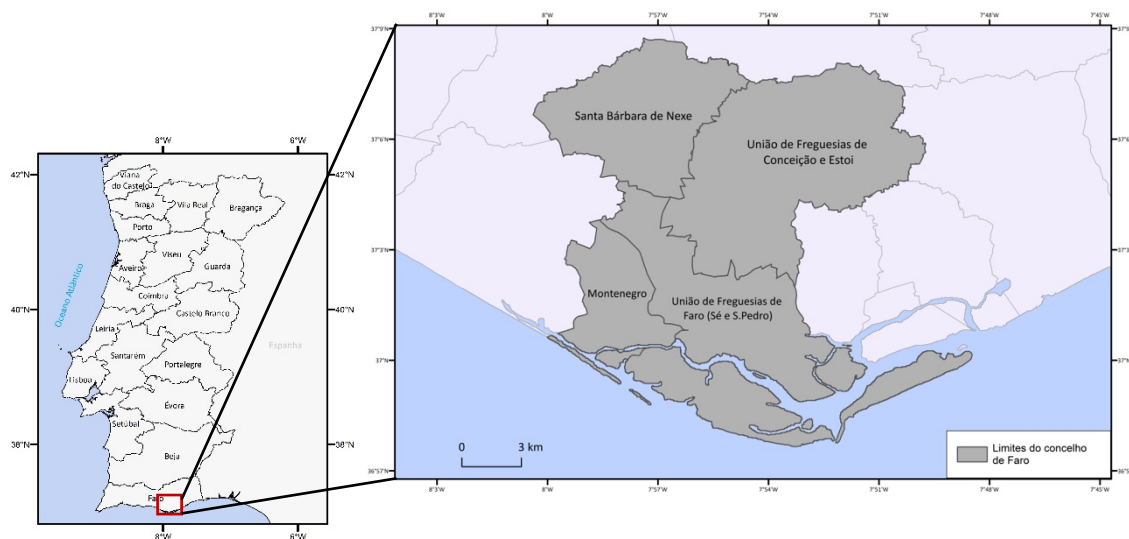


Figura 7 - Localização da área de estudo.

2.1. Caracterização Climática

O município em estudo apresenta um regime térmico moderado pela proximidade ao oceano, o que resulta numa reduzida diferença entre a temperatura máxima média e a temperatura mínima média (fig.9), facto explicado pela influência direta do oceano e de uma atmosfera húmida, amenizando os regimes térmicos (Ferreira, 2005). Das Normais Climatológicas de 1965 - 1990 para as Normais Climatológicas de 1981 - 2010 (fig. 8) é notório que existe um incremento da temperatura média mínima, principalmente entre os meses de março a outubro.

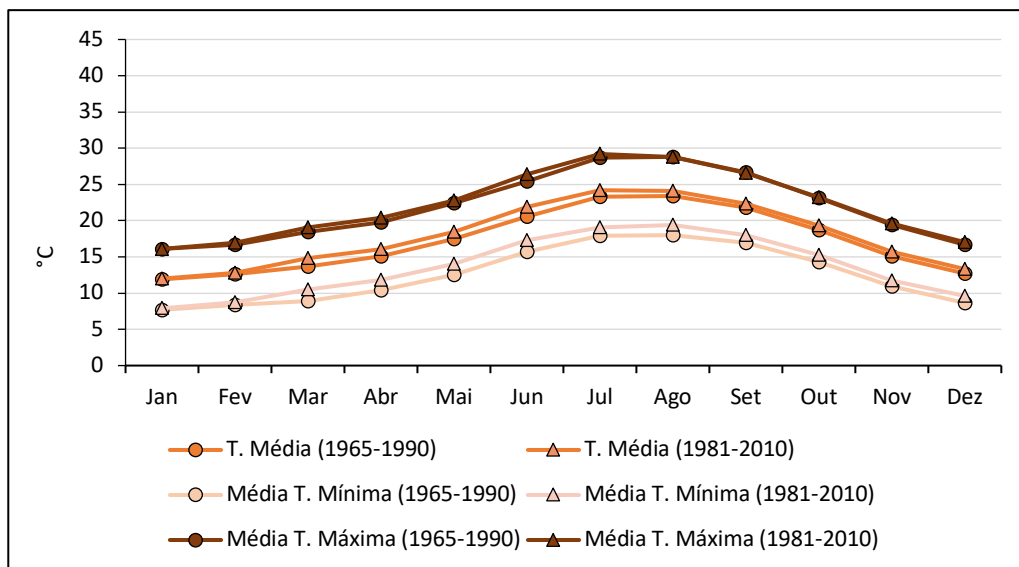


Figura 8 - Regime anual da temperatura média, temperatura média máxima e temperatura média mínima em Faro e sua evolução nos períodos 1965-90 e 1981-2010. Fonte: adaptado das Normais Climatológicas de 1965-1990 e 1981-2010.

Essencialmente mediterrânico, o clima evidencia uma estação pluviosa marcada pela dicotomia entre uma estação seca prolongada (entre meados de abril e o início de outubro), com pluviosidade fraca, e o máximo de precipitação a ocorrer no Inverno (Alcoforado et al., 1993).

Uma parte muito importante da atividade ciclogénica que afeta a margem meridional portuguesa ocorre na Bacia Atlântica Ibero-Marroquina, onde se originam depressões que podem ser responsáveis por episódios de chuvas muito abundantes em Portugal Continental, mas também na ilha da Madeira e na Andaluzia Ocidental (Fragoso, 2004).

O município de Faro situa-se no Sotavento algarvio (para leste de Quarteira), onde, sem a nortada e beneficiando do abrigo das serras do Caldeirão e de Monchique, as temperaturas de Verão sobem, e onde se verifica um regime de vento bastante diferente de a Barlavento, onde ainda se faz notar a influência da nortada (Ferreira, 2005).

Assim, o período de Verão é marcado por um regime de brisas com fraca velocidade. Por um lado, a brisa marítima, no período diurno, tem origem a sudoeste e penetra fracamente no interior (Ferreira, 2005). Por outro, a brisa de terra ocorre durante a noite, proveniente de norte e apresenta-se fraca (Ferreira, 2005).

As ondas de calor podem ocorrer em qualquer época do ano, mas é no Verão que estas se manifestam com maior frequência e intensidade, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (Cunha, 2012). A ocorrência do fenómeno em território nacional está ligada a uma posição anormalmente setentrional do Anticiclone subtropical, resultando na crista anticiclónica que vai cobrir totalmente a Península Ibérica e o mar mediterrâneo (fig.9). O Algarve é atingido em primeiro lugar pelo ar quente saariano, progredindo posteriormente sobre o resto do país (Ferreira, 2005).

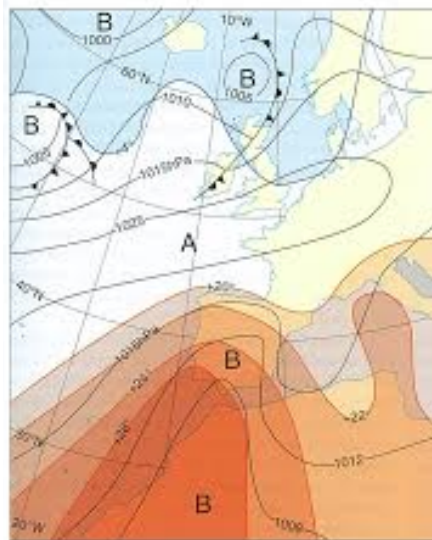


Figura 9 - Exemplo da progressão de uma onda de calor, registada em julho de 1995.
Fonte: Ferreira, 2005.

2.2. Caracterização Demográfica

2.2.1. Uso e ocupação do solo

De forma a caracterizar a população do município em estudo, é importante analisar o uso e ocupação do solo do mesmo, e assim perceber a forma como a população se distribui. Esta caracterização é realizada com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), de 2007, da Direção Geral do Território.

De uma forma geral, Faro apresenta 10,3% de territórios artificializados, com os principais aglomerados populacionais a localizarem-se no sul do concelho, e 47,1% de áreas agrícolas e agroflorestais, repartidas tanto a norte como no centro (fig.10).

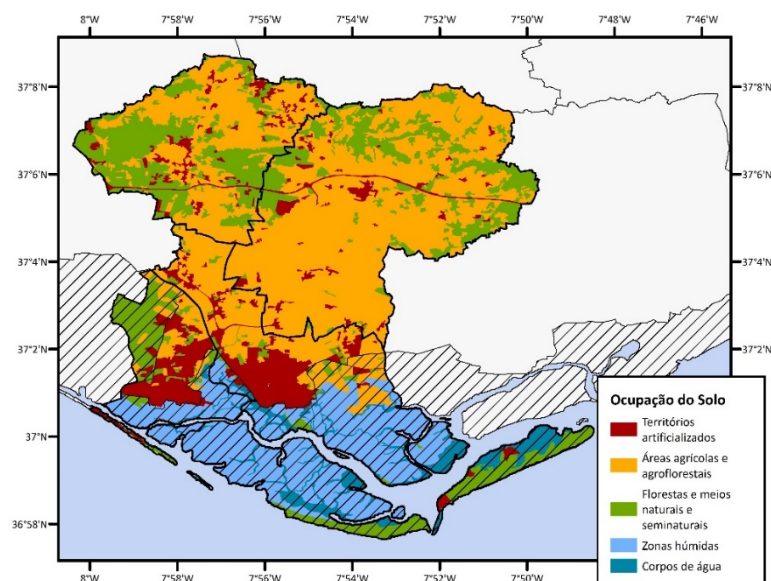


Figura 10 - Ocupação do solo no município de Faro. Fonte: Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), Direção Geral do Território (2007).

Ao nível da freguesia, verifica-se que a União de Freguesias de Faro (S. Pedro e Sé) e a freguesia de Montenegro se apresentam como áreas predominantemente urbanas. É aqui que se localizam importantes infraestruturas, nomeadamente o Aeroporto de Faro, os *Campus* de Gambelas e da Penha da Universidade do Algarve, e também a capital do distrito de Faro, a cidade que toma o mesmo nome. As freguesias de Santa Bárbara de Nexe e a União de Freguesias de Conceição e Estoi são consideradas medianamente urbanas (Costa & Alexandre, 2008), sendo perceptível a forte presença de áreas agrícolas e agroflorestais nesta área (fig.10).

2.2.2. Evolução demográfica

Segundo o INE, entre 2001 e 2015, a população do município evoluiu de forma positiva, de 58051 para 61019 residentes⁴.

⁴ Conjunto de pessoas que, independentemente de estarem presentes ou ausentes num determinado alojamento no momento de observação, viveram no seu local de residência habitual por um período contínuo de, pelo menos, 12 meses anteriores ao momento de observação, ou que chegaram ao seu local de residência habitual durante o período correspondente aos 12 meses anteriores ao momento de observação, com a intenção de aí permanecer por um período mínimo de um ano (INE, 2016).

A análise das pirâmides etárias respetivas à população residente no município (fig.11) permite verificar que estas apresentam uma base estreita em relação ao topo, o que evidencia uma população envelhecida. Em 2015, o aumento populacional resultou no aumento da população entre os 0 e os 14 anos, assim como nos indivíduos a partir dos 65 anos, marcando uma notória tendência de envelhecimento da população.

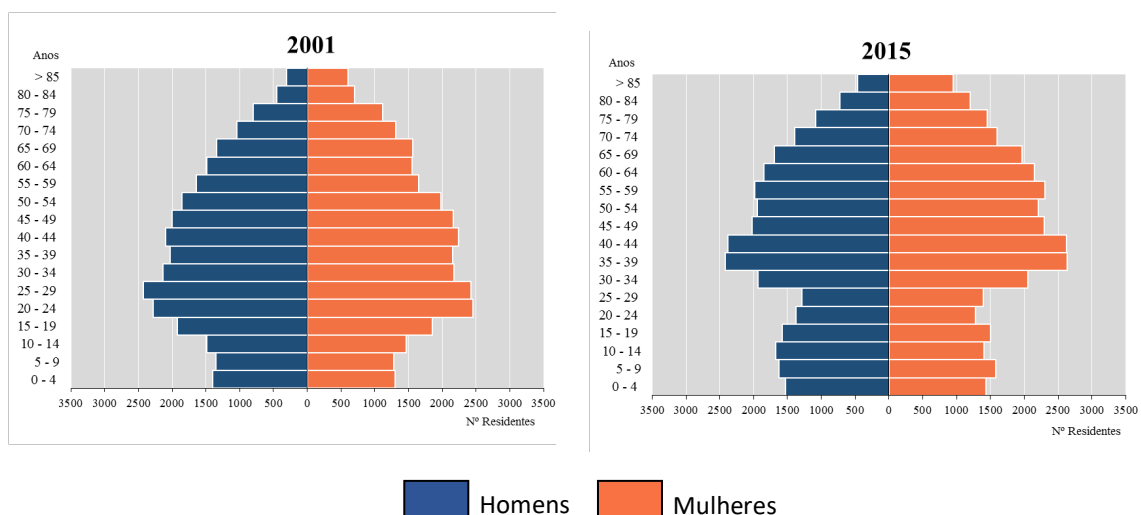


Figura 11 - Evolução da estrutura etária da população residente no município de Faro, entre 2001 e 2015. Fonte: Censos 2001 e Estimativas Anuais da População Residente, INE.

Tendo em conta que se pretende realizar este estudo à escala da freguesia, é importante analisar a população e a evolução da mesma em cada uma das freguesias do município. É de referir que os dados das freguesias de Conceição e Estoi e também de São Pedro e Sé foram agregados de forma a corresponderem aos atuais limites administrativos.

De 2001 para 2011 todas as freguesias registaram um aumento de população, à exceção de Santa Bárbara de Nexe (tabela 4). Verifica-se a que a U.F. de Faro (S. Pedro e Sé) é a que concentra mais população em ambos os anos, e, em contrapartida, Santa Bárbara de Nexe apresenta o menor número de população.

Tabela 4 - Percentagem de população residente, segundo a sua respetiva faixa etária, nas freguesias do concelho de Faro. Fonte: adaptado de INE (2011).

	Ano	População Jovem	População Ativa	População Idosa	Total (nº)
		(0-14) (%)	(15-64) (%)	(> 65) (%)	
Santa Bárbara de Nexe	2001	13,4	64,4	22,3	4119
	2011	11,9	60,5	27,6	4116
U.F. de Conceição e Estoi	2001	14,2	66	19,7	7289
	2011	14,3	65,7	20	8176
U.F. de Faro (S. Pedro e Sé)	2001	14,3	70,6	15,1	41307
	2011	14,3	68	17,8	44119
Montenegro	2001	14,7	73,1	12,2	5336
	2011	17,6	69,5	12,8	8149
Total	2001	14,3	69,8	15,9	58051
	2011	14,6	67,4	18,1	64560

No grupo etário entre os 0 e os 14 anos, as freguesias que registaram uma evolução positiva foram as da U.F. de Conceição e Estoi e a de Montenegro, com uma variação de 0,1% e 1,5%, respetivamente. Em Santa Bárbara de Nexe esta variação foi negativa, significando uma diminuição da população jovem (tabela 4).

A percentagem de população ativa (entre os 15 e os 64 anos) diminuiu em todas freguesias, resultando numa variação negativa de mais de 1%, registando-se uma maior quebra nas freguesias de Santa Bárbara de Nexe e Montenegro.

No caso da população com idade superior a 65 anos, o quadro apresenta-se diferente aos dos restantes grupos etários, pois em todas freguesias foi registada uma variação positiva, entre os 0,3%, na U.F. de Conceição e Estoi, e 5% em Santa Bárbara de Nexe.

Estes dados sustentam a análise realizada anteriormente respeitante às pirâmides etárias do município em estudo, que evidenciam uma população envelhecida, com a progressiva diminuição da população jovem em grande parte das freguesias, e com a diminuição da população ativa registada em termos gerais, entre 2001 e 2011. A freguesia de Santa Bárbara de Nexe foi a que apresentou a maior evolução no sentido de uma população mais envelhecida, o que pode ser justificado com o uso e ocupação

do solo, tendo em conta que esta é uma freguesia maioritariamente agrícola e florestal, com reduzidos núcleos urbanos.

2.3. O turismo no Algarve

O turismo no Algarve é também um importante aspeto socioeconómico a ser referido, pois é o motor económico da região, constituindo a base para as atividades que concentram maior percentagem de valor acrescentado bruto e de população empregada (Cruz, 2012).

Como destino turístico, a região é essencialmente atrativa no período de Verão, devido às praias com características únicas, tendo desenvolvido um conjunto de atividades relacionadas com o alojamento e restauração que condicionam fortemente a estrutura produtiva regional (Cruz, 2012).

Entre 2008 e 2016 ocorreu uma evolução no sentido do aumento de hóspedes nos estabelecimentos hoteleiros na região do Algarve (fig.12), demonstrando bons resultados em relação ao investimento nas infraestruturas turísticas. É no semestre quente (abril a setembro) que se concentra o maior número de hóspedes – cerca de 70% dos valores anuais registados (fig.12).

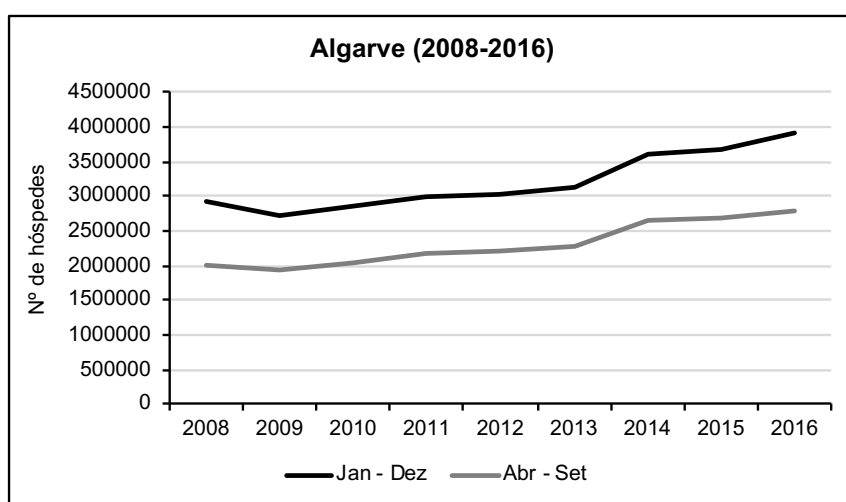


Figura 12 - Nº de hóspedes em estabelecimentos hoteleiros, entre 2008 e 2016, na região do Algarve. Fonte: INE, 2018.

Tendo em conta o contributo do semestre quente para o número de hóspedes na região algarvia, analisou-se com maior pormenor a evolução dos mesmos nesses meses.

Também aqui se verifica um aumento de hóspedes, de 2008 para 2016 (fig.13), o que reflete o papel importante e crescente do turismo no Algarve, principalmente nos meses em que a ocorrência de períodos de temperaturas elevadas extremas apresenta maior probabilidade de ocorrer.

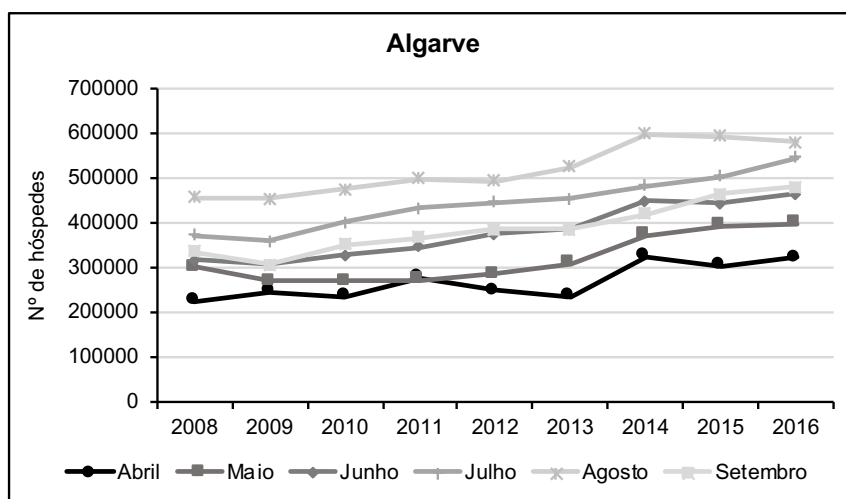


Figura 13 - Nº de hóspedes em estabelecimentos hoteleiros, nos meses de abril a setembro (2008 – 2016). Fonte: INE, 2018.

Em conclusão, as condições climáticas amenas, assim como as condições naturais relacionadas com o mar e o ambiente potenciam a região algarvia como um produto turístico “sol e praia”, que é complementado com o seu património histórico, com a gastronomia e com a diferenciação na aposta em atividades como o golfe (Cruz, 2012).

Capítulo 3 - Recolha, organização e processamento da informação

3.1. Dados climatológicos

De forma a estudar os períodos de calor extremo no município de Faro, procedeu-se à recolha de séries climatológicas da base de dados NOAA⁵, encontrando-se apenas duas estações meteorológicas disponíveis na área de estudo: a estação Faro/Aeroporto, com dados desde 1973 até à atualidade, e a estação Faro/Cidade, que disponibiliza informação de 1994 até 2001. A série de dados da estação Faro/Aeroporto, apresenta

⁵ National Centers for Environmental Information

assim uma duração mais longa, o que favorece a identificação de períodos de calor extremos desde 1973, permitindo a análise da evolução destes eventos no município.

