

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



***Distribuição Espacial da Mortalidade em Lisboa Associada às Temperaturas
Elevadas, com Recurso a Sistemas de Informação Geográfica***

Liliane Isabel Ribeiro Morais

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E MODELAÇÃO
TERRITORIAL APLICADO AO ORDENAMENTO**

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



*Distribuição Espacial da Mortalidade em Lisboa Associada às Temperaturas
Elevadas, com Recurso a Sistemas de Informação Geográfica*

Liliane Isabel Ribeiro Morais

Dissertação
para obtenção do Grau de Mestre em
Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicado ao Ordenamento

Orientada por:
Professor Doutor António Lopes
Co-orientada por:
Professor Doutor Henrique Andrade

2011

Agradecimentos:

A elaboração de uma tese solicita muito trabalho e empenhamento mas reconheço, sem qualquer dificuldade, o incentivo e ajuda de algumas pessoas. A estas, gostava de deixar um obrigado especial:

Ao Professor Doutor António Lopes, por ter aceite ser meu orientador, pelo incentivo, ajuda na estruturação do trabalho e as várias sugestões sem as quais o trabalho teria ficado menos enriquecido.

Ao Professor Doutor Henrique Andrade, por ter aceite co-orientar a dissertação, pela disponibilidade manifestada, apoio e sugestões muito úteis.

A ambos também agradeço a leitura atenta da dissertação, esta reflecte muitas das suas considerações.

Ao Professor Jorge Rocha, pela disponibilidade e apoio prestado na dissipação de muitas dúvidas.

À Professora Doutora Helena Nogueira, pelo apoio estatístico prestado na padronização dos dados.

Ao Paulo Canário, pela troca de ideias muito profícua.

E por último, mas não menos importante, à minha família e amigos pela força, incentivo, confiança e compreensão durante esta longa caminhada.

A todos um bem hajam.

Merci

Je donne mon sourire

A ceux qui l'ont un jour volé

Je donne mon regard

A ceux qui l'ont rendu voilé

Je donne à ceux qui ne savent pas, que même en cendres

Ma bouche ou mes yeux ne sont à prendre

Je donne mon bonheur

A ceux qui l'ont toujours envié

Je donne mon courage

A tous ceux qui mon fait douter

Je donne à ceux qui ne savent pas, que même en cendres

Mon rire ou mon corps ne sont à vendre

Merci

Encore

d'avoir eu tous les torts

Merci

Encore

La rage me rend plus forte

(...)

Emmanuel Moire

“(…) A essência sem precedentes das alterações climáticas também pode trazer consequências imprevisíveis para a saúde pública (…)” Ebi, 2009

“(…) Se as vagas de calor aumentarem em frequência e intensidade, os riscos de mortalidade e doença grave aumentarão, especialmente junto das pessoas idosas e pobres do meio urbano – grau de confiança elevado (…)” GIEC, 2001

“(…) Existe no caso de Lisboa um risco acrescido na relação calor/mortalidade mesmo que as hipóteses mais conservadoras tenham sido elaboradas (…)” Dessai, 2003

Índice Geral

Parte I – Introdução	1
1 - A problemática conceptual e terminológica.....	1
2 - Tema e objectivos do trabalho	3
3 – Estado de arte	5
4 - Os impactes das temperaturas elevadas.....	6
4.1 – Modificações no balanço energético	6
4.2 – A população	7
4.3 – A influência dos espaços verdes	7
5 – A Detecção Remota (DR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	8
5.1 – O contributo nos estudos de Climatologia Urbana e vulnerabilidade às temperaturas extremas	8
5.2 - Os satélites Landsat e NOAA (satélites utilizados na dissertação)	9
Parte II – Caracterização da área de estudo	11
1 – Enquadramento geográfico de Lisboa	11
2 – Morfologia urbana	12
3 – O clima de Lisboa: o regime das temperaturas e as ilhas de calor	14
Parte III – Metodologia	17
1 – Os dados.....	17
2 – Os métodos	18
2.1 – A Perigosidade	19
2.2 – A vulnerabilidade	25
2.3 – A susceptibilidade	29
3– Limitações à análise	30
Parte IV – Resultados	32
1 - Modelação da perigosidade	32
1.1 - A perigosidade ao calor excessivo no período de 1998/2008 e em 2003.....	32
1.2 - Balanço radiativo e energético em Lisboa com recurso à imagem de satélite Landsat 7ETM+ de 24 de Junho de 2000 (±10h, hora local)	35
2 – A Vulnerabilidade.....	39

2.1 - Caracterização social e económica.....	39
2.2 - Modelação da vulnerabilidade	46
3 – Modelação da susceptibilidade de mortalidade devido ao calor excessivo.....	49
Parte V – Conclusões.....	54
Referências bibliográficas	57
Anexos.....	63

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica de Lisboa	12
Figura 2 - Normal climatológica da estação de Lisboa de 1971 a 2000.	14
Figura 3 - Ilha de calor nocturna de Lisboa	15
Figura 4 - Agregação das freguesias mais pequenas do centro de Lisboa.	19
Figura 5 - Temperatura do ar na estação de Lisboa, Gago Coutinho no mês de Junho de 2000.....	30
Figura 6 - Evolução dos parâmetros de perigosidade, no Verão de 2003.	34
Figura 7 - Evolução da mortalidade e do Ozono (O ₃) no Verão de 2003.	35
Figura 8 - O albedo (a) e o balanço radiativo (b) da cidade de Lisboa, no dia 24 de Junho de 2000.....	36
Figura 9 - Fluxo de calor armazenado - QG da cidade de Lisboa, no dia 24 de Junho de 2000.	37
Figura 10 - Razão entre o fluxo de calor armazenado e o balanço radiativo (QG/Q*), no dia 24 de Junho de 2000.....	38
Figura 11 - Relação polinomial entre o índice de construção dos edifícios e a energia disponível nas superfícies (QG/Q*).....	38
Figura 12 - Taxa de mortalidade média (%) no período de 1998 a 2008 em algumas freguesias de Lisboa.....	39
Figura 13 - Distribuição espacial da taxa de mortalidade média (%) por freguesia em Lisboa, nos 10% de dias com maior temperatura máxima registada de 1998 a 2008.	40
Figura 14 - Distribuição espacial da superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento	41
Figura 15 - Dendograma elaborado a partir dos parâmetros de vulnerabilidade e da taxa de mortalidade média.	41
Figura 16 - Distribuição espacial das classes elaboradas através do método de <i>Clusters</i>	42
Figura 17 - Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade (a).....	44
Figura 18 - Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade (b).....	45
Figura 19 - Classificação das freguesias de Lisboa de acordo com os valores de RPM e respectivos intervalos de confiança.	47
Figura 20 - Relação entre a taxa de desemprego e a RPM.	48
Figura 21 - Susceptibilidade à ocorrência de óbito devido a temperaturas elevadas, identificada pelo método das <i>K - means clusters</i> , com base nas duas variáveis dependentes: taxa de mortalidade média e RPM.	50
Figura 22 - Mapa de síntese da relação entre a susceptibilidade às temperaturas excessivas e os vários parâmetros em estudo.....	53

Índice de Quadros

Quadro 1 - Quadro alusivo às fases do tratamento dos dados.....	20
Quadro 2 - Confirmação dos resultados obtidos no balanço radiativo, através da comparação com o modelo <i>Rayman</i> e <i>HelioServe</i> , aquando da passagem do satélite Landsat 7 ETM+ a 24 de Junho de 2000.....	22
Quadro 3 - Parâmetros da componente de vulnerabilidade.	26
Quadro 4 - Coeficientes de determinação do modelo de regressão polinomial (2ª ordem) entre a mortalidade e as variáveis explicativas (Temperatura/Ozono).....	32
Quadro 5 - Coeficientes de regressão e valores beta no modelo de regressão múltipla, com o método <i>Forward Stepwise</i> , entre a mortalidade e as variáveis explicativas (Temperatura/Ozono).....	33
Quadro 6 - Coeficientes β do modelo de regressão entre a	46
Quadro 7 - Coeficientes β no modelo de regressão entre a RPM e os parâmetros de vulnerabilidade.	47
Quadro 8 - Coeficientes β da modelação espacial da probabilidade de óbito relacionada com o calor extremo.	49
Quadro 9 - Caracterização dos diferentes níveis de susceptibilidade.	51
Quadro 10 - Quadro resumo das principais características das freguesias de Lisboa à susceptibilidade ao calor excessivo.	52

Resumo

As vagas de calor ou os dias de calor excessivo, têm vindo a ocorrer nos últimos decénios com maior frequência, intensidade e extensão geográfica, um pouco por todo o mundo. Associam-se a estas anomalias térmicas as consequências na saúde pública e mesmo o aumento da mortalidade diária, com especial incidência nas aglomerações urbanas.