Devido à reduzida quantidade de estações climatológicas existentes no município de Faro, optou-se ainda por analisar a série de dados meteorológicos da estação de São Brás de Alportel, da rede de monitorização meteorológicas do SNIRH⁶, que é uma estação localizada a norte dos limites do concelho de Faro (fig.14). Esta estação apresenta dados desde 1980 até à atualidade, contudo, após uma avaliação da sua qualidade e verificada a presença de lacunas importantes, apenas foram estudados os anos de 1980 a 2013.

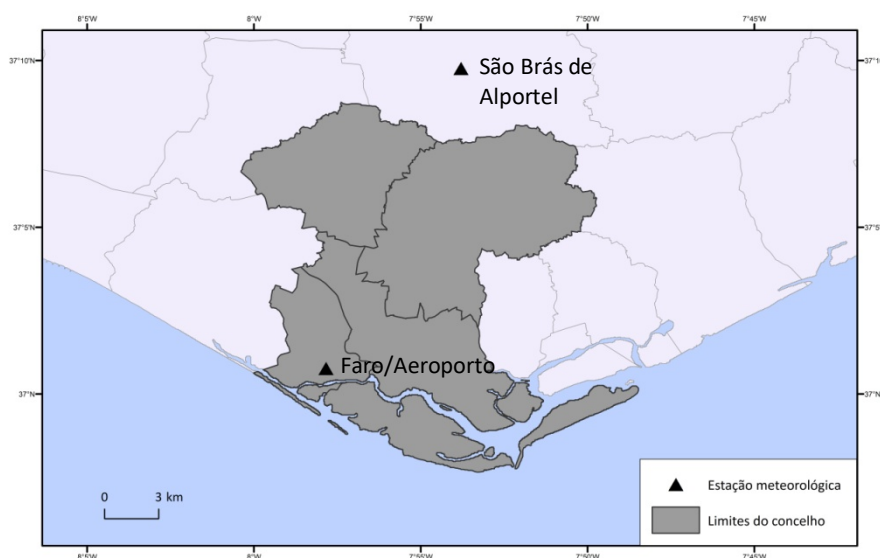


Figura 14 - Localização das estações meteorológicas em estudo.

Para ambas as estações foi necessário proceder à análise das suas possíveis lacunas, de forma a conseguir completar o mais possível os valores de temperatura média e máxima das séries climatológicas. Para este efeito foi utilizado o método de Regressão Linear, em que, com base numa estação meteorológica próxima, foi estimada a equação de Reta de Regressão Linear ($y = a + bx$, em que a corresponde à constante, e b é relativo ao coeficiente de regressão), permitindo preencher as lacunas existentes nas séries em

⁶ Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

estudo. Para preencher as lacunas existente na série de São Brás de Alportel foi efetuada a Regressão Linear com base na estação de Faro/Aeroporto.

3.1.1. Testes de homogeneidade

Nos estudos de análise climática de longo prazo, particularmente na análise de alterações climáticas, os dados utilizados devem ser o mais homogéneos possível, ou seja, numa série homogénea as possíveis variações identificadas devem ser causadas exclusivamente por variações climáticas (Alexandersson, 1986; Aguilar et al., 2003).

Contudo, a maioria das séries temporais climatológicas de longo prazo apresentam interferência de fatores não-climáticos que podem tornar essas séries não representativas da variação climática real ao longo do tempo (Aguilar et al., 2003). Alguns exemplos desses fatores são as mudanças nos instrumentos de medição, nos locais das estações, nas práticas de observação, nas fórmulas usadas para o cálculo de médias e no ambiente onde as estações se encontram (Aguilar et al., 2003).

As irregularidades resultantes destas alterações podem prejudicar as séries temporais assim como podem levar a interpretações erradas das informações obtidas (Aguilar et al., 2003). Desta forma, a qualidade das séries deve ser avaliada e ajustada. Segundo Bližnák et al. (2015) o controlo da qualidade dos dados deve passar por uma primeira fase, na qual se devem verificar e tratar os *outliers*, ou seja, os valores extremamente altos ou baixos. Numa segunda fase, deve proceder-se à deteção da não-homogeneidade causada por fatores não climáticos, através de métodos subjetivos (observação visual) e/ou por métodos objetivos, nomeadamente diversos testes estatísticos. As análises devem ser sustentadas pelos registos de metadados das estações em estudo.

Deste modo, foi necessário testar a homogeneidade da série temporal Faro/Aeroporto. Numa primeira fase, o teste de homogeneidade foi realizado através do método “absoluto”, no qual foram aplicados testes estatísticos na série de dados em estudo, recorrendo ao *software* XLSTAT, tendo sido aplicados quatro testes estatísticos nos dados de temperaturas máximas e mínimas organizados em médias mensais, para a série temporal entre 1973 e 2016: o teste de Pettit, o teste de homogeneidade normal

estandardizado (SNHT), o teste de Buishand e o teste de rácio von Neumann. No caso dos três primeiros testes, estes fornecem informações sobre as possíveis datas das descontinuidades encontradas, enquanto o teste de von Neumann apenas permite estimar a presença de quebras no conjunto de dados (Morozova & Valente, 2012).

O teste de Pettit é um teste não paramétrico que possibilita a localização do mês ou ano nos quais é provável uma rutura nos dados. Assume a hipótese nula quando os dados são independentes e se encontram aleatoriamente distribuídos de forma idêntica, enquanto a hipótese alternativa aponta para uma mudança gradual na média (Costa & Soares, 2009). Este teste é mais sensível a ruturas no meio das séries (Costa & Soares, 2009; Morozova & Valente, 2012).

O SNHT é bastante utilizado nos estudos de homogeneidade (Morozova & Valente, 2012), sendo um teste de razão de verossimilhança que geralmente é realizado numa série de referência composta. Quando se verifica um único ponto de rutura, este teste consegue identificar o mês ou o ano no qual aconteceu essa quebra, sendo igualmente sensível à deteção de ruturas no início e no fim das séries (Costa & Soares, 2009). A hipótese nula indica uma série homogénea, já a hipótese alternativa indica que, em determinado ponto, ocorreu uma mudança brusca nas médias (Alexandersson & Moberg, 1997)

O teste de Buishand (Buishand, 1982) é um teste paramétrico que, no caso da hipótese nula, supõe que os valores da série testada são independentes e distribuídos de forma idêntica. Aquando da hipótese alternativa, o teste assume uma quebra gradual na média. Tal como o teste de Pettit, apresenta maior sensibilidade para determinar ruturas no meio da série temporal, assim como é também capaz de localizar o período (mês ou ano) em que esta acontece (Costa & Soares, 2009).

O teste von Neumann (Von Neumann, 1941) é um teste não paramétrico em que a estatística é definida como a proporção da diferença média quadrática (ano-a-ano) para a variância (Costa & Soares, 2009). A hipótese nula revela que os dados são independentes e são distribuídos de forma aleatória, enquanto a hipótese alternativa indica que as séries não são distribuídas aleatoriamente (Costa & Soares, 2009).

A avaliação da homogeneidade absoluta comporta algumas desvantagens, pois utilizar somente os dados de uma estação individual dificulta a explicação das possíveis alterações encontradas e se estas têm ou não influência climática (Costa & Soares, 2009). Outro aspeto a ter em consideração é que é possível que os metadados não incluam todas as mudanças nos ambientes das estações que ocorreram durante os períodos de medição (Morozova & Valente, 2012).

Assim, de forma a isolar as influências não-climáticas, foi necessário proceder-se ao método “relativo”, no qual se assume que, dentro de uma região geográfica, os padrões climáticos serão idênticos e que todas as observações dentro dessa região vão refletir um padrão idêntico (Costa & Soares, 2009). Para este efeito, foram recolhidos dados meteorológicas de duas estações complementares: estação meteorológica do Patacão, pertencente à Rede de Estações Meteorológicas Automáticas da Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve, e a estação de Beja/Aeroporto, disponível no NCDC e na ECA&D⁷ (fig.15).

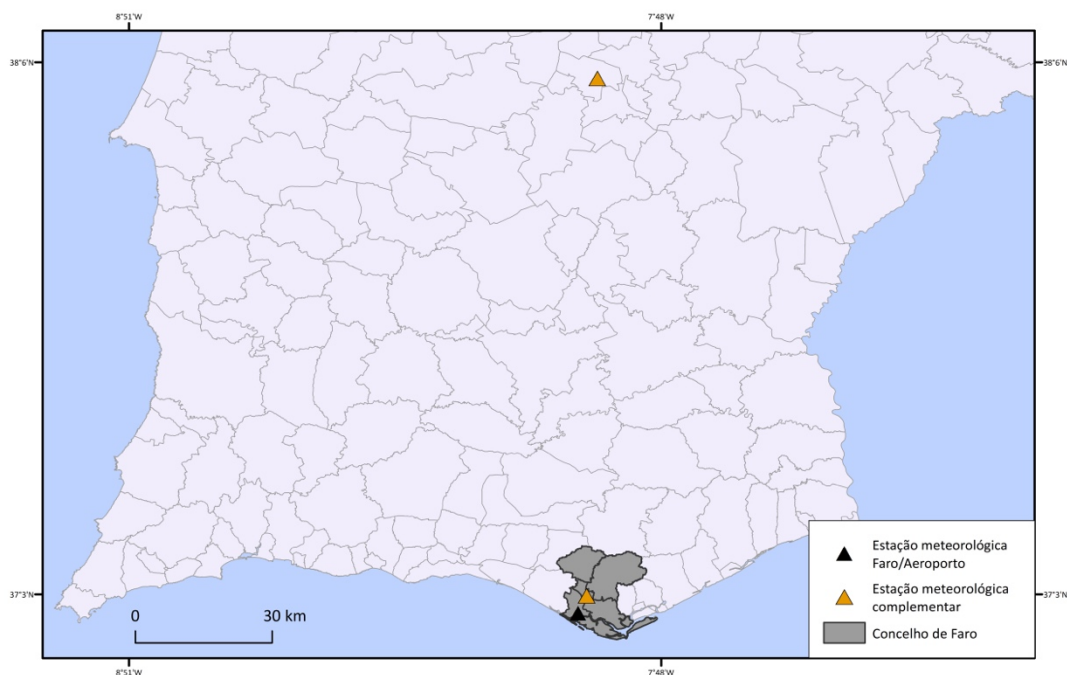


Figura 15 - Localização das estações meteorológicas principais e complementares, com vista ao estudo da homogeneidade das séries climatológicas.

⁷ European Climate Assessment & Dataset (www.eca.knmi.nl)

A escolha da estação do Patacão deve-se ao facto de ser uma estação localizada no município de Faro, apresentando dados diários desde 2006, ou seja, apenas permite correlacionar 10 anos.

Já em relação à estação de Beja/Base Aérea estão disponíveis dados diários desde 1973 até 2016, o que, em termos temporais, é bastante significativo, além de que, segundo a ECA&D, apresenta séries de dados homogêneos.

No procedimento metodológico efetuado, os dados de temperatura máxima e mínima das três estações foram organizados por mês, de janeiro até dezembro, para que, posteriormente, fosse organizada uma tabela dinâmica para a obtenção das médias de temperatura máxima e mínima mensais para os anos em estudo.

Os valores médios obtidos foram sujeitos aos testes de homogeneidade anteriormente descritos, segundo a seguinte ordem: em primeiro lugar, verificou-se a homogeneidade dos dados da estação Faro/Aeroporto; posteriormente, foram testados os dados da estação meteorológica do Patacão; por fim, foi verificada a homogeneidade dos dados de Beja/Base Aérea.

A avaliação da qualidade das séries de dados meteorológicos em estudo permitiu identificar que, nos dados de temperaturas mínimas das séries de Faro/Aeroporto e Beja/Base Aérea, se registou um maior número de meses que não cumpriam as condições necessárias para serem considerados homogêneos. Estas irregularidades verificaram-se, essencialmente, entre os meses de março e outubro, no caso de Faro/Aeroporto e, entre março e junho, na estação de Beja/Base Aérea, ocorrendo ainda anomalias nos meses de agosto, setembro e outubro. A estação do Patacão não registou qualquer mês não homogêneo.

Foi ainda testada uma série de dados com a diferença de temperatura máxima e mínima entre a estação de Faro/Aeroporto e Beja/Base Aérea na qual se evidenciou, de uma forma geral e para o caso das temperaturas máximas, que os meses de março a maio também não se apresentam homogêneos, tal como, no caso das temperaturas mínimas, os meses de fevereiro e março, entre junho e agosto, e também no mês de novembro.

Os meses referidos não foram considerados homogêneos em pelo menos três dos quatro testes aos quais foram submetidos.

Tendo em conta os resultados obtidos, a estação Faro/Aeroporto não é considerada homogênea. Por um lado, podem ter ocorridas possíveis mudanças na estação meteorológicas com consequências a nível da homogeneidade, por outro, e tendo em conta os resultados obtidos com a aplicação dos testes de homogeneidade, existe uma forte possibilidade da causa estar relacionada com a variabilidade climática, pois os resultados obtidos ocorreram não só na estação em estudo, mas também em Beja/Base Aérea, com especial impacto na variação das temperaturas mínimas.

3.2. Metodologias de identificação de ondas de calor

Numa primeira fase, foram determinadas as ondas de calor das séries de Faro/Aeroporto e de São Brás de Alportel aplicando o critério atualmente utilizado em Portugal (HWDI; tabela 5) para a identificação de ondas de calor. Uma descrição mais pormenorizada dos referidos critérios encontra-se no capítulo 1.5.1.

Tabela 5 - Principais características do critério HWDI, para identificação de ondas de calor.

HWDI (Peterson et al., 2001)	<ul style="list-style-type: none">• Período em que a temperatura máxima diária supera em 5°C o valor médio diário no período de referência, durante um intervalo de, pelo menos, 6 dias consecutivos;• O valor médio diário no período de referência é baseado nas Normais Climatológicas de 1971-2000;• Critério com base estatística, de limiar absoluto.
---	---

3.2.1. A metodologia Météo-France (Ouzeau et al., 2016)

Desde 2005 que em França existe um método para a deteção de ondas de calor que se baseia na distribuição dos percentis 95, 97,5 e 99 das temperaturas médias diárias, a partir das quais se definem três limites (Ouzeau et al.,2016): *Spic*, limite que permite identificar a ocorrência de um evento; *Sdeb*, que marca o início e o fim da onda de calor identificada; *Sint*, que corresponde ao limite de interrupção da mesma.

Com base neste critério, uma onda de calor é interrompida se as temperaturas atingirem valores abaixo do limite *Sdeb* durante pelo menos três dias consecutivos, ou então se a temperatura atingir um valor que esteja abaixo do limite *Sint* (Ouzeau et al.,2016).

Este método (fig.16) foi desenvolvido para a monitorização do clima e permite obter um inventário das ondas de calor ocorridas no território francês no passado, podendo ser adaptado aos eventos de ondas de frio (Schneider & Dandin,2012). Apresenta ainda a vantagem de se basear em limiares relativos, definidos a partir da distribuição estatística dos dados meteorológicos e que se adaptam às condições climáticas da área de estudo, permitindo ainda caracterizar a intensidade e duração dos eventos identificados (Soubeyroux et al., 2016). Para a aplicação deste critério foram necessários os dados diários da temperatura média e da temperatura máxima, de ambas as estações meteorológicas. Assim, foram determinados os respetivos valores dos percentis 95, 97,5 e 99 das séries de temperatura média em estudo:

- *Sint* (percentil 95): 25,8°C;
- *Sdeb* (percentil 97,5): 26,8°C;
- *Spic* (percentil 99): 28,6°C.

De referir que, segundo a metodologia, o cálculo dos percentis da temperatura média da série em estudo deve ser efetuado com base na amostra global de dados diários deste parâmetro, de 1973 a 2016 (Faro/Aeroporto) e de 1980 a 2013 (São Brás de Alportel), incluindo todos os meses do ano, e não só os meses em estudo (abril a setembro).

Após definir os limites supracitados procedeu-se à identificação dos eventos de ondas de calor. As ondas de calor são posteriormente caracterizadas com base na sua duração, temperatura máxima média atingida em cada evento e intensidade global⁸ (fig.16).

⁸ A intensidade global representa a severidade dos eventos e deve ser proporcional aos seus efeitos sobre o setor específico (Ouzeau et al., 2016).

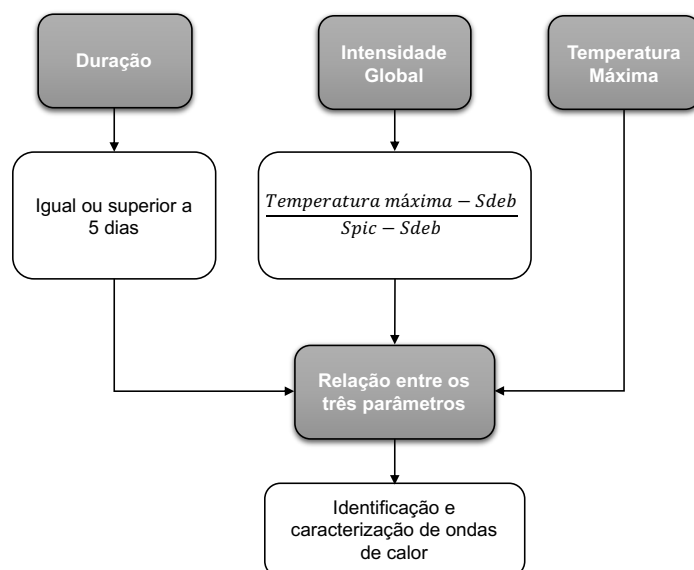


Figura 16 - Parâmetros de identificação e caracterização de ondas de calor, segundo o método Météo-France. Fonte: Ouzeau et al.(2016).

3.2.2. O método *Excessive Heat Factor* (EHF) (Nairn et al., 2009; Nairn & Fawcett, 2015)

O índice de fator de excesso de calor (*Excessive Heat Factor* – EHF) tem como objetivo a medição da intensidade das ondas de calor, e apresenta como base a média de temperaturas médias diárias de três dias consecutivos (TDP) (Nairn et al., 2009; Nairn & Fawcett, 2015). Este é um índice relativo, desenvolvido com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade a períodos de excesso de calor, através do estabelecimento de novos limiares para a determinação de ondas de calor, incluindo ondas de calor de baixa intensidade (Nairn et al., 2009; Nairn & Fawcett, 2015)

A escolha do período de três dias baseia-se na resposta que o ser humano apresenta face ao início de um período de temperaturas elevadas extremas. No caso português, verifica-se que, na cidade de Lisboa, existe uma forte correlação entre o número de admissões nos Serviços Hospitalares e a temperatura ocorrida nos três dias anteriores a essas mesmas admissões (Alcoforado, 1991). De referir que este é um índice que requer séries temporais contínuas (Nairn et al., 2009), podendo ser (ou não) consideradas apenas as ondas de calor verificadas, no caso do hemisfério Norte, durante o verão boreal alargado (abril a setembro). Neste estudo apenas foram tidos em conta, justamente, os meses de abril a setembro, como já foi referido anteriormente.

O cálculo do EHF divide-se em três partes (Nairn & Fawcett, 2015):

- Índice de significância (EHI_{sig}): consiste na avaliação das temperaturas médias diárias um período de três dias, ou seja, um determinado dia (T_i) e os seus dois dias anteriores (T_{i-1} e T_{i-2}), pois a análise é efetuada para conhecer as ondas de calor históricas (abordagem retrospectiva e não para fins de previsão). É também determinado o percentil 95 das temperaturas médias diárias de toda a série temporal de Faro/Aeroporto e São Brás de Alportel, necessário para o cálculo da seguinte expressão:

$$EHI_{sig} = (T_{i-2} + T_{i-1} + T_i)/3 - T95 \quad (1)$$

- Índice de aclimação (EHI_{accl}): avaliação da temperatura do período de três dias consecutivos em relação aos 30 dias anteriores, com base na seguinte fórmula:

$$EHI_{accl} = (T_{i-2} + T_{i-1} + T_i)/3 - (T_{i-1} + \dots + T_{i-30})/30 \quad (2)$$

- Fator de Excesso de Calor (EHF): produto entre o EHI_{sig} e EHI_{accl} , através da seguinte fórmula:

$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{accl}) \quad (3)$$

Para este cálculo, é efetuada uma ponderação entre 1°C e o EHI_{accl} , ou seja, é escolhido o maior valor entre ambos, pois apenas valores positivos de EHF obtidos com os dois índices parciais positivos são considerados para a identificação de ondas de calor.

No caso dos meses em estudo em que se verificaram lacunas de dados, foi necessário efetuar o seu preenchimento, através do método de regressão linear, e recorrendo à série a estação de Beja como variável independente.

Os valores positivos de EHF significam a ocorrência de dias de onda de calor, e verifica-se que à medida que os valores de EHI_{sig} e EHI_{accl} aumentam, maior será a intensidade dos períodos de onda de calor, pois o produto de ambos os índices aumenta como resposta quadrática ao aumento da carga de calor (McGregor et al., 2015). Para ser

considerada uma onda de calor, é necessário ocorrerem pelo menos três dias consecutivos com EHF positivo, sendo que, um valor negativo do EHF significa o término da onda de calor identificada.

Por fim, é quantificada a *sobrecarga térmica acumulada*, através da acumulação dos valores de EHF de todos os dias considerados numa onda de calor, sendo que, quanto maior o valor resultante, maior será a intensidade de um determinado período de calor.

3.3. Identificação de tendências climáticas

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico e de correlação de classificação para dois grupos de observações que permite detetar tendências e a sua significância numa determinada série temporal (Barbieri et al., 2017). Neste teste é identificada a correlação entre os valores observados e a sua ordem no tempo (Hamed & Rao, 1998), permitindo de igual forma detetar o ponto em que se inicia a tendência e a mudança abrupta no clima (Kendall, 1975).