O principal objectivo desta dissertação é identificar, na cidade de Lisboa, as áreas de maior perigo às temperaturas elevadas. Para o efeito foi desenvolvido um modelo espacial da probabilidade de óbito associado ao calor extremo, considerando a relação perigosidade/vulnerabilidade, para estimar as dissimetrias espaciais na cidade de Lisboa. Trata-se de uma análise integrada, operando no modelo variáveis climáticas (como a temperatura do ar e a energia disponível na superfície obtida através de uma imagem de Satélite Landsat 7 ETM+) e outras de natureza socioeconómica e indicadores urbanísticos (taxa de desemprego, taxa de analfabetismo, idade dos edifícios, área verde privada, entre outros). O estudo baseia-se em regressões lineares múltiplas entre a mortalidade e os diversos indicadores.

Com o cruzamento das duas componentes (perigosidade/vulnerabilidade) obteve-se a susceptibilidade da ocorrência de óbito devido às temperaturas excessivas. Verificou-se que a variação espacial da mortalidade é essencialmente explicada pelas variáveis correspondentes à componente da vulnerabilidade, detendo o modelo uma capacidade explicativa de 68%. Em linhas gerais, a probabilidade de óbito é mais elevada nas áreas com piores condições socioeconómicas, nomeadamente onde é elevada a taxa de desemprego e a taxa de analfabetismo, onde existe menos espaço verde privado e árvores de arruamento e menos população imigrante. A distinção das áreas de maior susceptibilidade é disso exemplificativo. O núcleo central de Lisboa é mais susceptível à ocorrência de óbito que a área norte e ocidental da cidade, menos vulnerável às temperaturas extremas.

Esta análise pretende ser uma base de discussão e um ponto de partida para uma melhor modelação ao calor, ao mesmo tempo que evidencia o contributo da Detecção Remota e dos Sistemas de Informação Geográfica na espacialização dos fenómenos climáticos extremos e suas consequências, como é a susceptibilidade a temperaturas muito levadas na cidade de Lisboa.

Palavras – Chave: Perigosidade, Vulnerabilidade, Susceptibilidade, Risco, Sistemas de Informação Geográfica, Detecção remota, Clima Urbano, Lisboa.

Abstract

Heat waves or excessive hot days have been happening more frequently, with more intensity and geographical extension in the last decades all around the world. These thermal anomalies have consequences in terms of public health and in the increase of daily mortality with particular incidence in urban areas.

The main objective of this dissertation is to identify in the city of Lisbon the area's most exposed to (the risk of) high temperatures. In order to do that, it has been developed a spatial model of the risk of death associated with extreme heat, considering the relation between danger/vulnerability to estimate the spatial asymmetries in Lisbon. This is an integrated analysis that works upon the model of climate indicators (such as air temperature or the available energy on surfaces which is obtained through an image coming from the Satellite Landsat 7 ETM +) demographic, socio-economic and urban (unemployment rate, illiteracy rate, age of buildings, private green space, among other). This essay is based upon multiple linear regressions among daily mortality and the various indicators.

The junction of the two components (danger/vulnerability) gives the susceptibility of the occurrence of death due to excessive temperatures. We verified that the spatial variation of mortality can be clarified by the explicable variables connected with the vulnerability component, being that the model attains an explicable capacity of 68%. In general, the risk of death is higher in areas with worse social economical conditions namely unemployment and illiteracy rate, less private green spaces and streets, less percentage of immigrant population. The distinction of the areas that are most exposed to excessive temperatures are an example of that. The core of Lisbon is more susceptible to deaths than the northern and western part of the city, less vulnerable to extreme temperatures.

This analysis intends to be a base of discussion and a point of departure towards a better modelling to heat and at the same time to stress out the contribution of Remote Detection and of the Geographical Information Systems in the spatial distribution of a given phenomena, such as the risk of high temperatures in Lisbon.

Keywords; Danger, Vulnerability, Susceptibility, Risk, Geographical Information Systems, Remote Detection, Urban Climate, Lisbon.

Parte I – Introdução

Neste capítulo pretende-se definir os conceitos fundamentais e manifestar a importância da temática em estudo, através da apresentação de vários estudos efectuados noutros países. Remete-se igualmente uma breve conjectura teórica, mas indispensável, acerca das temperaturas elevadas, para a total compreensão do trabalho. Segue-se o contributo da Detecção Remota e dos Sistemas de Informação Geográfica nos estudos de Climatologia Urbana e uma breve caracterização dos satélites utilizados na dissertação.

1 - A problemática conceptual e terminológica

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo baseado na perigosidade – vulnerabilidade e susceptibilidade de mortalidade na cidade de Lisboa associada aos fenómenos estivais extremos e sua distribuição espacial. Porém, os conceitos de perigosidade, vulnerabilidade, susceptibilidade e risco não são muitas vezes compreendidos na sua totalidade, além de que consoante a temática em estudo possuem diferentes definições. Procede-se assim à correcta definição dos conceitos utilizados ao longo da dissertação. Note-se que são conceitos que se aplicam a eventos climáticos extremos.

A perigosidade é entendida como a probabilidade de ocorrência de um evento climático extremo, capaz de directa ou indirectamente induzir o aparecimento de uma doença ou à morte, durante um período de tempo e num dado território. Neste tipo de eventos distinguem-se várias dimensões, nomeadamente a física e a química (Canário, 2010). À primeira pertencem variáveis como a temperatura e humidade do ar, a temperatura radiativa e a velocidade do vento (Matzarakis, 1998 citado por Canário, 2010). A dimensão química está associada à qualidade do ar, sendo as concentrações de ozono o principal exemplo.

A vulnerabilidade expressa “ o grau de perda de população em risco numa dada área (taxa de mortalidade) resultando da ocorrência de um fenómeno climático perigoso (temperaturas extremas) num dado período de tempo” (Canário, 2010). Esta vulnerabilidade está associada à sensibilidade das populações bem como à sua exposição face ao evento climático extremo. No que diz respeito à sensibilidade, esta depende de várias características da população, existindo factores individuais como a idade, o sexo, a pré-existência de doenças, o rendimento, entre outros. A uma escala local pode-se evocar a organização da sociedade e as suas infra-estruturas sociais. Na escala regional a educação, os serviços de saúde e o emprego. A escala nacional está associada a questões de desenvolvimento socioeconómico, político e tecnológico. A exposição dos indivíduos ao calor excessivo expressa pela mobilidade diária também pode ser avaliada a várias escalas. Frequentar os espaços verdes é uma das formas de diminuir a exposição ao calor extremo, uma vez que a temperatura do ar é inferior à área circundante.

Note-se que as características do espaço urbano, como a densidade de construção ou os espaços verdes condicionam quer a perigosidade quer a vulnerabilidade, pelo que numa óptica espacial e integrada ao nível local, como é o pretendido no presente trabalho, as características do espaço urbano serão consideradas como factores de vulnerabilidade.

A susceptibilidade consiste na incidência espacial da perigosidade, representando a disposição que uma área tem em ser afectada por um dado perigo, a uma escala temporal indeterminada e avaliada por factores de predisposição para a ocorrência do processo ou acção (Julião *et al*, 2009).

O risco é o produto da perigosidade pela vulnerabilidade. Obtém-se através da modelação da relação entre os indicadores das duas componentes, colocando em evidência as dissimetrias espaciais da mortalidade à escala do aglomerado urbano. De acordo com Canário (2010) “(...)o risco expressa a probabilidade de ocorrência de mortes associadas com um determinado quadro meteorológico extremo, o risco total refere-se ao produto do risco específico pelo valor (...)”. O valor é entendido como as perdas humanas mensuráveis como anos de vida perdidos.

Neste sentido, a identificação das áreas de maior susceptibilidade ao calor excessivo torna-se pertinente na medida em que vai permitir um uso do território mais equilibrado, que colocará em evidência as áreas que carecem de tomada de medidas. Alcança-se a noção de gestão de risco que se trata da “tomada de decisões acerca das medidas de prevenção e de mitigação a adoptar. A eficácia das medidas mitigadoras é avaliada ao longo do tempo, através de programas de monitorização, num quadro de controlo do risco” (Zêzere, 2005).

A definição de vaga de calor também não é consensual e adquire um sentido diferente segundo os diversos países, a própria *World Meteorological Organization* (WHO, 2004) ainda não possui uma definição precisa de onda de calor. Refere-se em geral como um evento associado a temperaturas anormalmente elevadas, sendo frequentemente acompanhado por poluição atmosférica (nomeadamente o ozono troposférico) e susceptível de causar impactes adversos, de que é exemplo a mortalidade. Segundo Robinson (2001) a dificuldade em analisar a frequência, severidade, duração e a extensão geográfica deste tipo de eventos reside precisamente na ausência de uma definição universal para as vagas de calor.