A hipótese nula do teste de Mann-Kendall revela que os dados são independentes e se encontram ordenados de forma aleatória, ou seja, não existe tendência na série temporal (Hamed & Rao, 1998).

Desta forma, e através do *software XLSTAT*, foi efetuado o cálculo do teste de Mann-Kendall para as variáveis: número de dias em onda de calor (HWF), número de ondas de calor (HWN) e duração da onda de calor mais longa (HWD), para os resultados obtidos segundo o método Météo-France e EHF, em Faro/Aeroporto (1973 – 2016) e São Brás de Alportel (1980-2013).

3.4. Inventários de eventos naturais (relatórios da APA)

De fevereiro a outubro existe, em Portugal, a possibilidade de ocorrência de eventos de intrusão de poeiras provenientes do Norte de África, também designados de eventos naturais (APA, 2006). No entanto, este estudo restringe-se aos meses quentes, de abril a setembro. Desta forma, e numa primeira fase, efetuou-se a análise dos Relatórios de Identificação e Avaliação dos Eventos Naturais em Portugal, estando disponíveis os anos a partir de 2006. Estes relatórios contêm inventários dos eventos naturais que atingiram

o nosso país, em geral, e o Algarve em particular, independentemente de neles de terem ultrapassado os limites legais estabelecidos como limiar de qualidade do ar (concentrações de partículas) prejudicial para a saúde humana.

3.5. Dados de estações QUALAR: organização dos dados e metodologias

Numa segunda fase, realizou-se a identificação de dias que registaram excedências dos limites legais, com base no tratamento dos dados obtidos nas estações de qualidade do ar, disponíveis na Base de Online sobre a Qualidade do Ar ⁹. Um aspeto a ter em conta é a eficiência mínima legal exigida pelo Decreto-Lei nº 102/2010 relativa a uma estação com medições contínuas, e que é de 85% das observações, sendo que abaixo deste valor se considera que as medições são apenas indicativas. Neste estudo, foram avaliados os anos de 2004 a 2016, sendo que, apenas os anos de 2013 a 2016 cumprem a eficiência legalmente exigida. No entanto, decidiu-se efetuar a avaliação apenas para o período 2011 a 2016, pois este apresenta um conjunto de dados cuja continuidade é minimamente aceitável. Esta avaliação foi realizada com base nos dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente tanto para a estação urbana de fundo Joaquim Magalhães, como para a estação rural de fundo do Cerro, ambas situadas no município de Faro (fig.17).

Estas estações disponibilizam os dados horários relativos às PM₁₀, apresentados em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para o poluente em estudo, o Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de setembro decreta que, num ano civil, a média do valor deste poluente tem como valor limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto o valor médio diário não deve exceder os $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que este valor não deve ser ultrapassado mais de 35 vezes num ano civil.

⁹ www.qualar.apambiente.pt

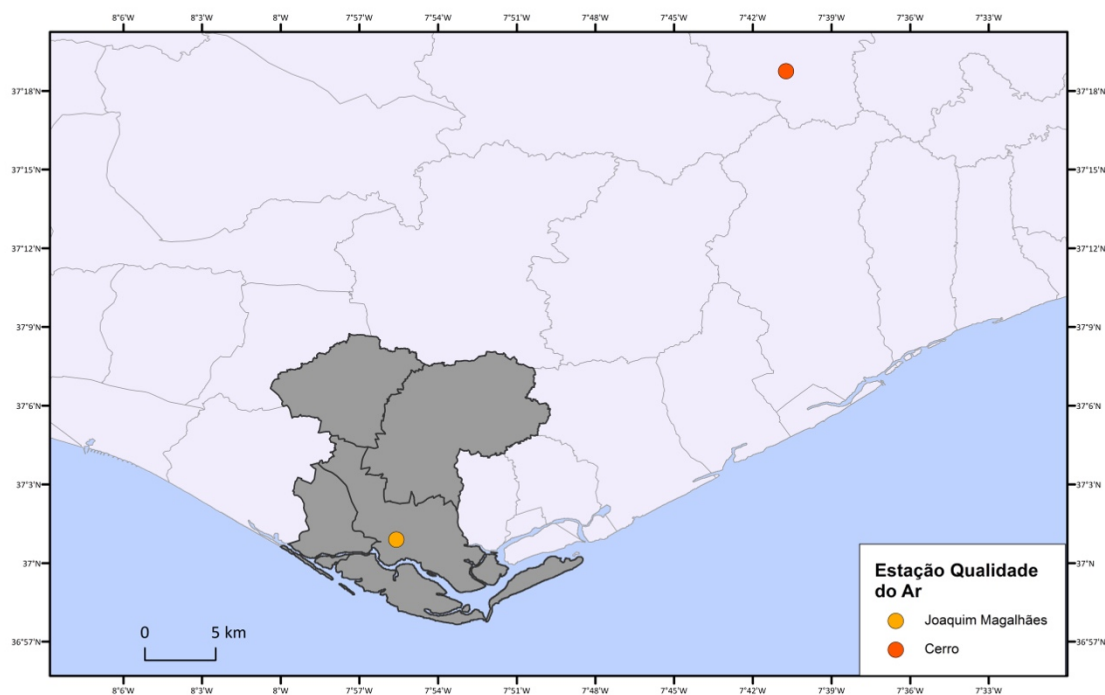


Figura 17 – Localização das estações de qualidade do ar.

3.6. Dados de mortalidade

Os dados referentes à mortalidade da população durante a ocorrência de ondas de calor foram retirados exclusivamente para os períodos de temperaturas elevadas extremas que justificam uma análise mais aprofundada, devido às suas características de intensidade e duração.

Os dados diários de óbitos referentes ao ano de 2004 foram retirados de Falcão et al. (2004), que se basearam nos assentos de óbitos fornecidos pelas Conservatórias do Registo Civil (CRC) que participam no Sistema de Vigilância da Mortalidade Diária, mais especificamente as CRC de Faro e Portimão. Os dados referem-se ao período decorrido entre os dias 12 de julho e 8 de agosto de 2004, sendo que nos dias de fim-de-semana não foi possível obter os mesmos.

3.7. Avaliação da vulnerabilidade a ondas de calor

O índice cumulativo de vulnerabilidade (Silva et al., 2014) foi construído de forma a permitir identificar áreas e populações com maior vulnerabilidade aos efeitos devidos à exposição a períodos de temperaturas elevadas extremas em Portugal Continental.

Devido à reduzida qualidade dos dados de PM₁₀, optou-se por se efetuar exclusivamente a análise da vulnerabilidade a ondas de calor, e não à ocorrência de eventos de má qualidade do ar.

O índice supracitado tem por base variáveis que, segundo a literatura (Silva et al., 2014), podem aumentar a vulnerabilidade população exposta a ondas de calor (tabela 6).

As variáveis em estudo (tabela 6) encontram-se disponíveis ao nível da freguesia, o que possibilita uma análise mais pormenorizada, sendo os limites administrativos das freguesias os existentes à data dos Censos 2011.

Tabela 6 - Definição das variáveis para a avaliação da vulnerabilidade à ocorrência de ondas de calor.

Definição da variável	Ano	Fonte
Nº de famílias clássicas nos alojamentos familiares de residência habitual e inexistência de ar condicionado	2011 (Censos)	INE
Taxa de desemprego (%)	2011 (Censos)	INE
Índice de dependência de idosos (Nº)	2011 (Censos)	INE
Nº de famílias clássicas com um indivíduo desempregado, reformado ou incapacitado	2011 (Censos)	INE
Proporção de famílias clássicas unipessoais com 65 anos ou mais (%)	2011 (Censos)	INE
Proporção de população residente com 65 anos ou mais (%)	2011 (Censos)	INE
Proporção de famílias clássicas unipessoais (%)	2011 (Censos)	INE
Área da freguesia não coberta por vegetação ou massas de água, segundo a Carta de Ocupação do Solo (%), foi considerado o código 1 – Territórios Artificializados)	2007	DGT

No entanto, não foi possível obter a variável “Episódios (ambulatório e internamento) registados nos códigos GDH com pelo menos um diagnóstico com os códigos 410-414”, ficando a mesma fora da análise efetuada.

A metodologia para cartografar a vulnerabilidade passa pela realização de uma Análise de Componentes Principais (ACP), com rotação *Varimax*, de forma a determinar os fatores independentes a serem incluídos no índice cumulativo de vulnerabilidade (Reid et al., 2009). Este foi um processo realizado no *software SPSS Statistics*.

Desta forma, foi possível obter dois fatores que explicam cerca de 94% da variância (tabela 7): fator 1 – “Taxa de desemprego e população com mais de 65 anos”, que combina as variáveis “Taxa de desemprego (%)”, “Índice de dependência de idosos (N.º)” e “Proporção de população residente com 65 anos ou mais (%)”; fator 2 – “Inexistência de ar condicionado e condição perante a família”, no qual se incluem “Nº de famílias clássicas nos alojamentos familiares de residência habitual e inexistência de ar condicionado”, “Nº de famílias clássicas com um indivíduo desempregado, reformado ou incapacitado”, “Proporção de famílias clássicas unipessoais com 65 anos ou mais (%)” e “Proporção de famílias clássicas unipessoais (%)”.

Apesar de terem sido contempladas 8 variáveis, a ACP permitiu concluir que o indicador “Área da freguesia não coberta por vegetação ou massas de água (%)” não contribuiu para a definição de nenhum dos fatores resultantes, como é possível verificar na tabela 7.

Posteriormente, foram calculados os *scores* para ambos os fatores e para cada freguesia em estudo. Os valores resultantes permitiram associar um valor de vulnerabilidade, que varia entre 1 (vulnerabilidade mais baixa) e 4 (vulnerabilidade mais elevada) a cada freguesia e para cada fator.

O índice cumulativo de vulnerabilidade de cada freguesia resulta do somatório dos valores que foram atribuídos no passo anterior, o qual foi classificado em três classes: vulnerabilidade baixa, vulnerabilidade moderada, vulnerabilidade elevada.

Tabela 7 - Matriz de componentes após a rotação Varimax e respetivos fatores resultantes, segundo o peso de cada variável nos mesmos. Valores mais próximos de 1 indicam a que fator pertence cada variável.

Variável	Taxa de desemprego e população com mais de 65 anos	Inexistência de ar condicionado e condição perante a família
Nº de famílias clássicas nos alojamentos familiares de residência habitual e existência de ar condicionado	-0,02	0,975
Taxa de desemprego (%)	0,829	-0,208
Índice de dependência de idosos (N.º)	0,938	0,328
Nº de famílias clássicas com um indivíduo desempregado, reformado ou incapacitado	0,019	0,97
Proporção de famílias clássicas unipessoais com 65 anos ou mais (%)	0,688	0,715
Proporção de população residente com 65 anos ou mais (%)	0,921	0,317
Proporção de famílias clássicas unipessoais (%)	0,263	0,952
Área da freguesia não coberta por vegetação ou massas de água (%)	-0,999	-0,042

Parte II - Resultados

Capítulo 4 – As ondas de calor em Faro (1973-2016)

O inventário de ondas de calor efetuado através das metodologias anteriormente descritas permitiu, por um lado, identificar ondas de calor históricas ocorridas no município de Faro, assim como possibilitou caracterizar as mesmas, em termos de duração e também de intensidade. Por outro lado, este estudo proporcionou a comparação do critério de onda de calor atualmente utilizado pelo Instituto do Mar e da Atmosfera português, o HWDI, com dois novos critérios, o denominado Météo-France e o EHF, que apresentam ambos a vantagem de avaliar a intensidade de cada onda de calor inventariada.

Deste modo, foi realizada uma análise geral ao inventário obtido, e, posteriormente, foram analisadas com mais pormenor as ondas de calor mais intensas identificadas em cada uma das estações meteorológicas em estudo.

4.1. Ondas de calor em Faro (1973-2016)

4.1.1. Variabilidade inter-anual

O método EHF foi o que levou à identificação do maior número de ondas de calor, assim como foi igualmente o que determinou a onda de calor de maior duração (18 dias) (tabela 8). Já o HWDI evidencia ser um critério limitativo, o que é demonstrado pela discrepância de ondas de calor (apenas 8 ondas de calor entre 1973 a 2016) em relação aos dois novos métodos aplicados para o caso de Faro.

Moço (2014) havia já demonstrado que esta definição resulta numa fraca ocorrência de ondas de calor em Faro pois as temperaturas máximas extremas registadas não alcançam, de uma forma geral, as condições requeridas para corresponder a uma onda de calor. O número de dias mínimo requerido para ser considerado onda de calor (6 dias consecutivos) revela-se, de resto, uma condição mais restritiva comparativamente à duração mínima exigida segundo os restantes métodos (Météo-France – 5 dias consecutivos; EHF – 3 dias consecutivos).

Tabela 8 - Resumo do número de dias quentes, ondas de calor e de duração máxima (dias) das ondas de calor identificadas, segundo cada método em estudo, para o período 1973 – 2016 em F/A (Faro/Aeroporto) e para o período 1980-2013 para SBA (São Brás de Alportel).

Critério	Nº de dias quentes		Nº de ondas de calor		Duração máxima (dias)	
	F/A	SBA	F/A	SBA	F/A	SBA
HWDI	585	891	8	26	7	14
Météo-France	174	297	47	14	12	9
EHF	544	539	103	85	18	14

O número de dias quentes refere-se ao número de dias que cumprem cada um dos critérios em estudo, sem ter em conta a sequência mínima de dias requerida para a ocorrência de uma onda de calor, podendo estar ou não incluídos num evento de onda de calor identificado. Na estação de Faro/Aeroporto, a evolução inter-anual da frequência de dias quentes (1973-2016) definidos com base em qualquer dos critérios de identificação adotados, denota uma tendência no sentido do aumento de dias quentes no período em estudo. É em Faro/Aeroporto, e segundo o método EHF, que esta tendência se demonstra mais acentuada e com maior significado estatístico¹⁰ (*p-value*: 0,014), com um aumento de cerca de 3 dias quentes em cada década, entre 1973 e 2016. Segundo o método Météo-France (*p-value*: 0,04), para a mesma estação, verificou-se um aumento de cerca de 2 dias quentes por década. Em São Brás de Alportel, nenhum dos testes aplicado aos resultados de dias quentes de ambas as estações foi considerado estatisticamente significativo, no entanto, no método EHF, a inclinação de *Sen* revela uma evolução de cerca 1 dia quente por década (entre 1980 e 2013). Estes resultados vêm ao encontro do que tem sido demonstrado em vários

¹⁰ A hipótese de existência de tendência da série de dados testada (H_a) não é rejeitada quando o *p-value* é inferior a 0,05.

trabalhos, revelando um aumento da frequência das ondas de calor na Europa nas últimas décadas (Perkins et al., 2012; Steffen et al., 2014).

Em São Brás de Alportel, o método EHF evidencia que o ano de 1988 foi o que registou maior número de dias quentes (39 dias). No entanto, nos restantes métodos, o maior número de dias quentes registou-se em 1991 (HWDI – 3 dias; Météo-France – 25 dias).

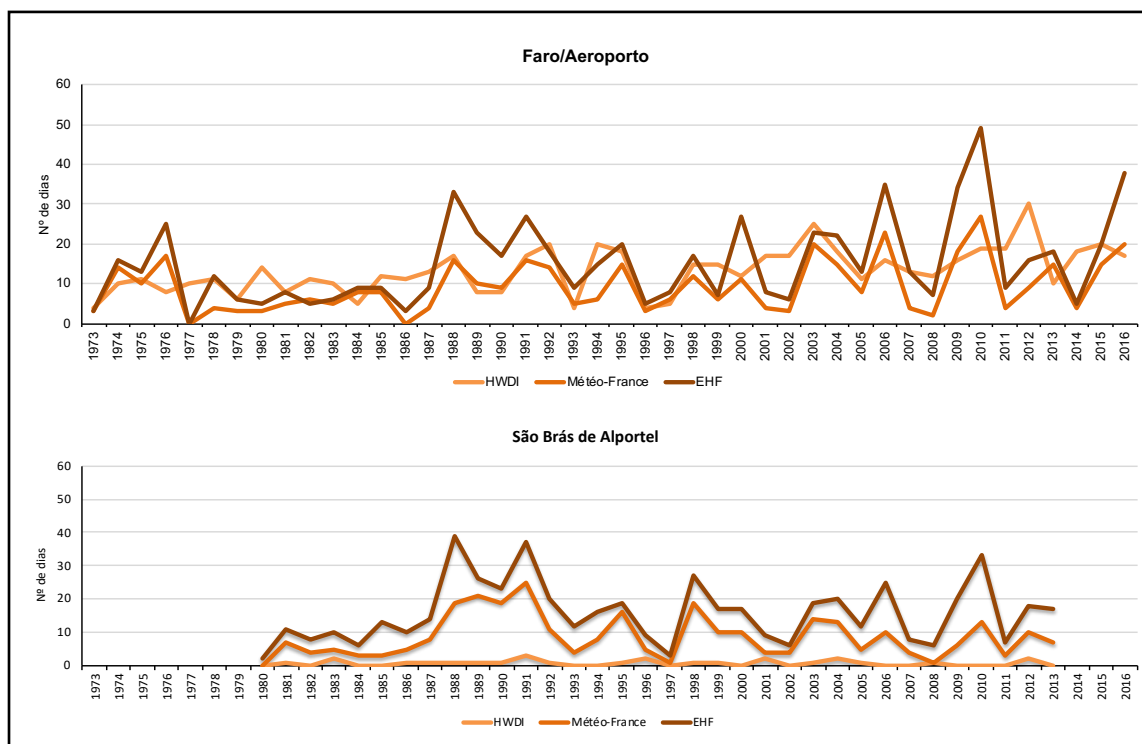


Figura 18 - Variação do número de dias quentes (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.

Os resultados obtidos com base no método EHF, para a estação Faro/Aeroporto, demonstram que foi entre 2006 – 2016 que se registaram mais ondas de calor (36 eventos), em oposição ao período 1973-1983, que apenas registou 17 ondas de calor. Já na estação de São Brás de Alportel, entre os anos de 2005 a 2016 foram identificadas 23 ondas de calor, número menor quando comparado com os anos de 1980 a 1992 e 1992 a 2004 (31 ondas de calor em cada um).

O método EHF regista, para a estação de Faro, no mínimo, uma onda de calor por ano, à exceção dos anos de 1977 e 2014 que não apresentam nenhuma onda de calor segundo este método. Os anos de 2010, 2015 e 2016 registam 6 ondas de calor cada

um. Segundo este mesmo método, em São Brás de Alportel, os anos de 1989 e 1998 registam 5 ondas de calor cada um (fig. 19).

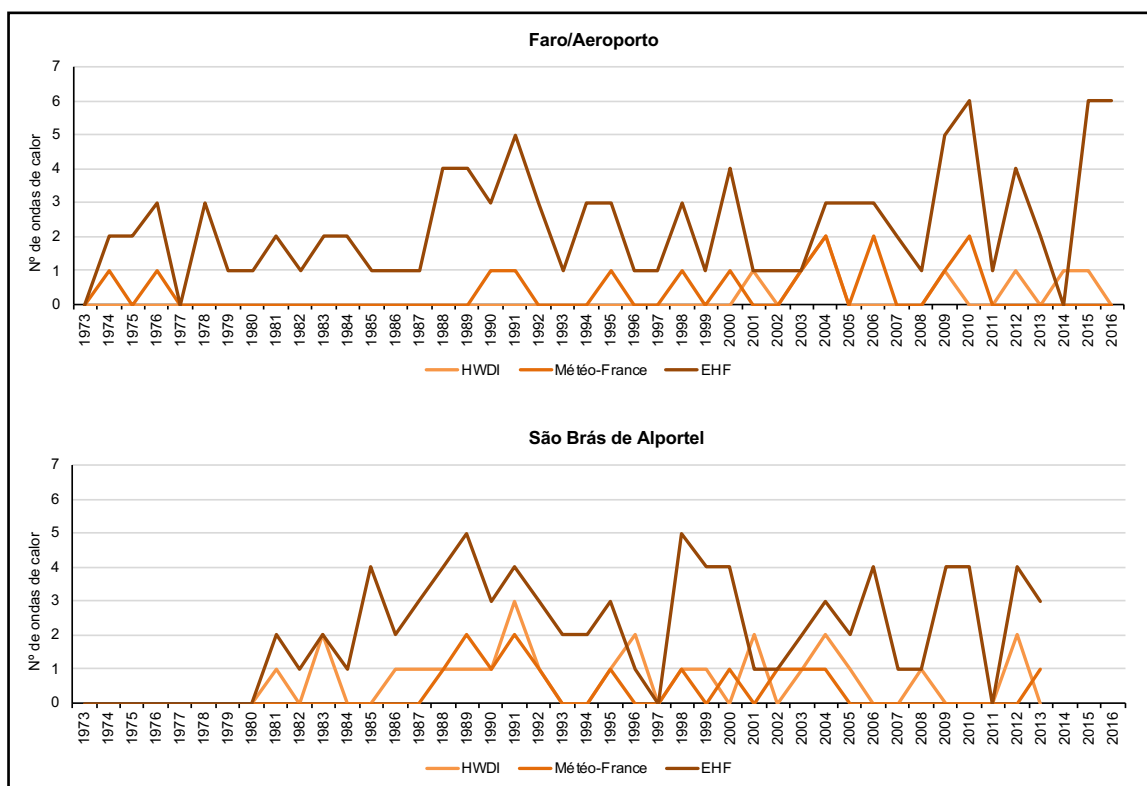


Figura 19 - Variação do número de ondas de calor (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.

Quanto ao número de dias em onda de calor (fig. 20), é possível verificar que, enquanto em Faro/Aeroporto se evidencia maior número de dias a partir dos anos 2000, em São Brás de Alportel existe maior registo de dias em onda de calor entre o final dos anos 80 e o final da década de 90, tendências estas que foram igualmente demonstradas nos parâmetros “número de dias quentes” e “número de ondas de calor”.

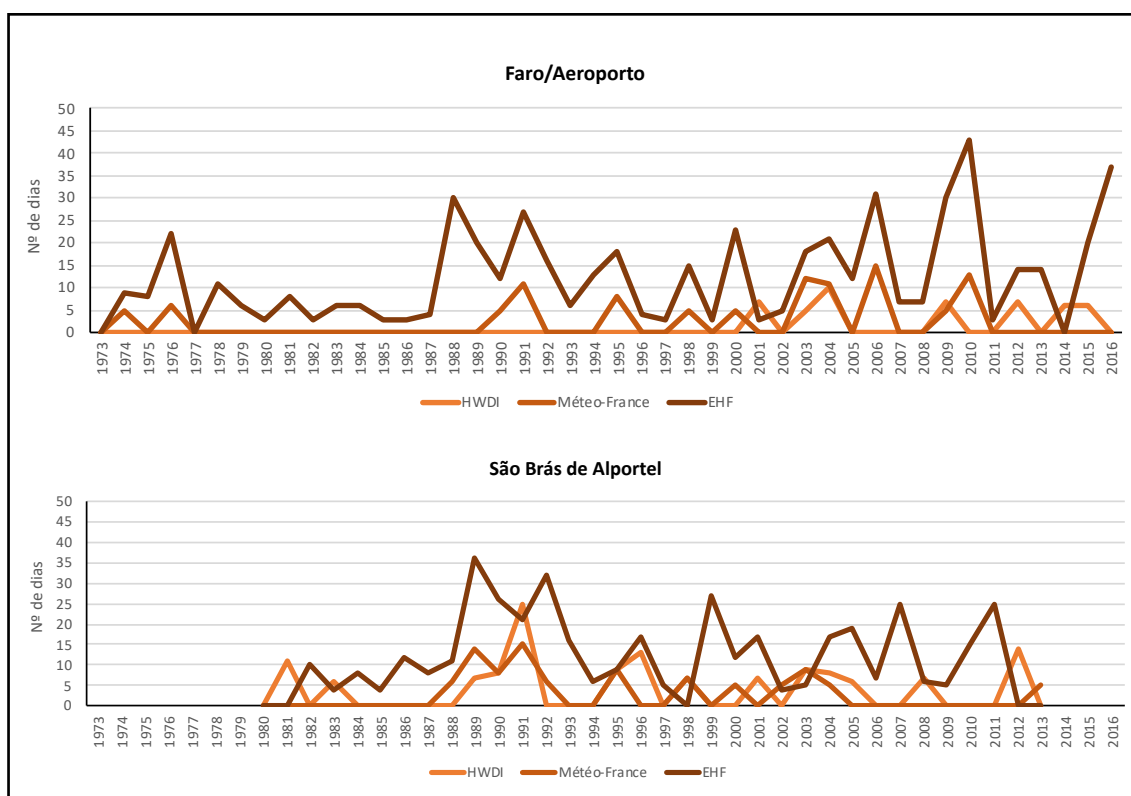


Figura 20 - Evolução do número de dias em onda de calor (Faro/Aeroporto:1973-2016/ São Brás de Alportel: 1980-2013), por método de identificação.

O teste de Mann-Kendall permitiu identificar quais as variáveis, em cada estação estudada, que apresentam uma possível tendência positiva. Como se verifica na tabela 9, à exceção do número de dias em onda de calor (HWF) e da duração da onda de calor mais longa (HWD) em Faro/Aeroporto, com base no método EHF, nenhuma das restantes correlações apresenta significância estatística (p -value inferior ao nível de significância a 0,05). Quanto ao número de dias em onda de calor (HWF) e à duração da onda de calor mais longa (HWD) de Faro/Aeroporto e com base no método EHF, verifica-se uma tendência positiva, com significância estatística, principalmente na correlação com a série temporal obtida no HWD.

Tabela 9 - P-valor relativo ao teste de Mann-Kendall, para um nível de confiança de 0,05. Para valores inferiores ao nível de confiança, considera-se a hipótese de existir uma tendência positiva na série em estudo. HWF – N° de dias em onda de calor; HW N – N° de ondas de calor; HWD – Duração da onda de calor mais longa (dias).

Estação/Método	Variável								
	HWF			HWN			HWD		
	<i>S</i>	<i>Var (S)</i>	<i>p-value</i>	<i>S</i>	<i>Var (S)</i>	<i>p-value</i>	<i>S</i>	<i>Var (S)</i>	<i>p-value</i>
Faro / Météo-France	67	5955	0,39	67	5877	0,39	38	9014	0,70
Faro / EHF	211	9689,7	0,03	186	9180,7	0,05	354	9562	3E⁻⁴
SBA / Météo-France	-12	3282	0,85	0	3166,7	1	-5	3278,3	0,94
SBA / EHF	24	4518,7	0,73	36	4336,7	0,60	59	4473	0,39

A inclinação de *Sen*, obtida através do mesmo teste estatístico, revela que o número de dias em onda de calor teve um incremento de cerca de 11 dias em 43 anos, ou seja, cerca de 2,5 dias por cada 10 anos. Já na duração da onda de calor mais longa, a inclinação de *Sen* desta variável revelou um incremento de cerca 2 dias em cada década, o que resulta num aumento de aproximadamente 7 dias na totalidade dos anos estudados.

Deste modo, foi nos anos 2000 que, na estação de Faro/Aeroporto, ocorreram mais eventos de onda de calor, e conseqüentemente, maior número de dias em onda de calor, sendo que nesta estação o teste de Mann-Kendall comprovou a existência de uma tendência no sentido de aumento tanto do número de dias em onda de calor como na duração das mesmas.

Em São Brás de Alportel não foi verificada qualquer tendência evolutiva, tendo sido registado maior número de ondas de calor entre 1985 e 2000, assim como maior o maior número de dias em onda de calor.

4.1.2. Incidência intra-anual das ondas de calor

A variação intra-anual em Faro/Aeroporto (fig.21) demonstra que os meses nos quais ocorrem maior número de ondas de calor são os meses de julho e agosto, isto segundo os critérios Météo-France e EHF, pois no HWDI é no mês de maio que se regista maior número de períodos de calor (4 períodos).

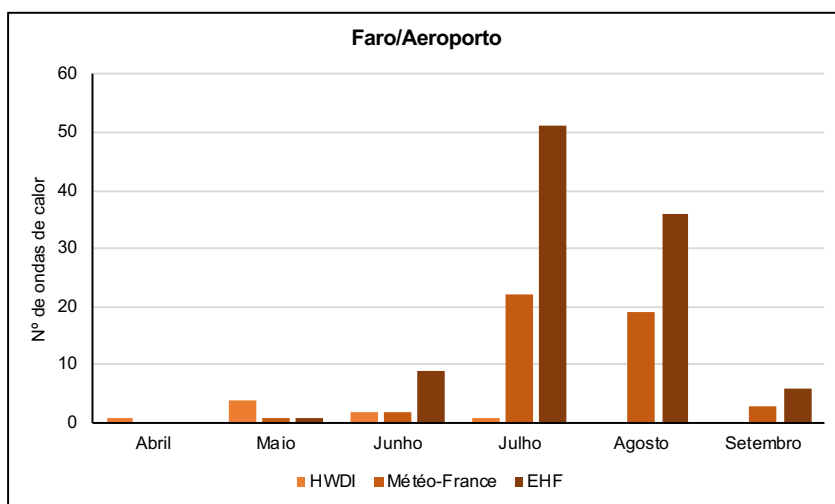


Figura 21 - Distribuição do número de ondas de calor registadas nos meses quentes (abril a setembro), de 1980 a 2013, segundo cada método em estudo, para a estação de Faro/Aeroporto.

Em São Brás de Alportel (fig.22), é possível verificar um padrão de distribuição de ocorrências semelhante ao de Faro/Aeroporto. Junho e agosto permanecem os meses nos quais ocorre maior número de ondas de calor, tendo sido registadas 6 ondas de calor nos meses de abril e maio, com base no método HWDI.

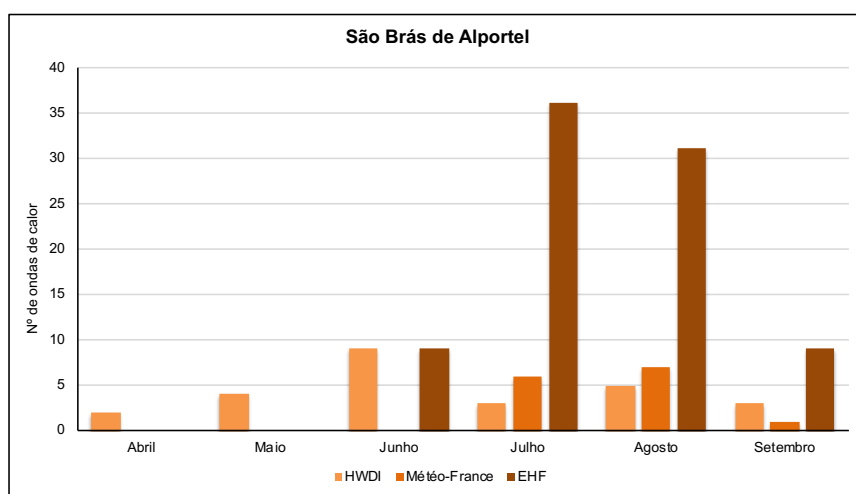


Figura 22 - Distribuição do número de ondas de calor registadas nos meses quentes (abril a setembro), de 1980 a 2013, segundo cada método em estudo, para a estação de São Brás de Alportel.

Tanto o método Météo-France como o método EHF permitiram identificar os meses de julho e agosto como os meses de maior perigosidade a nível mensal, uma vez que foi nestes meses que ocorrem com mais frequência os eventos de ondas de calor identificados.

Desta forma, na estação de Faro/Aeroporto, os meses de julho e agosto concentram entre si cerca de 87% das ondas de calor registadas segundo o critério Météo-France, e aproximadamente 85% dos períodos de calor com base no EHF.

Em São Brás de Alportel cerca de 50% das ondas de calor foram identificadas nestes meses, segundo o método Météo-France, e aproximadamente 42%, com base no EHF.

4.1.3. Intensidade e duração das ondas de calor

Como foi referido na secção 2.4., os métodos Météo-France e EHF permitem quantificar a intensidade de cada período de calor, de forma a relacionar este parâmetro com a respetiva duração e temperatura máxima verificadas em cada evento.

Segundo o critério Météo-France existem duas ondas de calor de maior intensidade: a onda de calor de 2004, na estação de Faro/Aeroporto (fig.23), e a onda de calor de 1991, em São Brás de Alportel (fig.24). Foi possível verificar que estas duas ondas de calor mais intensas não foram, contudo, as que atingiram maior alcance temporal, segundo o critério Météo-France.

É notório que, no caso da estação de Faro/Aeroporto, as ondas de calor mais intensas ocorreram a partir dos anos 2000, ao contrário da estação de São Brás de Alportel, em que as ondas de calor mais intensas registadas aconteceram na década de 90.

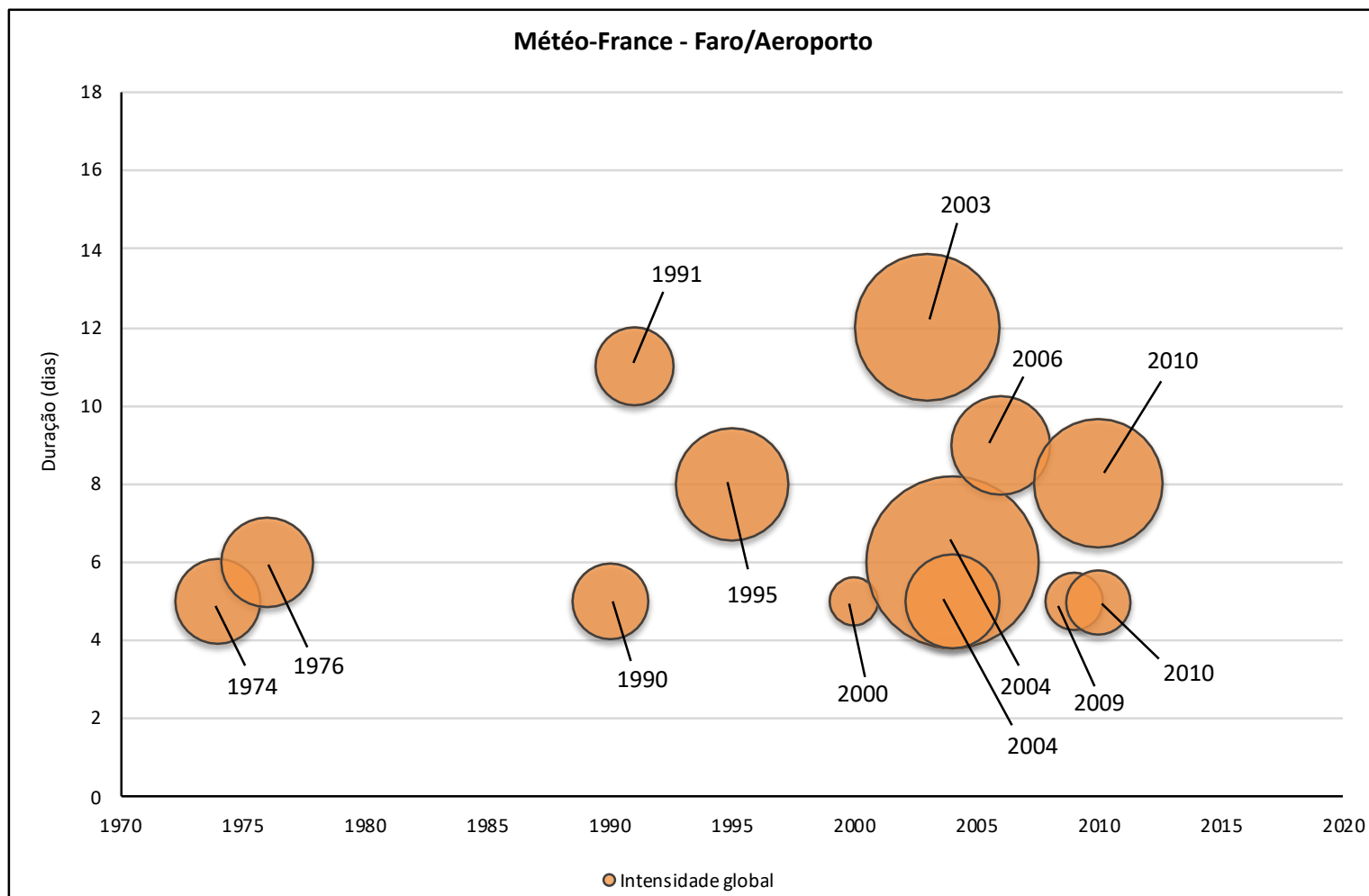


Figura 23 - Ondas de calor, segundo o método Météo-France, para a estação Faro/Aeroporto. Os círculos representam a intensidade global de cada evento, sendo que, quanto maior o seu diâmetro, maior a intensidade global registada.

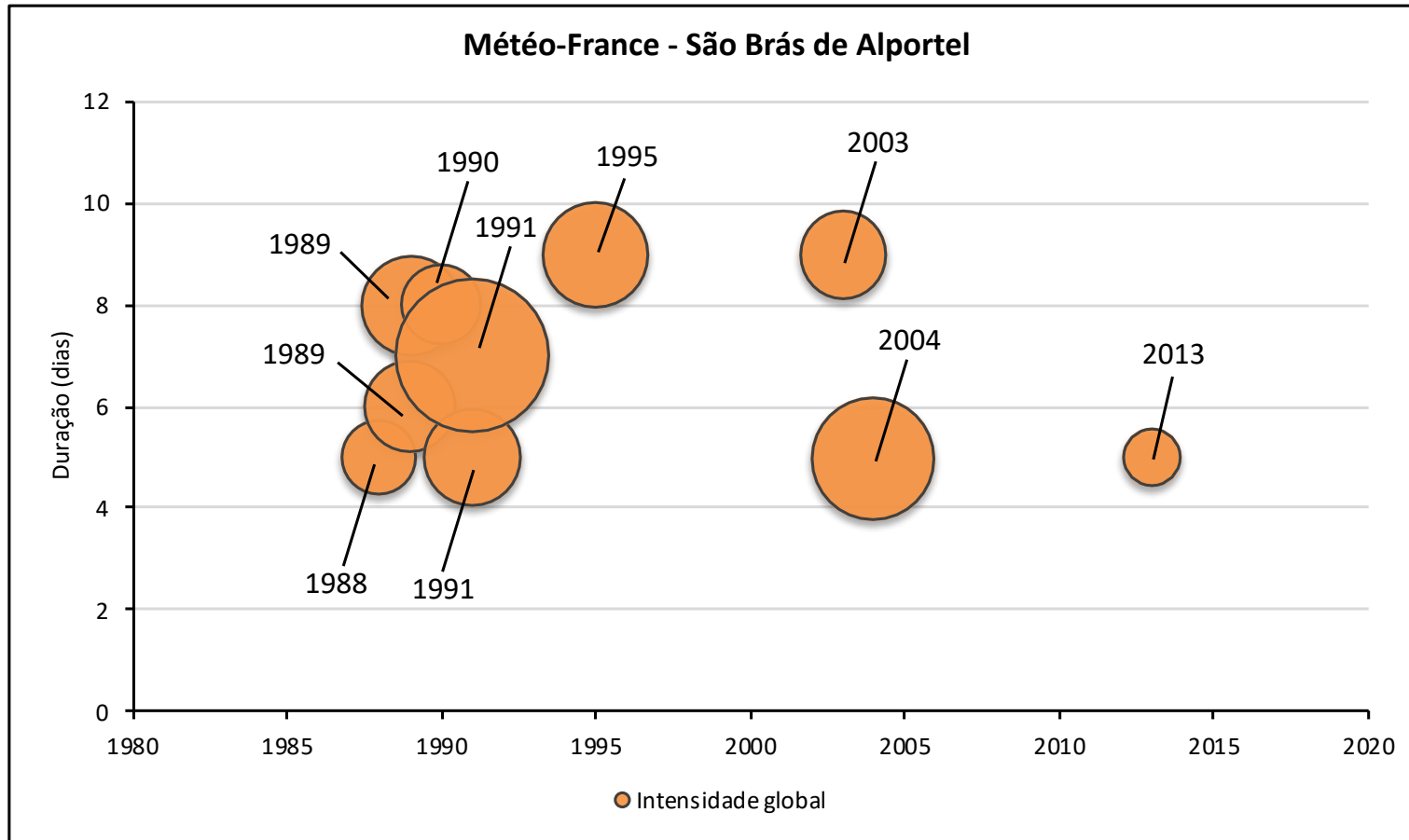


Figura 24 - Ondas de calor, segundo o método Météo-France, para a estação Faro/Aeroporto. Os círculos representam a intensidade global de cada evento, sendo que, quanto maior o seu diâmetro, maior a intensidade global registrada.

Segundo o método EHF, em ambas as estações existem 4 ondas de calor que se destacam pela sua *sobrecarga térmica acumulada* (fig.25 e 26): 1991 (9 a 19 de julho), 1995 (16 a 25 de julho), 2003 (30 de Julho a 16 de Agosto) e 2004 (23 a 29 de Julho). Ainda, na estação de Faro/Aeroporto destaca-se de igual forma a onda de calor de 12 a 16 de julho de 1988, e em São Brás de Alportel o período de 14 a 19 de julho de 1991.

Em Faro/Aeroporto (fig.25) a onda de calor de 2003 destaca-se pela sua duração (18 dias consecutivos), no entanto, não se revela a onda de calor mais intensa registada nesta estação, com uma *sobrecarga térmica acumulada* de 146, enquanto em 2004 se registou uma *sobrecarga térmica acumulada* de 266. Charpentier (2010) refere que uma das características da mortífera onda de calor de 2003 foi a sua duração, e não a sua intensidade; por exemplo, em Nîmes, França, ocorreram cerca de 30 dias com temperaturas superiores a 30°C.

Em Portugal estima-se que, na onda de calor de 2003, os óbitos observados superaram em 58% os óbitos esperados para aquela altura do ano. Apesar de ter sido um fenómeno que atingiu todo o território de Portugal Continental, foram estimados maiores impactos nos distritos do interior do país, em detrimento dos distritos junto ao Oceano Atlântico (Trigo et al., 2009), o que pode justificar o facto de, em Faro, não se ter atingido nesta onda de calor um maior valor de *sobrecarga térmica acumulada*.