Neste sentido, algumas incertezas imperam na dificuldade de esclarecer em que consiste uma vaga de calor. Dão-se exemplos de algumas instituições portuguesas: para o Instituto Ricardo Jorge (IRJ) 32º C é o limite considerado para a ocorrência de uma vaga de calor durante um intervalo de dois ou mais dias consecutivos (Paixão, 2003). Para o Instituto de Meteorologia (IM) toma-se em consideração o período de 6 dias consecutivos, em que a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao respectivo valor médio diário de temperatura máxima no período de referência (1961-1990) <http://www.meteo.pt>. Acrescenta-se o facto de a mortalidade associada ao calor não ocorrer necessariamente durante as vagas de calor, dado que a resposta ao calor é quase imediata, bastando um dia muito quente para existirem impactes na saúde. Precisamente por este detalhe, a Direcção Geral de Saúde (DGS) que emite anualmente o Plano de Contingência Nacional para as Ondas de Calor (PCOC), procedeu à actualização de alguns critérios e desde o presente ano, 2011, o plano tomou a designação de Plano de Contingência para as Temperaturas Extremas Adversas (PCTEA) módulo calor. É um plano que visa promover a protecção dos efeitos na saúde resultantes das ondas de calor e de dias com temperaturas extremas. No âmbito regional a elaboração deste plano é da responsabilidade de cada Administração Regional de Saúde (ARS), que emite um plano baseado na previsão, alerta e resposta apropriada para cada distrito, no período de 15 de Maio a 30 de Setembro. Relativamente a Lisboa, é a ARS de Lisboa e Vale do Tejo que emite o PCTEA para o distrito de Lisboa, juntamente para os distritos de Santarém e Setúbal. A onda de calor é definida de acordo com o IM e estão determinados três níveis de alerta em função do Índice Ícaro (disponibilizado diariamente pelo Instituto Nacional de Saúde - INSA), dos valores de temperatura previstos pelo IM entre outros critérios (como os níveis de ozono) (ARSLVT, 2011).

Note-se que após a ocorrência das vagas de calor de 1981 e 1991 Lisboa possui um sistema de vigilância e alerta de vagas de calor, baseado no Índice Ícaro, que se encontra em funcionamento, desde 1999 durante o mesmo período em que são emitidos os planos de contingência por parte da DGS e das ARS (DGS, 2004). O seu objectivo é diminuir os quantitativos de mortalidade excessiva ocorridos durante as vagas de calor. O índice foi criado pelos investigadores do

Observatório Nacional de Saúde (ONSA) do Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, para todo o distrito de Lisboa. Sempre que o índice atinge níveis severos quanto às repercussões na sobre-mortalidade são accionadas medidas que a tentam diminuir, como informar a Protecção Civil ou a criação de uma linha telefónica de urgência.

2 - Tema e objectivos do trabalho

Estão sobejamente documentadas as situações de temperatura elevada e os seus efeitos adversos na saúde humana (Gosling *et al.* 2007; Rahola, 2009), assim como o facto de estarem associadas a um incremento da mortalidade diária (Metzger, 2010). Esta temática adquiriu maior importância na comunidade científica após a onda de calor de 2003, sem precedentes, que atingiu uma considerável escala temporal e espacial, em vários locais nomeadamente em toda a Europa Ocidental que foi assolada pela anomalia térmica. Durante a primeira quinzena de Agosto, a Europa foi submetida a um calor sem precedentes, (Schar, 2004) sendo que estudos baseados em *proxy data*¹ definem o Verão de 2003 como o mais quente desde 1540, (Beniston, 2004) excedendo, segundo investigações empreendidas por Luterbacher (2004) o Verão de 1757. O que tornou esta vaga tão invulgar foi a sua intensidade, permanência, extensão geográfica e repercussões, sobretudo na mortalidade. Estima-se que as características desta onda de calor possam ser muito semelhantes às vagas previstas no futuro (Beniston, 2004).

Acrescentam-se as consequências ímpares, particularmente as obtidas em estudos recentes que consideram um excesso de mortalidade devido à vaga de calor de 2003 maior do que o calculado anteriormente, estimando-se a sobre-mortalidade em toda a Europa superior a 70 000 óbitos (Gómez e Souissi, 2008; Füssel, 2010). Outro efeito associado ao calor excessivo é o elevado nível de ozono (O₃) também com repercussões na saúde pública. Na França durante a vaga de 2003 os níveis de ozono alcançados foram bastante significativos (Filleul, 2006). Alguns estudos epidemiológicos comprovam a relação ozono/excesso de mortalidade (InVS 2003; Champiat, 2008; Tan, 2008; NWF, 2009: 5; Rahola, 2009). Estima-se que cerca de 30 a 40% do excesso de mortalidade registado durante as vagas de calor se deve à poluição do ar, existindo estudos elaborados em vários países europeus comprovando este facto. Outros estudos reforçam que variações diárias de ozono estão associadas a variações diárias de mortalidade, depois de ajustar o efeito independente da temperatura (Filleul, 2006; Qian, 2008; Rahola, 2009). Ainda que o O₃ não seja o parâmetro chave desta dissertação, dada a sua importância também será considerado nas regressões múltiplas entre a mortalidade diária e as variáveis independentes (temperatura do ar, temperatura de superfície diurna e nocturna).