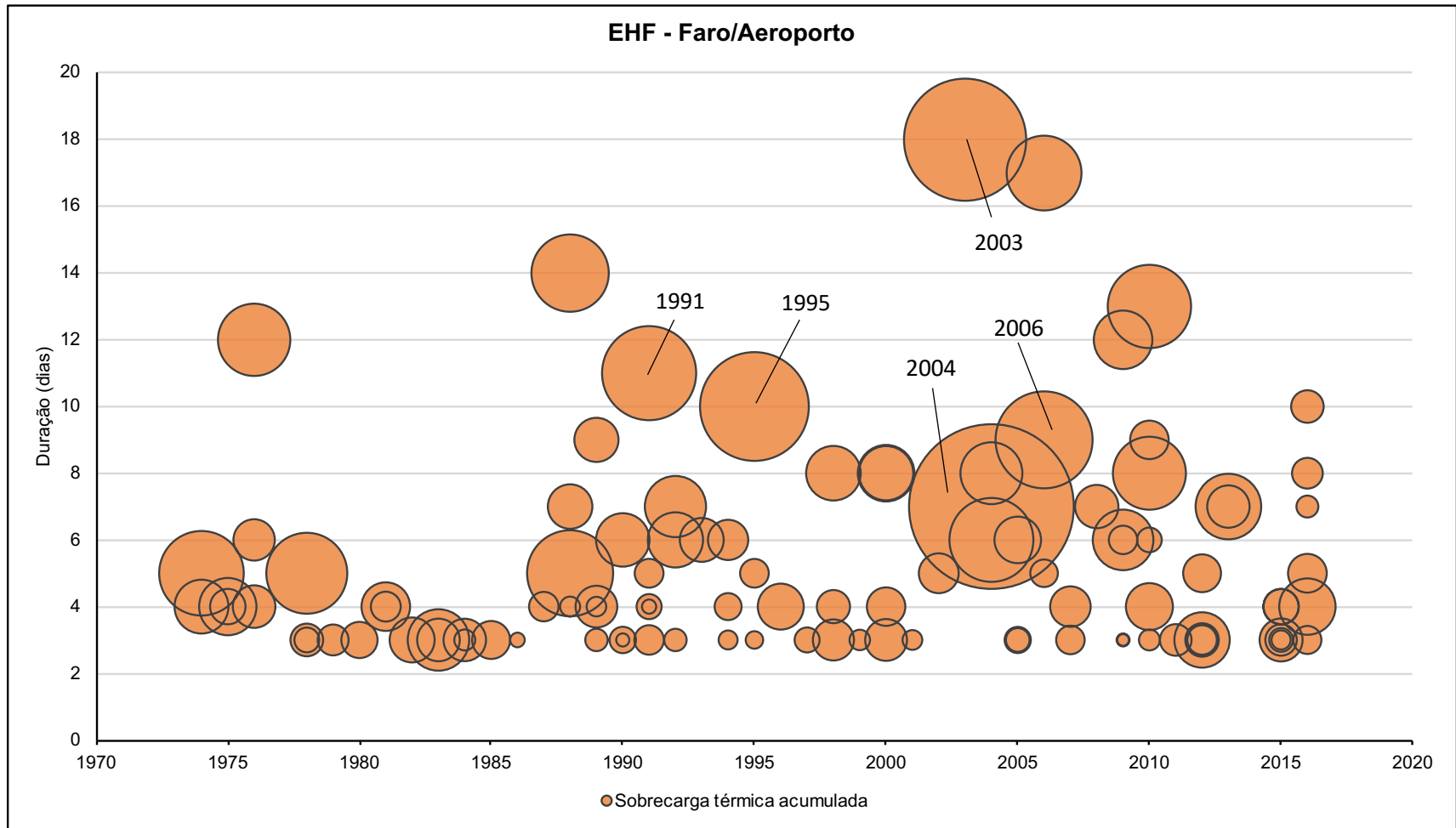


Figura 25 - Ondas de calor registadas na estação de Faro/Aeroporto, segundo o método EHF, caracterizadas segundo a sua duração e intensidade (sobrecarga térmica acumulada).

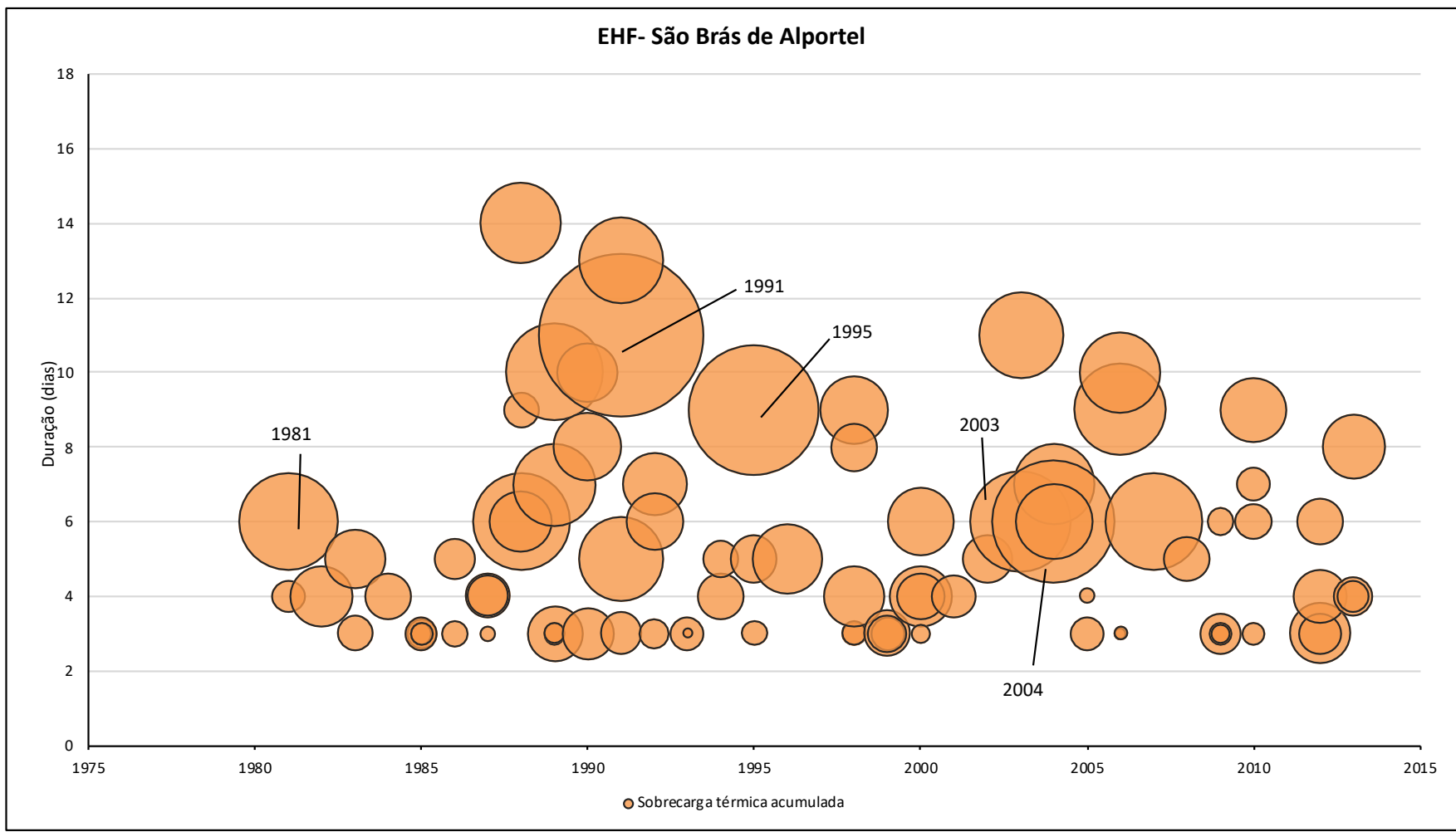


Figura 26 - Ondas de calor registadas na estação de São Brás de Alportel (SBA), segundo o método EHF, caracterizadas segundo a sua duração e intensidade (sobrecarga térmica acumulada).

Se considerarmos o limiar sugerido por Nairn & Fawcett (2015) para determinar uma onda de calor severa - valor de EHF três vezes superior ao percentil 85 dos valores de EHF positivos – os resultados obtidos apresentam algumas diferenças. No caso de Faro/Aeroporto as ondas de calor de 10 a 14 de julho de 1974, 23 a 27 de julho de 1978, 12 a 16 de julho de 1988 e 23 a 29 de julho de 2004 são consideradas severas. Já em São Brás de Alportel são definidas como severos os eventos de 12 a 21 de julho de 1991, 1 a 5 de agosto de 2003, 25 a 30 de 2004 e 29 de julho a 3 de agosto de 2007. Em ambas as estações há a concordância de que a onda de calor de 23 a 29 de julho de 2004 seja considerada severa no município de Faro.

Em forma de resumo, e com base na tabela 10, é notório que na estação de Faro/Aeroporto a onda de calor que evidenciou maior intensidade, em ambos os métodos utilizados, foi a ocorrida entre 22 e 29 de julho de 2004, com uma duração de cerca de 8 dias. Por outro lado, em São Brás de Alportel, a onda de calor que registou maior intensidade foi em julho de 1991 com uma duração de cerca de 11 dias (de 9 a 19 de julho).

Tabela 10 - Valores mais elevados de *intensidade global* e *sobrecarga térmica acumulada* das ondas de calor identificadas e os seus respetivos anos de ocorrência. As células a laranja correspondem aos valores mais elevados identificados em cada estação, para cada método. As células a cinzento são respetivas a ondas de calor, que apesar de terem sido identificadas nas respetivas estações, não estão entre as cinco ondas de calor mais intensas. As células a preto referem-se a ondas de calor que não foram identificadas naquelas estações.

Ano	Météo-France Intensidade Global		EHF Sobrecarga térmica acumulada	
	Faro/Aeroporto	São Brás de Alportel	Faro/Aeroporto	São Brás de Alportel
1981			23	125
1988		3,22	73	85
1991	3,6	14	87	344
1995	7	7	116	218
2003	12	4,72	146	133
2004	18	9	266	195

Comparando o inventário de ondas de calor na estação de Faro, segundo o método Météo-France e o EHF, é possível verificar que 100% das ondas de calor identificadas no primeiro critério correspondem a ondas de calor identificadas com base no segundo. No caso do HWDI, metade das 8 ondas de calor identificadas estão de acordo com os resultados obtidos segundo o EHF. No entanto, as restantes 4 ondas de calor que não foram identificadas segundo o método EHF, foram identificadas com base no HWDI, nos meses de abril e maio. O facto de o método HWDI se basear em limiares absolutos permite que sejam identificadas ondas de calor em todos os meses em estudo, nomeadamente em abril e maio.

Em São Brás de Alportel existem 6 ondas de calor que foram identificadas simultaneamente pelos três métodos em estudo, que, por sua vez, correspondem à maior parte das ondas de calor mais intensas, das quais se destaca o caso de 9 a 19 de julho de 1991. Comparando cada um dos métodos com o EHF, foram identificadas 8 ondas de calor segundo o método Météo-France em comum com o EHF. Já no HWDI, nos 24 períodos encontrados, metade correspondem a casos em simultâneo com o EHF. As 8 ondas de calor consideradas exclusivamente pelo HWDI ocorreram, na sua maioria, nos meses de abril e maio, tal como ocorreu na estação de Faro/Aeroporto.

O facto do método EHF requerer um mínimo de 3 dias consecutivos para ser considerado onda de calor torna-o muito mais abrangente que os restantes critérios em estudo, no entanto, é importante referir que este limiar de 3 dias está na verdade a considerar, no mínimo, 5 dias, ou seja, os 2 dias que antecedem o início da onda de calor, devido ao processo de acumulação da temperatura média de 3 dias em apenas um.

Desta forma o critério HWDI, atualmente utilizado em Portugal para a definição de ondas de calor, torna-se bastante limitativo quando comparado com os dois outros métodos em estudo. O facto de se basear em limiares absolutos e medir fenómenos com pelo menos 6 dias de duração tornam-no inaplicável na sua definição original (Perkins & Alexander, 2012). Posto isto, o HWDI não é um critério que tenha em conta os impactos do calor na saúde humana, mas sim a variabilidade climática (DGS, 2014),

levando à necessidade da existência de um outro sistema de vigilância e alerta que relacione a mortalidade com os possíveis efeitos do calor, tal como o Índice Alerta Ícaro.

Tanto o critério Météo-France como o EHF apresentam a mais-valia de quantificar a intensidade de um determinado período de onda de calor, parâmetro que relaciona a duração do fenómeno e as temperaturas atingidas durante o mesmo, obtendo-se resultados mais direcionados para os efeitos do calor na saúde humana. É também perceptível que nem sempre uma onda de calor mais duradoura é mais intensa em comparação a um fenómeno de menor duração.

4.2. Ondas de calor de maior intensidade: os casos de 1991 e 2004

Na análise efetuada no capítulo 4.1., foi possível identificar, em ambos os métodos, dois eventos que se destacaram não só pela sua duração, mas principalmente pela sua intensidade.

Assim, na estação de São Brás de Alportel, a onda de calor de 1991 destacou-se claramente pela sua intensidade, condição que se aliou a uma duração muito significativa, de cerca de 13 dias. Verificou-se, de igual forma, que o registo de 8 dias em que a temperatura máxima ultrapassou o limite dos 32°C (tabela 11).

Tabela 11 - Temperaturas médias, máximas e mínimas entre os 9 e 21 de julho de 1991 em São Brás de Alportel. Os valores a negrito representam as temperaturas que ultrapassam o limiar de 32°C.

Dia (julho de 1991)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
9	26,25	35,5	19,5
10	28,25	36	20
11	28	36,5	21
12	28,75	35	21
13	28	39	28
14	33,5	39,5	28
15	33,75	41	29,5
16	35,25	37	23,5
17	30,25	37,5	26
18	31,75	41,5	29
19	35,25	40	26,5
20	33,25	31	16,5
21	23,75	26,5	14

Paixão & Nogueira (2003) referem que entre os dias 12 e 21 de julho deste mesmo ano, o número de óbitos observados em Portugal Continental em cada um destes dias excedeu de forma significativa os óbitos esperados, estimando-se ter ocorrido um excesso de 1001,8 óbitos, o que corresponde a aproximadamente a mais 44,7% dos óbitos esperados. No mesmo estudo revelou-se que a população com idade mais avançada foi a mais afetada por esta onda de calor, e a principal causa de morte, com um excesso de óbitos de 292 óbitos, foram as doenças cerebrovasculares.

Em Faro/Aeroporto, a onda de calor ocorrida em 2004 revelou maior intensidade, em ambos os métodos utilizados. Esta foi uma onda de calor que afetou particularmente a região algarvia (Falcão et al., 2004), com duração de cerca de 7 dias, entre os dias 23 e 29 de julho. Foi também neste período que se atingiu o maior valor de temperatura máxima da série climatológica em estudo, 45°C, no dia 25 de julho de 2004, assim como ocorreram 6 dias consecutivos em que as temperaturas máximas ultrapassaram os 32°C (tabela 12).

Tabela 12 - Temperaturas médias, máximas e mínimas entre os 23 e 29 de julho de 2004. Os valores a negrito representam as temperaturas que ultrapassam o limiar de 32°C.

Dia (julho de 2004)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
23	28,9	35,0	23
24	32,8	39,0	26
25	36,4	45,0	26,9
26	36,1	41,7	28,6
27	30,6	37,6	26,3
28	27,5	32,4	21,6
29	25,7	31,9	20

Em termos de mortalidade, Falcão et al. (2004) referem que, entre os dias 27 de julho e 4 de agosto desse mesmo ano ocorreu um excesso de 37,4 óbitos em relação a períodos homólogos ocorridos nos anos 2000,2001 e 2003 (à exceção do período de ocorrência da onda de calor de 30 de julho a 15 de agosto de 2003). Desta forma, e com base nos dados de mortalidade recolhidos por Falcão et al. (2004), registados no período em estudo nas Conservatórias de Faro e Portimão, foi possível verificar a relação entre os valores de EHF e essa mesma mortalidade (fig.27).

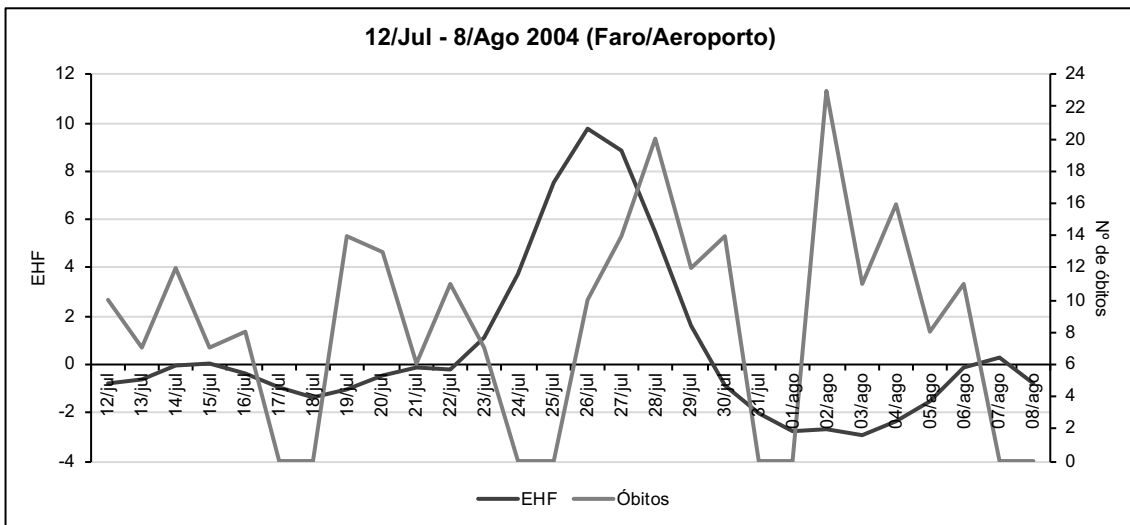


Figura 27 - Relação EHF/óbitos durante o período 12 de julho a 8 de agosto. Os dias sem óbitos referem-se aos dias de fim-de-semana, nos quais não foi possível registar qualquer óbito nas Conservatórias de Faro e Portimão. Fonte: dados de mortalidade – Conservatória de Faro e Portimão (2004).

Tal como é referido em Nogueira et al. (2013) a repercussão das temperaturas elevadas extremas na mortalidade ocorre de forma quase imediata, ocorrendo um atraso de 1 ou 2 dias entre a ocorrência de calor e esse mesmo aumento da mortalidade.

No caso da onda de calor de 2004, identificada na estação de Faro/Aeroporto, o aumento de EHF ocorre a partir do dia 23 de julho, atingindo o seu pico no dia 26 de julho. No entanto, o máximo de mortalidade, dentro do período identificado como onda de calor, ocorre dia 28 de julho (20 óbitos), ou seja, com um desfasamento de dois dias após o pico de EHF.

Capítulo 5 – Perigosidade e vulnerabilidade associadas a ondas de calor

Após a realização do inventário e da identificação de ondas históricas no município de Faro, torna-se relevante identificar áreas onde a perigosidade e vulnerabilidade a este fenómeno poderão ser mais elevadas.

A identificação de áreas com maior intensidade e duração nas condições de calor extremo verificadas em períodos de ondas de calor e relativamente às quais a população pode estar mais exposta poderá ser uma importante ferramenta de planeamento e gestão do território. Esse exercício poderá ser muito útil para verificar quais as áreas que merecem maior atenção aquando da ocorrência das ondas de calor devido às características evidenciadas.

5.1. Perigosidade: análise estatística e cartografia

A ocorrência de ondas de calor apresenta uma frequência de cerca de 2 a 3 eventos por ano, tendo em conta o registo histórico das mesmas, com base no método EHF. Em São Brás de Alportel a frequência revela-se ligeiramente maior, com uma mediana de aproximadamente 3 ocorrências, quando comparada com Faro/Aeroporto, onde é mais frequente ocorrerem 2 ondas de calor por ano. Numa primeira abordagem, é no norte do concelho que a perigosidade a ondas de calor se revela mais elevada.

A cartografia da perigosidade a ondas de calor no município de Faro foi efetuada com base nos valores de mediana da sobrecarga térmica acumulada de todas as ondas de calor identificadas tanto na estação de Faro/Aeroporto como em São Brás de Alportel.

De uma forma geral, o município de Faro apresenta maior perigosidade à medida que nos dirigimos para o norte do concelho (figura 28), ou seja, é mais frequente ocorrerem ondas de calor mais intensas nessa mesma região, quando comparado com o sudoeste, no qual existe menor perigosidade à ocorrência de ondas de calor.

À medida que nos afastamos da influência litoral e seguimos para o interior do município, aumenta a intensidade das ondas de calor e também a sua frequência.

Contudo, existem dois aspetos que podem prejudicar a obtenção de melhores resultados de perigosidade.

O facto de apenas serem contempladas duas estações meteorológicas que apresentam dados suficientes para a análise das ondas de calor históricas no município dificulta a espacialização da perigosidade, causando dificuldades em obter resultados mais pormenorizados.

Apesar de ambas as estações apresentarem dados suficientes para o estudo de ondas de calor históricas, está em falta na estação de São Brás de Alportel a década de 70, o que poderia introduzir algumas mudanças nos resultados obtidos.