As repercussões das temperaturas extremas na mortalidade poderão ser ampliadas se se considerarem as alterações climáticas. Segundo Gosling *et al.* 2009 "(...) Existem evidências de que as mudanças climáticas afectarão a relação temperatura/mortalidade de forma heterogénea (...)." Prevê-se um incremento das vagas de calor em frequência, intensidade e duração, a par da respectiva mortalidade (Gosling, 2007; 2009; Canário, 2010). Dessai (2002; 2003) estima que as cidades terão um incremento da taxa de mortalidade associada às temperaturas excessivas entre 5,4 e 6,0 por 100,000 habitantes em 1980/1998, de 5,8 a 15,1 em 2020 e de 7,3 a 35,6 em 2050.

As aglomerações urbanas serão mais afectadas pelas temperaturas excessivas devido ao efeito da ilha de calor urbana, porque as temperaturas diurnas, e particularmente nocturnas, são geralmente superiores às das áreas

¹ Arquivos indirectos sobre as variações climáticas, obtidos através de fontes naturais (biológicos e químicos) e antrópicas como documentos históricos (Jones, 2004).

circundantes. Este efeito torna a população citadina mais vulnerável que as restantes (Metzger, 2010), levantando a questão de que “(...) a avaliação dos impactos das alterações climáticas na relação mortalidade/calor necessita de estar especificamente localizada, pois não é uniformemente distribuída no espaço (...)” (Davis citado por Gosling, 2007).

Existe igualmente uma diferente vulnerabilidade associada a parâmetros socioeconómicos ou demográficos. A população envelhecida ou já detentora de doença, por exemplo do foro respiratório ou cardiovascular, está associada a uma maior vulnerabilidade comparativamente com a restante população (Gosling, 2007; 2009).

Neste sentido, o princípio subjacente a este estudo está no facto de a maioria das aglomerações urbanas se expandirem e progredirem a um ritmo célere e possuírem mais população (EEA, 2006), a par de um clima cada vez mais quente. As vagas de calor serão mais intensas e duradouras e os excessos térmicos mais frequentes, traduzindo-se num aumento da mortalidade (Santos, 2002; IPCC, 2007). As aglomerações urbanas são vistas, pela maioria dos investigadores, como áreas de maior risco face ao calor, pelo que a escolha da área de estudo, incidiu sobre Lisboa, especialmente por uma maior facilidade na obtenção dos dados necessários, nomeadamente os do ozono. Para além de existirem já vários estudos complementares em Lisboa que poderão auxiliar na compreensão de alguns resultados.

Face ao exposto, o objectivo consiste na criação de um modelo assente na perigosidade/vulnerabilidade, capaz de estimar a distribuição espacial da susceptibilidade de ocorrência de óbitos associados ao calor excessivo, à escala da freguesia na cidade de Lisboa. A distribuição espacial da susceptibilidade da mortalidade pode dever-se aos contrastes climáticos, sustentadas por exemplo nas tipologias urbanas ou na já mencionada diferente vulnerabilidade da população. No modelo operam indicadores de ordem climática, demográfica, socioeconómica e urbanística. A análise comporta necessariamente a avaliação da perigosidade e a vulnerabilidade das populações.

No que diz respeito à perigosidade e numa perspectiva temporal, será elaborada para os quatro meses estivais (de Junho a Setembro) relativos ao período de 1998/2008 uma correlação entre a mortalidade e os indicadores de perigosidade (temperatura do ar e ozono). Efectuar-se-á também para o Verão de 2003 a mesma relação entre a mortalidade e as variáveis de perigosidade, mas agora incluindo a temperatura de superfície diurna e nocturna obtida através de uma imagem de satélite NOAA-AVHRR. Será igualmente estimado o padrão térmico e energético da cidade num dia de Verão, com recurso a uma imagem de satélite Landsat, um modelo digital do terreno (MDT) e os algoritmos adequados, de modo a analisar a distribuição espacial da energia disponível na superfície, permitindo analisar a sua influência na mortalidade.