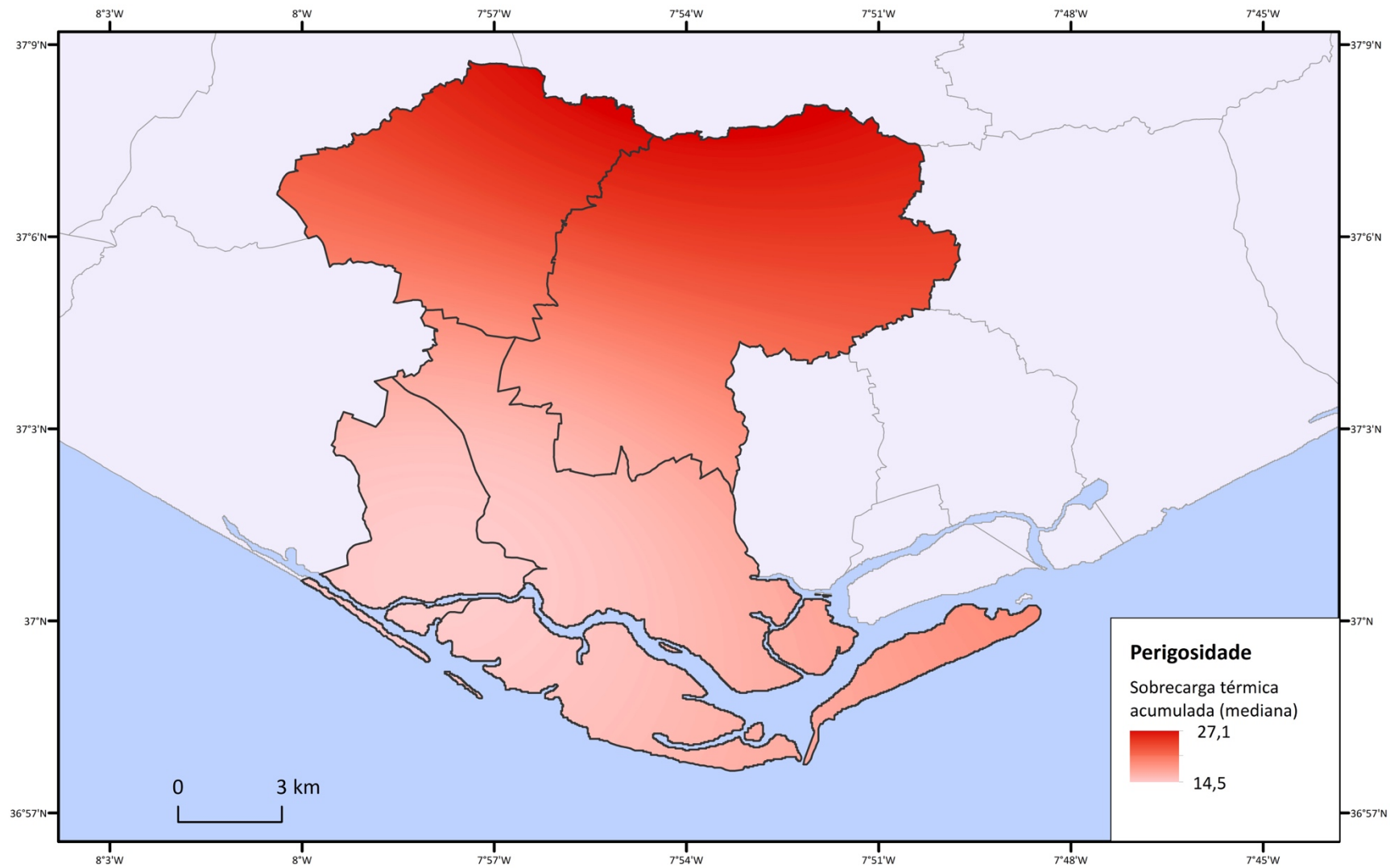


Figura 28 - Perigosidade a ondas de calor no município de Faro.

5.2. Vulnerabilidade a Ondas de Calor

A cartografia do Índice Cumulativo de Vulnerabilidade (fig. 29) permitiu verificar a vulnerabilidade apresentada pelas freguesias do concelho de Faro aquando da ocorrência de ondas de calor, tendo em conta as suas características sociodemográficas.

Deste modo, as freguesias que apresentam maior vulnerabilidade a ondas de calor são a União de Freguesias de Conceição e Estoi e a União de Freguesias de Faro (Sé e São Pedro).

A União de Freguesias de Faro apresenta-se como a mais populosa, na qual se concentravam, à data dos censos de 2011, 60% das famílias unipessoais e 72% das famílias que não apresentam ar condicionado nas suas habitações, contribuindo para uma maior exposição da população aos efeitos adversos do calor.

No caso da União de Freguesias de Conceição e Estoi, a vulnerabilidade elevada pode justificar-se com o facto de aqui existir a maior proporção de população residente com 65 anos ou mais, ou seja, há um forte contributo da idade dos residentes da freguesia para o aumento da vulnerabilidade. Como foi descrito anteriormente, o aumento da idade incrementa de igual forma a sensibilidade dos indivíduos aos efeitos do calor, que, em conjunto com outros fatores físicos e socioeconómicos, resultam numa maior vulnerabilidade.

A União de Freguesias de Conceição e Estoi não é considerada a mais envelhecida do concelho, mas sim Santa Bárbara de Nexe, que apresenta uma vulnerabilidade moderada a ondas de calor. Contudo, esta freguesia é também a menos populosa do município, o que pode contribuir para uma menor vulnerabilidade, quando comparada com as anteriormente referidas.

A freguesia de Montenegro apresenta características sociodemográficas que lhe atribuem uma vulnerabilidade mais reduzida, nomeadamente a existência de uma população jovem e ativa superior às das restantes freguesias.

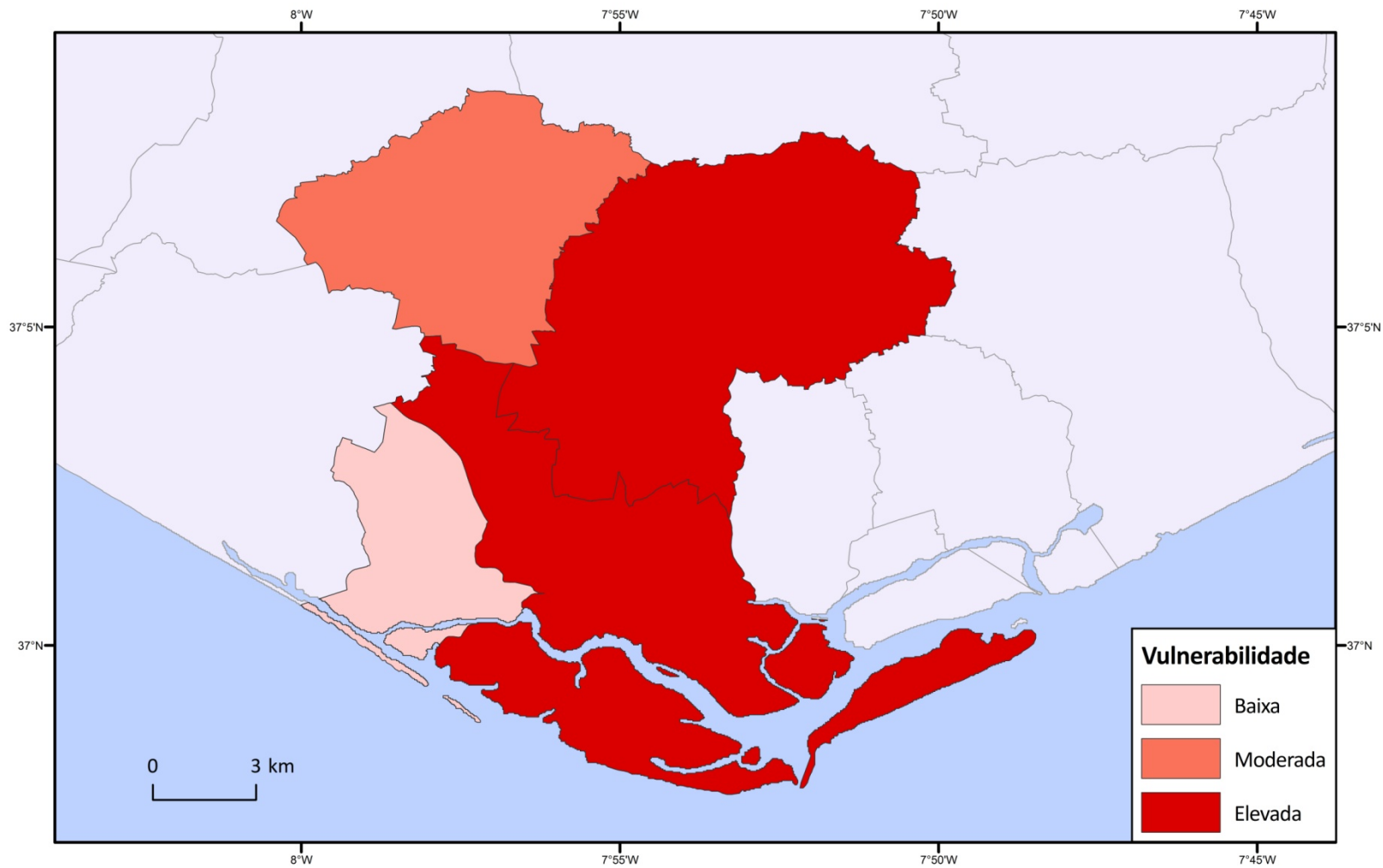


Figura 29 - Vulnerabilidade a ondas de calor no município de Faro.

Capítulo 6 – Episódios de transporte e intrusão de poeiras no Algarve

O presente capítulo debruça-se na avaliação do inventário de eventos de má qualidade do ar com origem natural, ou seja, de poeiras provenientes do norte de África, com o propósito de analisar a possível relação entre estes dois fatores responsáveis por condições biometeorológicas adversas na área de estudo.

No entanto, e como foi referido na secção 3.5, os dados referentes à qualidade do ar não apresentam, na sua maioria, qualidade suficiente para efeitos de uma análise mais pormenorizada, tal como foi efetuado para os dados meteorológicos.

6.1. Inventário segundo os relatórios da Agência Portuguesa do Ambiente

A análise dos Relatórios de Identificação e Avaliação de Eventos Naturais permite verificar a frequência de intrusões de poeiras saarianas que chegam ao nosso país, mais particularmente à região algarvia, na qual incide este estudo. O transporte das partículas em questão é mais intenso em determinadas épocas do ano, estando na origem dos eventos diversas situações (Ferreira & Marques, 2016). No caso dos meses em estudo (abril a setembro), Ferreira & Marques (2016) referem que as condições meteorológicas predominantes para a ocorrência de eventos secos podem dividir-se em dois conjuntos de meses: abril a junho, ocorre a movimentação de partículas do Sahel para o Sahara, havendo influência de uma Depressão a SW de Portugal e dos Anticiclones no Mediterrâneo e no Norte de África; de julho a agosto, verifica-se o transporte de partículas do Sahara, de uma forma intensa, associada à presença de Anticiclones no Mediterrâneo e Norte de África.

Deste modo, a análise dos relatórios permitiu identificar 134 eventos que foram detetados nas estações de qualidade do ar existentes na região algarvia. Dos eventos identificados, 17 ocorreram no ano de 2007 (fig.30 A). Já em termos mensais, verifica-se que existe um aumento progressivo de intrusões de poeiras até ao mês julho, diminuindo a partir desse mesmo mês (fig.30 B).

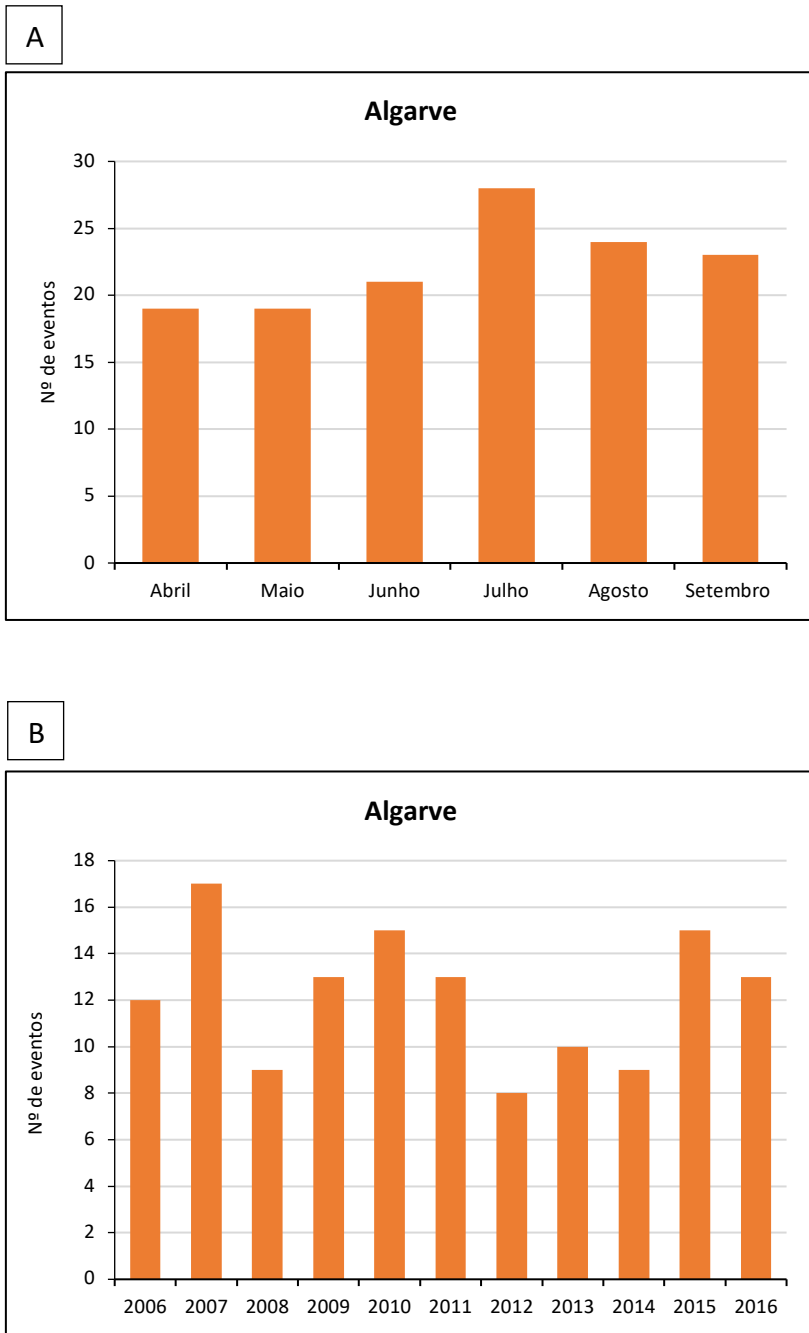


Figura 30 - A: Frequência de intrusões de poeiras registadas nas estações de qualidade do ar da região algarvia, por ano. B: Frequência mensal de intrusões de poeiras no Algarve.
 Fonte: adaptado de Relatórios de Identificação e Avaliação dos Eventos Naturais em Portugal.

6.2. Eventos de má qualidade do ar por excedência de partículas

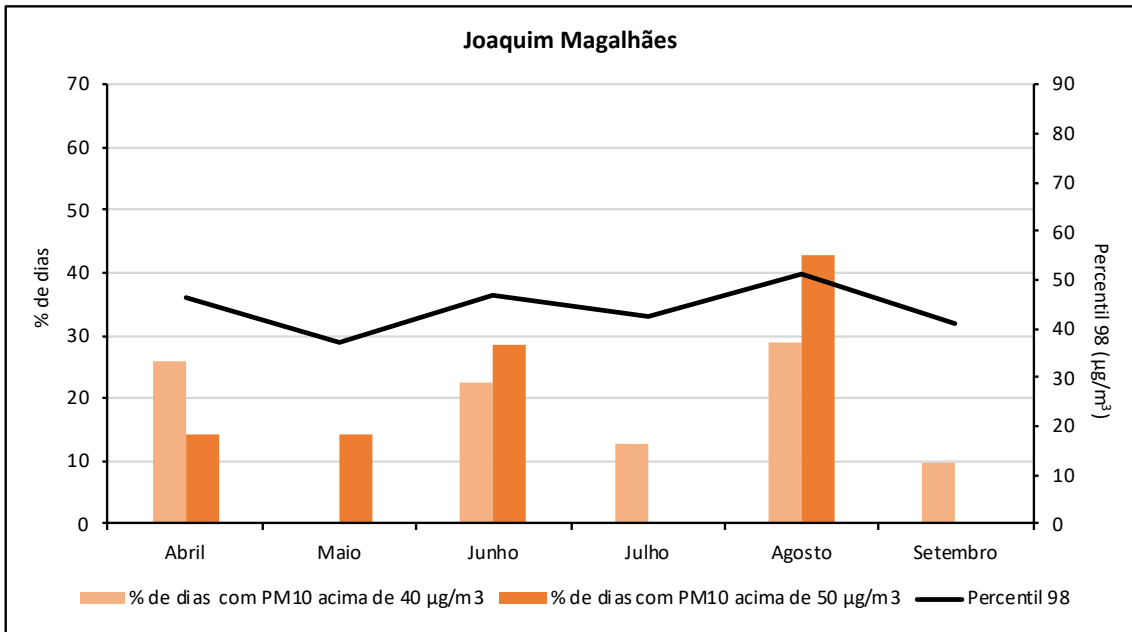
inaláveis

Foi avaliada a frequência de dias que apresentam uma concentração superior a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e também do número de dias que ultrapassam o limite legal de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para os anos de 2011 até 2016, para ambas as estações em estudo. O percentil 98 é um indicador de valores extremos, que corresponde a uma frequência de excedência em 2% dos casos (Lopes, 2015).

Na estação Joaquim Magalhães (fig. 31 A), ocorreram 31 dias que excederam os $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 7 dias que superaram o valor legal de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O mês de agosto registra a maior frequência de dias (9 dias não consecutivos) com concentração de PM_{10} acima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e também do valor legal diário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 dias não consecutivos). De igual forma, é este o mês que supera o percentil 98 ($51,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em relação a excedências do valor legal, ocorrendo nos dias 20 de agosto de 2011 ($58,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), e entre 29 e 30 de agosto de 2015 ($54,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $71,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

Quanto à estação do Cerro (fig. 31 B), é em abril que se verifica o maior número de dias que ultrapassam o limite legal diário de concentração de poeiras (8 dias não consecutivos). Nesta estação destaca-se o período de 5 a 10 de abril de 2015, no qual ocorreu uma excedência de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 5 dias quase consecutivos. Nos meses de maio e setembro, não se registaram quaisquer dias com valores de PM_{10} superiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nesta estação não ocorreu nenhum mês a ultrapassar o percentil 98, o que revela menor ocorrência de valores extremos de PM_{10} , o que pode ser justificado por esta ser uma estação rural de fundo.

A



B

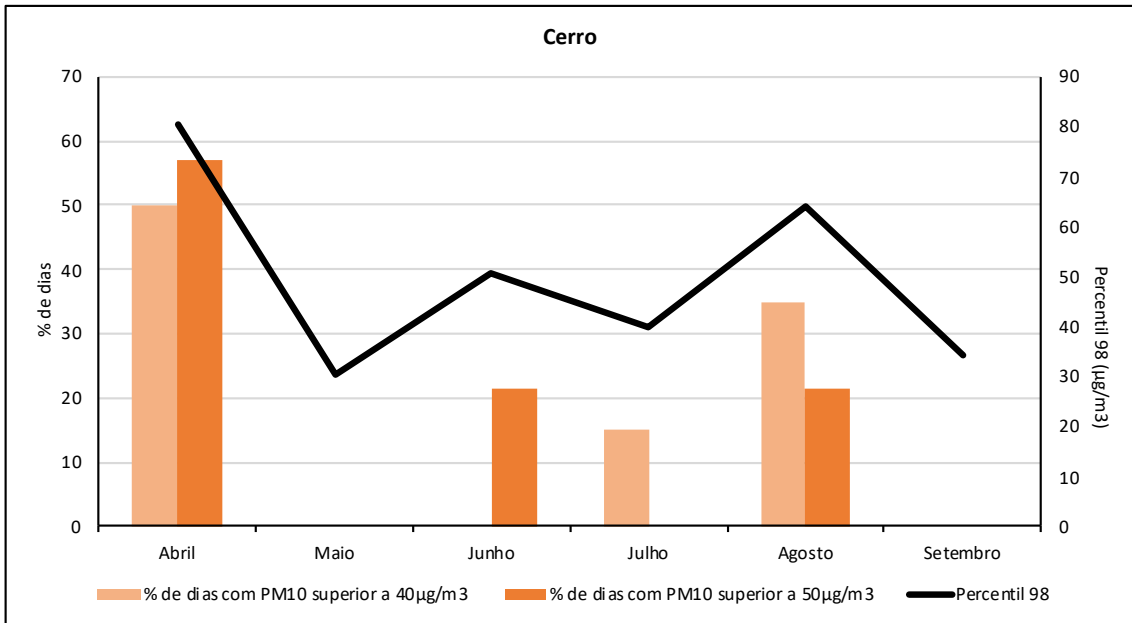


Figura 31 - A: Repartição (%) por meses dos casos de excedência que ultrapassam o limiar de 40 µg/m³ e de 50 µg/m³, na estação de Joaquim Magalhães. B: Repartição (%) por meses dos casos de excedência que ultrapassam o limiar de 40 µg/m³ e de 50 µg/m³, na estação do Cerro. O percentil 98 de PM₁₀ é relativo a cada um dos meses em estudo, em cada uma das estações referidas.

A evolução do percentil 98 de PM₁₀ ao longo dos meses quentes está grosseiramente relacionada com a da evolução temperatura média máxima ao longo do semestre quente (período 2011 a 2016), sendo que no mês de agosto, no qual se regista a temperatura média máxima mais elevada o valor de percentil 98 de PM₁₀ é igualmente elevado. No entanto verifica-se uma exceção, no mês de abril, ambas as estações evidenciam a ocorrência de um evento mais extremo, ocorrido entre os dias 5 e 10 de abril de 2015, designadamente na estação do Cerro, que regista um percentil 98 de cerca de 80,4 µg/m³ (fig. 32 A e B).