Quanto à componente da vulnerabilidade, serão consideradas variáveis demográficas e socioeconómicas, concordantes com estudos epidemiológicos (Smoyer-Tomic e Rainham, 2001; Besancenot, 2005; Harlan, 2006; Ramón, 2006; Champiat, 2008; Qian, 2008; Reid, 2009;), que referem um incremento da vulnerabilidade face ao calor excessivo, tendo em atenção, por exemplo, a população envelhecida. Acrescentam-se os indicadores urbanísticos, de que são exemplo o índice de construção e os espaços verdes. Este conjunto de variáveis será correlacionado com a mortalidade, sendo que numa segunda fase de análise os dados da mortalidade serão padronizados.

Posteriormente, vai-se proceder ao cruzamento dos parâmetros das duas componentes, obtendo a susceptibilidade à ocorrência de óbito associada a temperaturas muito elevadas, ou seja, a respectiva distribuição espacial, por freguesia na cidade de Lisboa. Coloca-se em evidência as áreas que carecem de uma intervenção mais célere e eficiente, de forma a diminuir a mortalidade associada a temperaturas muito elevadas.

3 – Estado de arte

Existem vários estudos que utilizam as imagens de satélite para estudar a espacialização das ilhas de calor urbano e o efeito da vegetação nas temperaturas elevadas, ou a avaliação do padrão térmico e energético da cidade, a fim de se estimarem as áreas mais susceptíveis ao calor. Os vastos estudos desenvolvidos por Gallo (1998; 2005; 2005) utilizam imagens de satélite NOAA e MODIS para avaliar a relação entre o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e a temperatura, estabelecendo comparações entre as áreas centrais da cidade e seus arredores, devido na sua maioria, ao rápido crescimento residencial, tornando pertinente a comparação do padrão térmico e energético. Nesta sequência, destaca-se um estudo efectuado por Balogun, (2009), na cidade de Kansas, nos Estados Unidos, em que foi feito precisamente esta distinção (centro da cidade e áreas circundantes) tendo como base o mês de Agosto de 2004. As medições dos fluxos de energia foram baseadas na técnica *eddy-covariance*. Parlow talvez seja o investigador que mais contribuiu no estudo das interações entre as superfícies urbanas e a camada limite urbana, determinando os diferentes fluxos de radiação de calor na cidade, comparando com as áreas menos urbanizadas. Possui uma ampla bibliografia neste domínio, sustentando maioritariamente as suas análises com recurso à detecção remota, dos quais se destacam dois estudos: Parlow, 2000 e Rigo e Parlow, 2007.

Em Lisboa, não são efectuadas medições sistemáticas das grandezas físicas do balanço energético no espaço citadino, exceptuando-se a radiação solar, o que não acontece na maioria dos países europeus. Porém, Lopes (2003) calculou para o aglomerado urbano lisboeta o balanço radiativo e energético, recorrendo a uma imagem de satélite Landsat 5 de 19 de Agosto do ano 1994 e ao satélite NOAA AVHRR. Dos vários objectivos era pretendido conhecer a distribuição espacial dos padrões térmicos na cidade e sua relação com a ICU da atmosfera urbana inferior.

Na área da vulnerabilidade destaca-se o trabalho de Reid (2009) que construiu um índice de vulnerabilidade ao calor para os Estados Unidos, onde foram distinguidos dez factores de vulnerabilidade (essencialmente socioeconómicos) a fim de cartografar a diferente distribuição espacial. Menciona-se igualmente o *Projet EPICEA* apresentado no *Fifth Urban Research Symposium* em 2009, do qual consta um relatório. Num estudo multidisciplinar, Desplat (2009) toma em consideração indicadores relativos ao excesso de mortalidade, indicadores climáticos e indicadores alusivos ao tecido urbano, como a geometria, com o propósito de cartografar a desigual vulnerabilidade do meio urbano Parisiense face a um evento anómalo como o de 2003.

Em Portugal esta temática está agora a expandir-se, sendo este trabalho uma pequena contribuição. De estudos que correlacionem a temperatura e a mortalidade, destaca-se o trabalho de Marques e Antunes (2009) cujo propósito era analisar a relação entre estas duas variáveis desde 1941 a 2005 para várias escalas temporais. Concluíram que é precisamente no Verão que se identificam as correlações mais elevadas entre a temperatura e a mortalidade.

Como se depreende existem alguns estudos que operam na área da perigosidade e da vulnerabilidade. Contudo o cruzamento das duas componentes ainda é algo incipiente. Este trabalho é uma tentativa de colmatar esta lacuna, pretendendo-se analisar a mortalidade associada ao calor extremo, através de um modelo espacial que considera a relação perigosidade/vulnerabilidade para estimar as dissimetrias espaciais na cidade de Lisboa.