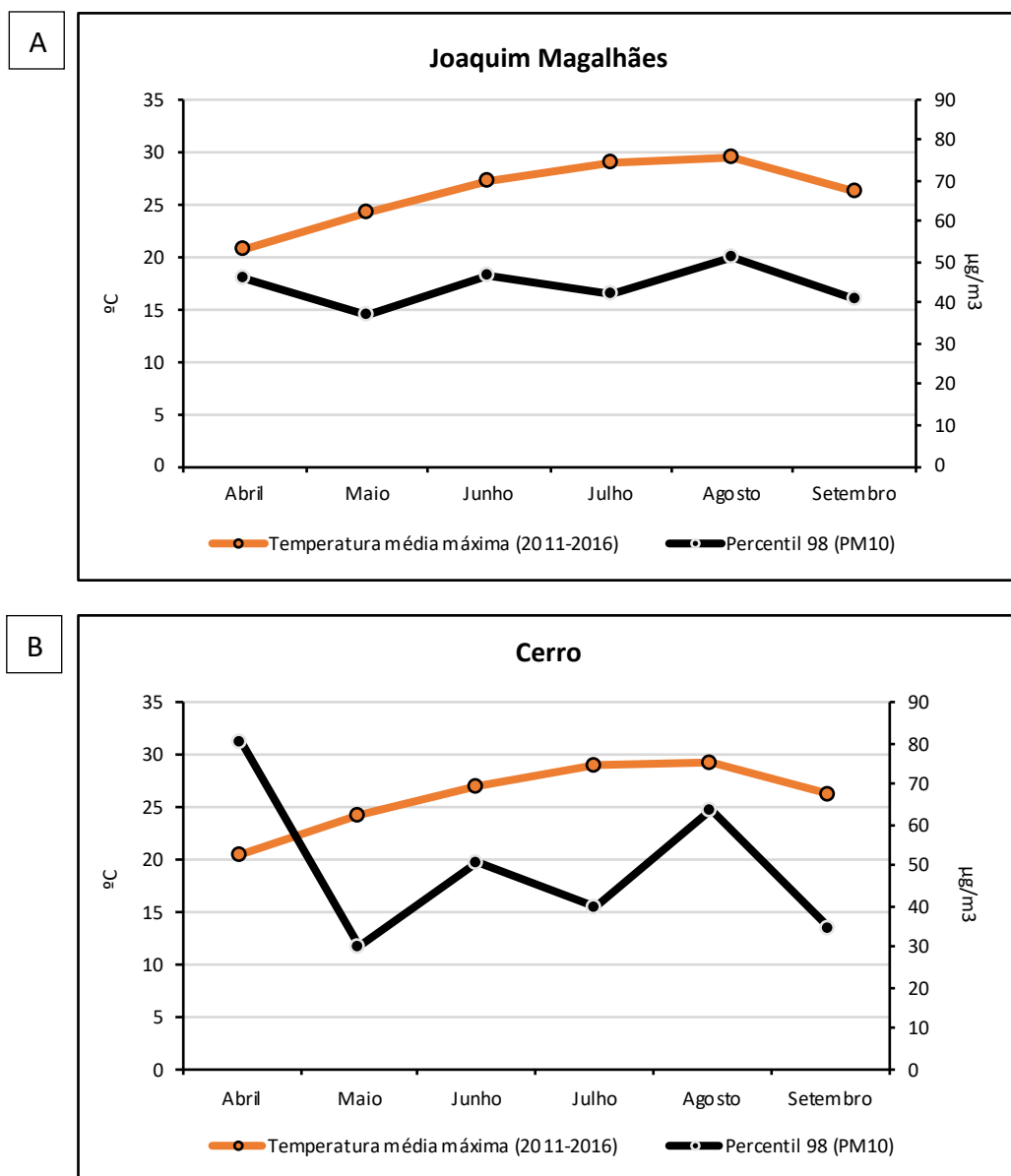


Figura 32 - Relação entre temperatura média máxima de 2011 a 2016 e o percentil 98 da série de dados de PM₁₀. A: relação para a estação Joaquim Magalhães. B: relação para a estação do Cerro.

6.3. Relação entre episódios de má qualidade do ar e ondas de calor

A avaliação da relação entre as ondas de calor e os episódios de má qualidade do ar só foi possível de ser efetuada entre 2006 até 2016, nos quais estão disponibilizados os relatórios de identificação de eventos de poeiras já referidos. Assim, apenas as ondas de calor identificadas a partir de 2006 foram analisadas neste capítulo. Tendo em conta que foram identificados 134 eventos de má qualidade do ar, verificou-se que apenas 33% dos mesmos ocorreram de forma simultânea com ondas de calor.

Particularmente, em cada método, verificou-se que no HDWI foram identificadas 5 ondas de calor que ocorreram em simultâneo com emissões de poeiras, correspondendo a 4% dos eventos de má qualidade do ar, enquanto o critério Météo-France permitiu identificar 6 ondas de calor em simultâneo com os eventos de má qualidade do ar, o que corresponde a aproximadamente 5%. No caso do método EHF, ocorreram 33 ocorrências simultâneas dos fenómenos em estudo, o que equivale a cerca de 25% dos eventos de má qualidade do ar identificados, sendo esta metodologia que permitiu encontrar maior percentagem de correspondências entre a ocorrências de ondas de calor e eventos de má qualidade do ar, o que era expectável por ser a metodologia que permitiu identificar maior número de ondas de calor.

Em ambas as estações e nos três critérios, é nos meses de julho e agosto que as correspondências ocorrem em maior número.

Em 10 dos 134 eventos de emissão de poeiras ocorridos foram verificados dias em que sucedeu excedência dos limites legais de PM_{10} ($50 \mu m/m^3$).

Em termos diários, apenas três dias com excedência ocorreram em simultâneo com ondas de calor (fig. 33). Apenas houve 1 dia em que se registou a ultrapassagem do valor legal, no entanto, num evento ocorrido entre 26 e 31 de maio de 2006, foram identificados 4 dias consecutivos de excedência dos limites legais do poluente, registados na estação de Joaquim Magalhães. Nesta data não ocorreu qualquer onda de calor.

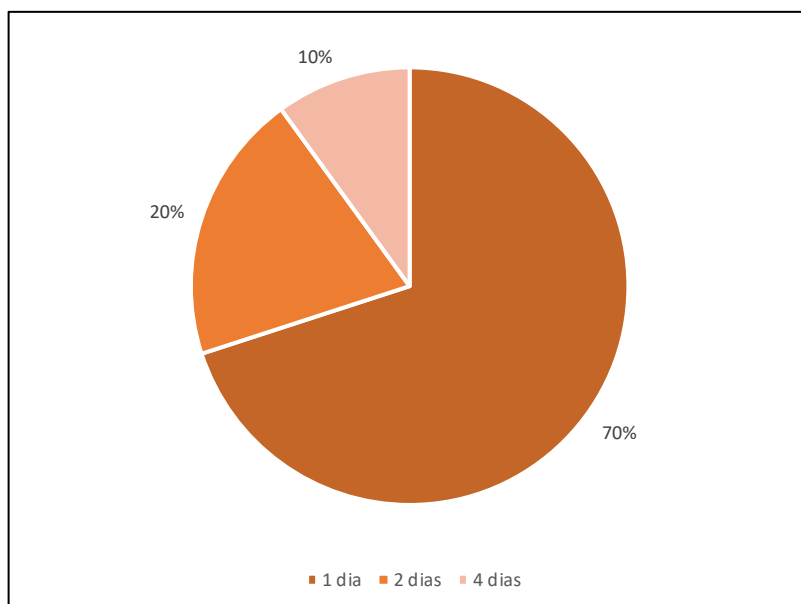


Figura 33 - Percentagem de dias que excedem o valor legal de PM₁₀, aquando da ocorrência de um evento de emissão de poeiras conjugado com uma onda de calor. Fonte: adaptado de Relatórios de Identificação e Avaliação dos Eventos Naturais em Portugal (2011-2016).

Conclusão

Um dos principais objetivos da presente dissertação passava pela inventariação de ondas de calor com base em três distintos métodos: HWDI, Météo-France e EHF.

De uma forma geral, o método EHF foi o que permitiu a deteção, para ambas as estações em estudo, maior número de ondas de calor. Neste método uma onda de calor é definida pelo conjunto de dias que apresentem EHF positivo, requerendo no mínimo 3 dias consecutivos. Segundo este método, em Faro/Aeroporto foram identificadas 103 ondas de calor e em São Brás de Alportel registaram-se 85 ondas de calor. No entanto, a discrepância do número de ondas de calor entre as duas estações meteorológicas deve-se, em larga medida, ao facto da série de dados meteorológicos de São Brás de Alportel contemplar os anos de 1980 a 2013 (devido às lacunas apresentadas a partir de 2013), enquanto Faro/Aeroporto apresenta uma série de dados meteorológicos para os anos de 1973 até 2016.

Quando falamos em cada estação de forma particular, as ondas de calor históricas da estação de Faro/Aeroporto ocorreram principalmente a partir dos anos 2000, destacando-se os eventos de 30 de julho a 16 de agosto de 2003 e 23 a 29 de julho de 2004. Ainda, na década de 90, foi possível verificar uma onda de calor que atingiu maior intensidade, ocorrida entre 16 e 25 de julho de 1995. Nesta estação, a onda de calor de 2004 referida, que teve uma duração de 8 dias, foi o evento que atingiu maior intensidade tanto segundo o método Météo-France (intensidade global: 17,5) como pelo EHF (*sobrecarga térmica acumulada*: 265,8), estando documentada na bibliografia como uma onda de calor que apresentou impactes na mortalidade, no concelho de Faro. É exclusivamente nesta estação (Faro) que o teste de Mann-Kendall revela uma tendência de aumento tanto do número de dias em onda de calor como da duração da onda de calor mais duradoura.

Já em São Brás de Alportel, as ondas de calor com maior expressão em termos de intensidade ocorreram essencialmente entre a década de 80 e a década de 90, destacando-se os eventos de 11 a 21 de julho de 1991 e 19 a 27 de julho de 1995, e ainda a onda de calor de 25 a 29 de julho de 2004. Aqui é o evento de 1991 que se destaca das restantes ondas de calor identificadas, com uma intensidade global de 14,2

e uma *sobrecarga térmica acumulada* registada de 344,4, tendo durado cerca de 11 dias. Esta foi, neste estudo, a onda de calor identificada que registou maior intensidade.

Em ambas as estações, existe um claro destaque para uma maior frequência de eventos nos meses de julho e agosto, principalmente no primeiro, pois a maioria dos eventos mais intensos observados ocorreram exatamente nesse mês. Contudo, o método HWDI remete-nos para alguns eventos ocorridos nos meses de abril e maio, possivelmente por se basear em limiares absolutos, no caso português, as normais climatológicas de 1971-2000.

O processo de inventariação remete-nos para um outro objetivo, que é a comparação dos três métodos em estudo. O HWDI é o método atualmente aceite em Portugal para considerar um evento de onda de calor. Desta forma, foi comparado com dois outros critérios, o Météo-France e o EHF que, conceptualmente, são bastante diferentes em relação ao HWDI.

O HWDI revelou ser, ao longo deste estudo, um critério muito limitativo, o que é notório pelo número de ondas de calor identificadas mais reduzido em comparação aos restantes métodos, no caso da estação Faro/Aeroporto. A sua característica relacionada com o requisito mínimo de 6 dias para ser considerada uma onda de calor torna-o bastante restritivo, pois ondas de calor menos duradouras podem de igual forma apresentar maior intensidade e, conseqüentemente, possíveis maiores conseqüências na morbidade e mortalidade da população.

Quanto ao método Météo-France, a possibilidade de se quantificar a intensidade das ondas de calor identificadas apresenta-se como uma vantagem deste método, no entanto, requiere um mínimo de 5 dias consecutivos acima do limiar *Sdeb* (percentil 97,5 das temperaturas médias diárias), tornando-se, de forma idêntica ao critério HWDI, relativamente restritivo neste aspeto.

Comparativamente, o EHF revelou-se um método mais adequado à detecção de situações extremas de calor, tomando em conta os impactos potenciais das temperaturas elevadas na saúde humana, tendo merecido maior atenção e destaque nesta dissertação. Com um requisito mínimo de 3 dias consecutivos com EHF positivo para ser considerada uma onda de calor, torna-se mais abrangente e menos restrito que

os restantes métodos em estudo, que, lembre-se, tem em conta a temperatura acumulada até 2 dias antes à onda de calor identificada, podendo, igualmente, identificar eventos de baixa intensidade. A vantagem de se poder quantificar a intensidade de um evento é também uma das suas características, pois demonstrou-se que eventos menos duradores podem apresentar maior intensidade que os mais longos. Identificadas as ondas de calor históricas do município de Faro, foi possível efetuar a cartografia de perigosidade e vulnerabilidade a este fenómeno.

A perigosidade a ondas de calor mostrou-se mais elevada no norte do concelho, o que se poderá justificar com o relativo afastamento ao oceano e uma maior influência da continentalidade. De uma forma geral, e com base no método EHF, existe uma frequência de 2 a 3 ondas de calor por ano no concelho de Faro. No entanto, a frequência de eventos considerados extremos é bastante reduzida, pois, foi demonstrado, em ambas as estações apenas 4 ondas de calor (em cada uma das mesmas) foram consideradas severas. Relembre-se que para a ocorrência de uma onda de calor considerada extrema, segundo o método EHF, é necessário que o valor de EHF seja três vezes superior ao percentil 85 de todos os valores de EHF positivos.

No entanto, o estudo da perigosidade comportou algumas limitações, uma vez que o mesmo assentou numa certa escassez de dados de observação (apenas duas estações meteorológicas com séries climatológicas longas), a que se juntou a desigual duração das séries meteorológicas disponíveis, aspetos que limitaram o alcance e consistência estatística dos resultados obtidos.

Quando olhamos para a vulnerabilidade da população à ocorrência de ondas de calor, verifica-se que a União de Freguesias de Faro (Sé e São Pedro) e a União de Freguesias de Conceição e Estoi são as que requerem maior atenção devido à sua estrutura demográfica e socioeconómica. Na primeira freguesia, a vulnerabilidade mais elevada deve-se, por um lado, ao facto de se apresentar como a freguesia mais populosa do concelho, e por outro, evidencia uma população menos preparada para os efeitos do calor, existindo aqui maior número de famílias que vivem sem ar condicionado nas suas casas. A falta de climatização dos espaços interiores traduz-se assim num fator importante para o aumento da exposição a este tipo de fenómenos. Na segunda freguesia, a vulnerabilidade elevada justifica-se com a maior concentração de população idosa do

concelho de Faro, pois é aqui que se encontra grande parte da população acima dos 65 anos, ou seja, estamos perante uma freguesia envelhecida, e consequentemente, uma freguesia cujos habitantes vão apresentar maior sensibilidade a ondas de calor.

Também no estudo da vulnerabilidade surgiram algumas limitações, nomeadamente na obtenção dos indicadores necessários para a realização do Índice Cumulativo de Vulnerabilidade à escala temporal diária, pelo que o estudo da vulnerabilidade foi efetuado com base em dados anuais. No entanto, o mais indicado seria efetuar o índice com base em dados diários referentes a uma onda de calor ocorrida no município e que tenha apresentado maiores repercussões na mortalidade e morbidade da população.

Como foi evidenciado ao longo de toda a dissertação, foi dado maior foco à identificação e avaliação das ondas de calor históricas ocorridas no município, em detrimento do estudo dos eventos de má qualidade do ar, ligados a fenómenos de dispersão de poeiras. Justifica-se este facto pelo reduzido número de dados disponíveis na base de dados de qualidade do ar e ainda ao não cumprimento do valor de eficiência legalmente exigido, ou seja, a qualidade dos dados apresentados é reduzida.

Deste modo, e através da análise dos Relatórios de Identificação e Avaliação de Eventos Naturais, foram identificados 134 eventos de dispersão de poeiras, entre 2006 e 2016, detetados nas estações de qualidade do ar existentes na região do Algarve, cuja ocorrência aumenta progressivamente até ao mês de julho, a partir do qual começa a diminuir a sua frequência.

Nessas mesmas estações, Joaquim Magalhães (estação urbana de fundo) e Cerco (estação rural de fundo), foi possível analisar os valores diários de PM_{10} , para os anos de 2011 até 2016, os quais apresentam um valor de eficiência aceitável.

Na estação de Joaquim Magalhães foram identificados 7 dias que superaram o valor legal de $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$, com o mês de agosto a registar mais dias de excedência legalmente aceite (3 dias não consecutivos) e a ultrapassar nestes mesmos dias o percentil 98 de $51,1 \mu\text{m}/\text{m}^3$, sendo eles: 20 de agosto de 2011 ($58,2 \mu\text{m}/\text{m}^3$), 29 e 30 de agosto de 2015 ($54,6 \mu\text{m}/\text{m}^3$ e $71,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$, respetivamente).

No Cerro, a sua localização em área rural pode ter promovido a não ultrapassagem do percentil 98 em nenhum dos meses em estudo, contudo, nesta estação, foi registado

um período de dias em que a excedência do valor legal de PM₁₀ foi largamente ultrapassada, entre 5 e 10 de abril de 2015. No entanto, nos referidos relatórios não foi identificado qualquer evento de intrusão de poeiras no período indicado.

Estudadas as excedências de PM₁₀, seria de igual forma importante acrescentar, neste estudo, as excedências dos valores legais do ozono, poluente cujas concentrações estão fortemente relacionadas com ondas de calor. No entanto, e devido ao principal foco residir nos eventos de dispersão de poeiras, foi dada primazia ao estudo das PM₁₀. Contudo, existe na relação entre as ondas de calor identificadas e o ozono um interessante objeto de estudo futuro.

Identificados os eventos de dispersão de poeiras provenientes do norte de África e também o conjunto de dias que evidenciaram excedência dos valores legais do poluente, foi possível passar para a concretização de um outro objetivo: verificar se existiu ou não ocorrência simultânea entre as duas condições biometeorológicas adversas em estudo.

Tendo em conta todos os métodos de identificação de ondas de calor em estudo, na estação meteorológica de Faro/Aeroporto sucederam cerca de 64% de ocorrências simultâneas dos dois fenómenos em estudo, enquanto que em São Brás de Alportel verificou-se que 48% das ondas de calor foram simultâneas com eventos de má qualidade do ar. Em ambas as estações e considerando os três métodos, é nos meses de julho e agosto que ocorrem grande parte das ocorrências simultâneas dos fenómenos em estudo.

Na primeira estação referida, foi o método EHF que permitiu identificar maior número de ocorrências simultâneas (81% dos casos). Já na segunda, foi o HWDI que identificou 75% das ondas de calor como simultâneas a eventos de má qualidade do ar.

Deste modo, é necessário um maior aprofundamento e estudo das condições atmosféricas que podem proporcionar a ocorrência dos dois fenómenos em simultâneo, logo podendo combinar-se os efeitos potencialmente gravosos de ambos, assim como se afigura muito importante prosseguir com a investigação dos efeitos dos eventos extremos de calor e dos episódios de má qualidade do ar na saúde e na mortalidade.

Bibliografia

Ahrens, C. (2000) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Thomson Learning. Canada.

Ahrens, C. (2011) *Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere*. Sixth edition. Brooks/Cole, Cengage Learning.

Alcoforado, M.J. (1991) Influência do tempo no desencadeamento de crises de dispneia em doentes respiratórios. *Finisterra*. Vol. XXVI. Nº51. pp.105-116.

Alcoforado, M.J. (1992) *O clima da região de Lisboa*. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

Alexandersson, H. (1986) A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*. Vol. 6. pp. 661-675.

Alexandersson, H., Moberg, A. (1997) Homogenization of swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*. Vol.17. pp. 25-34.

Almeida, M. (2012) *Fundamentação teórica para a criação de um sistema de alerta e resposta online durante episódios térmicos de calor extremo para uma unidade de saúde da GAMP*. Dissertação de Mestrado em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras. Universidade do Porto.

Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, Thomas., Wieringa, J. (2003) *Guidance on metadata and homogenization*. WCDMP 53, WMO-TD 1186. World Meteorological Organization.

Anderson, J., Thundiyil, J., Stolbach, A. (2012) Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J. Med. Toxicol.* Nº8. pp. 166-175.

Andrade, H. (1994) *Poluição atmosférica e clima de Lisboa. Aspectos da variação espacial e temporal no semestre de inverno*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa.

Andrade, H. (1996) A qualidade do ar em Lisboa. Valores médios e situações extremas. *Finisterra*. Vol. 31. pp. 43-66.

Andrade, H. (1998) O desconforto térmico estival em Lisboa. Uma abordagem bioclimática. *Finisterra*, XXXIII, 66, p: 41-58.

Andrade, H. (2003) *Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa*. Tese de Doutoramento em Geografia Física. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa.

Andrade, H., Nogueira, H., Canário, P. (2012) Utilização da análise multi-níveis para avaliação da vulnerabilidade da população da AML ao calor. *Cadernos de Geografia*. Nº30/31. pp. 261-267.

ASHRAE (2005) *ASHRAE Handbook. Fundamentals*. I-P Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Barbieri, L., Correia, M., Aragão, M., Vilar, R., Moura, M. (2017) Impact of Climate Variations and Land Use Change: a Mann-Kendall Application. *Revista Geama*. Vol.3. pp. 127-135.

Blaikie, P., Cannon, T., David, I., Wisner, B. (1994) *At Risk: Natural Hazards, People Vulnerability and Disasters*. 2nd edition. Routledge

Blišnák, V., Valente, M., Bethke, J. (2015) Homogenization of time series from Portugal and its former colonies for the period from the late 19th to the early 21st century. *Internacional Journal of Climatology*. Nº35. pp. 2400-2418.

Borrego, C. (2010) A política ambiental de Portugal no espaço europeu: atitudes e desafios. In *Europa: Novas Fronteiras Portugal: 25 anos de integração europeia*. Centro de Informação Europeia Jacques Delors. pp. 177- 182.

Bouchama, A., Knochel, J. (2002) Heat stroke. *New England Journal of Medicine*. Vol. 346. p: 1978-1988.

Buishand, T. (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*. Vol. 58. pp. 11-27.

Calado, R., Nogueira, P., Catarino, J., Paixão, E., Botelho, J., Carreira, M., Falcão, J. (2004) A onda de calor de agosto de 2003 e os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. Vol. 22. pp. 7-20.

Charpentier, A. (2010) *On the return period of the 2003 heat wave*. Cahier de recherche. École Polytechnique. Department of Economics & Université Rennes.

Costa, J., Alexandre, A. (2008) Carta social do concelho de Faro. Conselho Local de Acção Social.

Costa, A., Soares, A. (2009) Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. *Math Geosci.* Nº41. pp.291-305.

Cruz, A. (2012) *Atração da classe criativa e recursos primários no turismo do Algarve.* Dissertação de Doutoramento em Turismo. Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL).

Cunha, L. (2012) Riscos climáticos no Centro de Portugal. Uma leitura geográfica. *Revista Geonorte.* Vol.4. pp.105-115.

Cutter, S., Boruff, B., Shirley, W. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly.* Vol. 84. pp. 242-261.

Decreto Lei no 102/2010 de 23 de setembro do Ministério do Ambiente e do Ornamento do Território. Diário da República: I série, Nº 186 (2010). Disponível em www.dre.pt.

DGS (2014) *Plano de contingência para temperaturas extremas adversas. Módulo calor 2014.* Divisão de Saúde Ambiental e Ocupacional. Direção de Serviços de Prevenção da Doença e Promoção da Saúde.

Duchiade, M. (1992) Poluição do ar e doenças respiratórias. *Cadernos de Saúde Pública.* Vol.8. pp. 311-330.

Falcão, J., Paixão, E., Nogueira, P., Nunes, B. (2004) *A onda de calor de julho de 2004: efeitos sobre a mortalidade na região do Algarve.* Estimativas preliminares. Instituto de Saúde Dr. Ricardo Jorge. Lisboa.

Faria, T. (2016) *Poluição do ar por partículas em Portugal: Gestão da Qualidade do Ar ambiente, das emissões de poluentes para a atmosfera e da exposição ocupacional.* Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa.

Ferreira, D. (2005) *O ambiente climático.* in Geografia de Portugal 1. O ambiente físico. Círculo de Leitores. Lisboa.

Ferreira, F., Marques, F. (2007) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2006*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2008) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2007*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2009) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2008*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2010) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2009*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2011) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2010*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2012) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2011*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2013) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2012*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2014) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2013*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2015) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2014*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2016) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2015*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, F., Marques, F. (2017) *Identificação e avaliação de eventos naturais no ano de 2016*. Relatório. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ferreira, J. (2007) *Relação qualidade do ar e exposição humana a poluentes atmosféricos*. Dissertação de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.

Fragoso, M. (2004) *O contexto atmosférico dos episódios de precipitações intensas no Sul de Portugal*. Relatório nº39. Centro de Estudos Geográficos.

Goudie, A. (2014) Desert dust and human health disorders. *Environment International*. № 63. pp. 101-113.

Haines, A., Kovats, R., Campbell-Lendrum, D., Corvalan, C. (2006) Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. *Public Health*. №120. pp. 585-596.

Hamed, K., Rao, R. (1998) A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. pp. 192-196.

Höppe, P. (1999) The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* №43. pp. 71-75.

IPCC (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Kendall, M. (1975) *Rank correlation methods*. Charles Griffin, London

Kinney, P., O'Neill, M., Bell, M., Schwartz, J. (2008) Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities. *Environmental Science & Policy*. Vol.11. pp.87-96.

Koppe, C., Kovats, S., Jendritcky, Menne, B. (2004) *Heat-waves: risks and responses. Health and global environment change*. Series, nº2. World Health Organization.

Kovats, R., Hajat, S. (2008) Heat stress and public health: a critical review. *The Annual Review of Public Health*. Vol.29. pp. 41-55.

Latha, K., Highwood, E. (2006) Studies on particulate matter (PM10) and its precursors over urban environment of Reading, UK. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. Vol. 101. pp. 367-379.

Li, M., Gu, S., Peng, B., Yang, J., Qiyong, L. (2015) Heat waves and morbidity: current knowledge and further direction – A comprehensive literature review. *Environmental Research and Public Health*. Vol. 12. pp. 5256-5283.

Lopes, S. (2015) *Clima e ordenamento do território no Funchal*. Dissertação de Doutoramento em Geografia. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.

Marques, J., Antunes, S. (2009) A perigosidade natural da temperatura do ar em Portugal Continental: a avaliação do risco na mortalidade. *Territorium*. Vol. 16. pp.49-61.

Marto, N. (2005) Ondas de calor. Impacto sobre a saúde. *Acta Med Port*. pp. 467-474.

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. (1999) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol*. Nº 43. pp. 46-84.

Matzarakis, A., Amelung, B. (2008) Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. In: Thomson M.C., Garcia-Herrera R., Beniston M. (eds) *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. Advances in Global Change Research*, vol 30. Springer, Dordrecht.

McGregor, G., Bessemoulin, P., Ebi, K., Menne, B. (2015) *Heatwaves and health: guidance on warning-system development*. World Meteorological Organization and World Health Organization. No.1142.

Meehl, G., Tebaldi, C. (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*. Vol. 305. pp. 994-997.

Moço, S. (2014) *O (Des)conforto térmico no Verão em Portugal Continental e a Perceção populacional para as alterações climáticas - comportamentos adotados aquando de vagas de calor*. Dissertação de Doutoramento em Geografia. Departamento de Ciências Sociais e de Gestão. Universidade Aberta de Lisboa.

Morozova, A., Mironova, I. (2015) Aerosols over continental Portugal (1978–1993): their sources and an impact on the regional climate. *Atmos. Chem. Phys*. Nº 15. pp. 6407-6418.

Nairn, J., Fawcett, R., Ray, D. (2009) *Defining and predicting excessive heat events, a National system*. Bureau of Meteorology. pp. 83-86

Nairn, J., Fawcett, R. (2015) The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity. *Environment Research and Public Health*. Vol.12. pp. 227-253.

Von Neumann, J. (1941) Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *The Annals of Mathematical Statistics*. Vol.13. pp. 367-395.

Nikolopoulou, M., Baker, N., Steemers, K. (1999) *Thermal comfort in urban spaces: different forms of adaptation*. REBUILD Internacional Conference: The Cities of Tomorrow. Barcelona.

Nicolau, R., Machado, A. (2010) *Avaliação do Impacte da Poluição Atmosférica na Saúde: Uma aplicação aos concelhos de Matosinhos, Maia, Valongo e Lisboa*. Relatório técnico. Departamento de Epidemiologia do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge.

Nogueira PJ et al. (1999). Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice Ícaro [A heat-wave surveillance and warning system based on the effects on mortality: the ÍCARO index]. *Revista Nacional de Saúde Pública*, volume temático 1:79–84.

Nogueira, P., Paixão, E., Morais, L. (2013) Temperatura do ar de Lisboa e Portugal (por distritos) Distribuições semanais e geográficas: modelos para a previsão e monitorização dos impactos das ondas de calor na mortalidade humana. *Revista da Direção – Geral da Saúde*. Nº 1. p. 8 – 17.

Ott, W. (1982) Concepts of human exposure to air pollution. *Environmental Internacional*. pp. 179-196.

Ouzeau, G., Soubeyroux, J., Schneider, M., Vautard, R., Planton, S. (2016) Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services*. Vol. 4. pp. 1-12.

Paixão, E., Nogueira, P. (2003) Efeitos de uma onda de calor na mortalidade. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. Vol. 21. pp. 41-54.

Perkins, S., Alexander, L., Nairn, J. (2012) Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters* Vol.39.

Perkins, S., Alexander, L. (2013) *On the measurement of heat waves*. Centre of Excellence for Climate System Science, Climate Change Research Centre, The University of New South Wales, Sydney, Australia.

Perkins, S. (2015) A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Research*. pp. 242-267.

Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. (2001) *Report on the activities of the working group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs*. World Meteorological Organisation Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071.

Pope, A., Burnett, R., Thun, M., Calle, E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *American Medical Association*. Vol. 287. Nº 9. pp. 1132-1141.

Pyrgou, A., Hadjinicolaou, P., Santamouris, M. (2018) Enhanced near-surface ozone under heatwave conditions in a Mediterranean Island. *Scientific Reports*. Nº8. pp. 1-10.

Reid, C., O'Neill, M., Gronlund, C., Brines, S., Brown, D., Diez-Roux, A., Schwartz, J. (2009) Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability. *Environ Health Perspect*. Vol. 117(11). pp. 1730–1736.

Silva, E., Ribeiro, H., Santana, P. (2014) Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. *Revista Bibliográfica de Geografia Y Ciencias Sociales*. Vol. XIX. Nº 1092. pp.1-24.

Soubeyroux, J., Ouzeau, G., Scheneider, M., Cabanes, O., Kounkou, R. (2016) Les vagues de chaleur en France: analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*. Nº94. pp.45-51.

Steffen, W., Hughes, L., Perkins, S. (2014) *Heatwaves: hotter, longer, more often*. Climate Council of Australia.

Trigo, R., Ramos, A., Nogueira, P., Santos, F., Garcia-Herrera, R., Gouveia, C., Santo, F. (2009) Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. *Environmental Science & Policy*. pp. 844-854.

Vasconcelos, J., Freire, E., Morais, J., Machado, J., Santana, P. (2011) Impacts of poor housing conditions and thermal discomfort. *Procedia Environmental Sciences*. Nº 4. pp. 158-164.

Vieira, N. (2009) *Poluição do ar. Indicadores ambientais*. E-papers Serviços Editoriais Ltda.

Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., Ma, T. (2015) Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 92. pp. 1 -12.

Anexos

Anexo 1 – Ondas de calor identificadas, segundo cada método de identificação em estudo, na estação de Faro/Aeroporto (1973-2016).

Faro/Aeroporto						
Evento de intrusão de poeiras				Método de identificação de onda de calor		
Ano	Mês	Dia início	Dia fim	HWDI	Météo-France	EHF
1974	julho	9	14		✓	✓
1974	agosto	9	14			✓
1975	julho	14	18			✓
1975	agosto	18	21			✓
1976	julho	10	17			✓
1976	julho	18	24			✓
1976	agosto	4	16		✓	✓
1978	julho	15	19			✓
1978	julho	22	27			✓
1978	agosto	23	25			✓
1979	julho	28	30			✓
1979	agosto	16	20			✓
1980	agosto	28	1			✓
1981	junho	13	16			✓
1981	julho	14	17			✓
1982	agosto	17	21			✓
1983	junho	14	16			✓
1983	setembro	25	28			✓
1984	julho	24	26			✓
1984	agosto	3	5			✓
1985	julho	23	25			✓
1986	julho	18	20			✓
1987	agosto	19	22			✓
1988	julho	9	16			✓
1988	julho	20	4			✓
1988	agosto	19	22			✓
1988	setembro	6	12			✓
1989	junho	25	27			✓
1989	julho	13	23			✓
1989	julho	26	29			✓
1989	agosto	22	25			✓
1990	julho	18	20			✓
1990	julho	22	24			✓
1990	agosto	2	8		✓	✓
1991	junho	26	28			✓
1991	julho	7	19		✓	✓

1991	agosto	3	7			✓
1991	agosto	11	14			✓
1991	setembro	17	20			✓
1992	julho	11	20			✓
1992	julho	27	29			✓
1992	agosto	2	7			✓
1993	julho	18	23			✓
1994	julho	4	9			✓
1994	julho	11	14			✓
1994	julho	19	21			✓
1995	julho	14	25		✓	✓
1995	agosto	12	16			✓
1996	julho	18	22			✓
1998	julho	11	15			✓
1998	agosto	2	11		✓	✓
1998	agosto	20	25			✓
1999	julho	1	3			✓
2000	julho	14	17			✓
2000	julho	29	5			✓
2000	agosto	13	22			✓
2000	setembro	1	4			✓
2001	maio	25	31	✓		
2001	agosto	8	10			✓
2002	julho	26	30			✓
2003	maio	19	23	✓		
2003	agosto	30	16		✓	✓
2004	junho	26	3	✓	✓	✓
2004	julho	22	29	✓	✓	✓
2004	agosto	21	31			✓
2005	junho	17	22			✓
2005	julho	20	22			✓
2005	agosto	4	6			✓
2006	julho	9	19		✓	✓
2006	julho	30	12			✓
2006	agosto	24	11		✓	✓
2007	julho	9	11			✓
2007	julho	26	31		✓	✓
2009	junho	13	18	✓		✓
2009	julho	27	1			✓
2009	agosto	13	24		✓	✓
2009	agosto	29	31			✓
2009	setembro	8	10			✓
2010	julho	1	8		✓	✓
2010	julho	10	13			✓
2010	julho	26	31			✓
2010	agosto	2	14		✓	✓

2010	agosto	21	2			✓
2011	agosto	9	10			✓
2012	maio	13	16	✓		✓
2012	julho	18	22			✓
2012	agosto	9	12			✓
2012	agosto	21	23			✓
2013	julho	5	11			✓
2013	agosto	18	24			✓
2014	abril	27	2	✓		
2015	maio	12	17	✓		
2015	junho	26	29			✓
2015	julho	7	9			✓
2015	julho	16	19			✓
2015	julho	21	24			✓
2015	julho	28	30			✓
2015	agosto	8	10			✓
2016	julho	8	13			✓
2016	julho	16	23			✓
2016	julho	25	27			✓
2016	agosto	5	14			✓
2016	agosto	24	30			✓
2016	setembro	1	7			✓

Anexo 2 – Ondas de calor identificadas, segundo cada método de identificação em estudo, na estação de São Brás de Alportel (1980-2013).

São Brás de Alportel						
Ondas de calor				Método de identificação de onda de calor		
Ano	Mês	Dia início	Dia fim	HWDI	Météo-France	EHF
1981	junho	8	18	✓		✓
1981	julho	14	17			✓
1982	agosto	19	21			✓
1983	junho	13	18	✓		✓
1983	setembro	4	9	✓		
1984	julho	24	26			✓
1984	agosto	3	5			✓
1985	julho	23	25			✓
1986	maio	25	30	✓		
1986	julho	18	20			✓
1987	agosto	19	22			✓
1987	setembro	6	11	✓		
1988	julho	12	16			✓
1988	julho	22	4			✓
1988	agosto	19	22			✓
1988	setembro	5	13	✓	✓	✓
1989	junho	23	29	✓		✓
1989	julho	15	23		✓	✓
1989	julho	26	29			✓
1989	agosto	22	25		✓	✓
1990	julho	18	20			✓
1990	julho	22	24			✓
1990	agosto	2	9		✓	
1991	junho	22	29	✓		✓
1991	julho	9	19	✓	✓	✓
1991	agosto	2	15	✓	✓	✓
1991	setembro	17	20			✓
1992	abril	20	25	✓		
1992	julho	14	20			✓
1992	julho	27	29			✓
1992	agosto	2	7		✓	✓
1993	julho	18	23			✓
1994	julho	4	9			✓
1994	julho	11	14			✓
1994	julho	19	21			✓
1995	julho	16	25		✓	✓
1995	agosto	12	16			✓
1995	agosto	26	28			✓

1996	maio	26	1			
1996	junho	24	30			
1996	julho	19	22			✓
1997	agosto	14	16			✓
1998	julho	13	15			✓
1998	agosto	5	11	✓	✓	✓
1998	agosto	22	25			✓
1999	abril	5	10	✓		
1999	julho	1	3			✓
2000	julho	15	17			✓
2000	julho	29	5		✓	✓
2000	agosto	15	22			✓
2000	setembro	1	4			✓
2001	maio	25	31	✓		
2001	agosto	4	10	✓		✓
2002	julho	26	30		✓	✓
2003	julho	30	16	✓	✓	✓
2004	junho	23	3	✓		✓
2004	julho	23	29	✓		✓
2004	agosto	23	30		✓	✓
2005	junho	16	22	✓		✓
2005	julho	20	22			✓
2005	agosto	4	6			✓
2006	julho	11	19			✓
2006	julho	30	3			✓
2006	agosto	26	11			✓
2008	junho	24	2	✓		✓
2009	junho	13	18			✓
2009	julho	27	1			✓
2009	agosto	13	24			✓
2009	agosto	29	31			✓
2009	setembro	8	10			✓
2010	julho	1	13			✓
2010	julho	26	31			✓
2010	agosto	2	14			✓
2010	agosto	21	2			✓
2012	maio	9	16	✓		✓
2012	junho	23	28	✓		✓
2012	julho	19	22			✓
2012	agosto	10	12			✓
2012	agosto	21	23			✓
2013	julho	5	11			✓
2013	agosto	18	24		✓	✓

Anexo 3 - Eventos de intrusão de poeiras identificados nas estações de qualidade do ar existentes na região algarvia, e respetiva associação às ondas de calor identificadas, segundo cada método de identificação em estudo.

Eventos de poeiras				Onda de calor			Partículas (excedência de 50 µg/m ³)	
Ano	Mês	Dias		HWDI	Météo- france	EHF		
		Início	Fim					
2006	abril	3	4					
2006	abril	15						
2006	abril	23	27					
2006	maio	2						
2006	maio	10	17				✓	1 dia
2006	maio	26	31				✓	4 dias
2006	junho	1						
2006	junho	10	15				✓	1 dia
2006	junho	21	23					
2006	julho	9	21		✓	✓	✓	1 dia
2006	agosto	21	24		✓	✓		
2006	setembro	5	10			✓	✓	2 dias
2007	abril	9	11					
2007	abril	15	25					
2007	maio	11	13					
2007	maio	20						
2007	maio	23	24					
2007	junho	6	9					
2007	junho	23	25					
2007	julho	6	7					
2007	julho	12	15					
2007	julho	28	31		✓	✓		
2007	agosto	1	6					
2007	agosto	9	11					
2007	agosto	18						
2007	agosto	25	29		✓			
2007	setembro	1	17				✓	1 dia
2007	setembro	19	24				✓	1 dia
2007	setembro	28						
2008	abril	6	7					
2008	abril	15	16					
2008	abril	25	27					
2008	maio	2	8					
2008	junho	22	30	✓		✓		
2008	julho	1	2			✓		
2008	julho	14	24					

2008	agosto	4	6					
2008	setembro	9	10					
2009	abril	2	3					
2009	maio	4	10					
2009	maio	20	22					
2009	junho	28	4					
2009	julho	15	21					
2009	julho	26	27			✓		
2009	agosto	5				✓		
2009	agosto	11	19	✓		✓		
2009	agosto	28	1			✓		
2009	setembro	6	9			✓		
2009	setembro	14	15					
2009	setembro	25	29					
2009	setembro	14	15					
2010	abril	5	13					
2010	abril	16						
2010	abril	22						
2010	abril	26	29					
2010	maio	18	24					
2010	junho	1	3					
2010	junho	14						
2010	junho	17						
2010	junho	22	17					
2010	julho	18	19					
2010	julho	24	15			✓		
2010	agosto	20	22			✓		
2010	agosto	26				✓		
2010	agosto	30	1			✓		
2010	setembro	10	28					
2011	abril	1	19				✓	1 dia
2011	maio	9	18					
2011	maio	24	30					
2011	junho	24	30					
2011	julho	1	4					
2011	julho	21	23					
2011	julho	29	31					
2011	agosto	1						
2011	agosto	9	24			✓		
2011	agosto	28	30					
2011	setembro	9						
2011	setembro	14	23					

2011	setembro	26	30					
2012	maio	10	17	✓		✓		
2012	maio	31	2					
2012	junho	24	28	✓		✓	✓	1 dia
2012	julho	16	17			✓		
2012	julho	25	26					
2012	agosto	7	22			✓		
2012	setembro	5	10					
2012	setembro	20	21					
2013	abril	18	19					
2013	junho	25	3					
2013	julho	5	6			✓		
2013	julho	11				✓		
2013	julho	19	20					
2013	julho	31	1					
2013	agosto	19	21		✓	✓		
2013	setembro	5						
2013	setembro	11	13					
2013	setembro	23	24					
2014	abril	9	19					
2014	maio	14	18					
2014	junho	12	19					
2014	julho	15	17					
2014	julho	26	27					
2014	julho	30						
2014	agosto	17	18			✓		
2014	setembro	1	2					
2014	setembro	27						
2015	abril	3	10					
2015	abril	13	15					
2015	abril	17	22					
2015	maio	10	15	✓				
2015	maio	18						
2015	maio	29						
2015	junho	3	11					
2015	junho	20	22					
2015	junho	28	30			✓		
2015	julho	6	7			✓		
2015	julho	17				✓		
2015	agosto	9	10			✓		
2015	agosto	20	21					
2015	agosto	29	31				✓	2 dias

2015	setembro	21						
2016	maio	3	5					
2016	junho	8						
2016	junho	22	23					
2016	junho	26	29					
2016	julho	3	9					
2016	julho	15	20			✓		
2016	julho	24	25			✓		
2016	julho	28	30					
2016	agosto	8	19			✓		
2016	agosto	22	23					
2016	agosto	25	28			✓		
2016	setembro	1	7			✓		
2016	setembro	29	30					

Legenda:	
	Onda de calor identificada em São Brás de Alportel
	Onda de calor identificada em Faro/Aeroporto
	Onda de calor identificada em ambas as estações climatológicas