Torna-se imperativo conhecer as áreas de maior perigosidade e vulnerabilidade ao calor excessivo, para que se possa reduzir o seu risco e adaptá-las aos eventos extremos quentes. Contudo, ainda que os impactes das temperaturas elevadas na saúde estejam amplamente estudados um pouco por todo o mundo, a verdade é que “(...)A literatura sobre a distribuição espacial da vulnerabilidade ao calor ainda é escassa (...)” (Reid, 2009). Só recentemente os cientistas se

preocuparam em cartografar as áreas de risco face às condições meteorológicas excepcionais, pelo que esta ainda é uma temática que se encontra numa fase incipiente, encontrando-se mais estudos sobre a perigosidade e vulnerabilidade que sobre a espacialização do risco.

4 - Os impactes das temperaturas elevadas

4.1 – Modificações no balanço energético

Actualmente a questão que se coloca é saber se no futuro aumentará a vulnerabilidade e respectivas consequências, nos ambientes citadinos relativos às temperaturas excessivas. As aglomerações urbanas podem ser consideradas como vulneráveis às temperaturas extremas porque revestem-se de singularidades que originam o fenómeno de ilha de calor urbana (ICU), que por sua vez acentua os efeitos das vagas de calor (Voogt, 2002; Rahola, 2009). A ICU consiste no facto de as cidades, particularmente durante a noite, possuírem uma temperatura mais elevada comparativamente com o meio circundante. Grosso modo, a temperatura é mais elevada no centro da *urbe*, que apresenta normalmente um conjunto de construções mais densas (Moreno - Garcia, 1999; Cantant, 2004; Alcoforado, 2007; Harlan, 2006;).

É possível distinguir três tipos de ICU, no presente trabalho faz-se referência à ilha de calor de superfície, que consiste precisamente no facto de as superfícies urbanas possuírem temperatura superior às superfícies envolventes e à ilha de calor da camada inferior da atmosfera urbana (*urban canopy layer*) que está amplamente estudada, quer em Lisboa quer noutras cidades. As causas da ICU da camada inferior são vastas como o aumento da absorção da radiação solar ($K\downarrow$), em parte por uma maior área de exposição como também pelo baixo albedo², devido às “reflexões múltiplas” entre os edifícios o que altera o balanço radiativo local. Um outro factor é o aumento da radiação de grande comprimento de onda ($L\downarrow$) derivada da atmosfera urbana mais poluída, bem como pelas emissões das superfícies em áreas de baixo *Sky View Factor* – SVF³, que registam uma menor perda de calor durante a noite. Verifica-se igualmente uma redução da velocidade média do vento (Lopes, 2003), provocada pela rugosidade do edificado, que altera as transferências de calor por advecção, além de modificar a dispersão dos poluentes. Ocorre também um aumento de *input* de energia no ambiente citadino oriundo da emissão de calor a partir dos edifícios e tráfego. Acrescenta-se o armazenamento de calor sensível pelos edifícios durante o dia, próprio das propriedades térmicas dos materiais de construção urbanos, e sua respectiva devolução à atmosfera durante a noite e a redução da evapotranspiração e da transferência de fluxo turbulento de calor latente, pela redução da cobertura vegetal nas áreas urbanas, bem como pelo aumento das superfícies impermeabilizadas (Oke, 1995; Moreno - Garcia, 1999; Alcoforado, 2006; Lachance, 2006; Lopes, 2009).

² Razão entre a quantidade de radiação solar reflectida, pelas superfícies, e a quantidade de radiação recebida. O valor típico do albedo urbano é de cerca de 15%, mas varia consoante a latitude e os materiais usados na construção (Oke, 1987, 1995; Moreno - Garcia, 1999; Lopes, 2009).

³ Também designado por factor de visão do céu, é a razão entre a porção de céu observado a partir de um determinado ponto da superfície terrestre e aquela que está potencialmente disponível, na ausência de obstáculos (Oke, 1987). Este parâmetro com o valor de 1 significa que não há qualquer impedimento a limitar a visão do céu. À medida que este valor vai diminuindo, aumentam os obstáculos que ocultam parcialmente o céu, num determinado ponto de observação.

Do que foi exposto, conclui-se que as cidades geram energia antrópica e poluição e que toda esta situação altera o balanço energético urbano. Reid (2009) refere que “os núcleos das áreas urbanas apresentam uma maior vulnerabilidade ao calor ” o que poderá ter sérias repercussões. Acrescenta-se o facto de “na presença de ilhas de calor, a população é mais sensível às temperaturas extremas, traduzindo-se num aumento da mortalidade e da morbilidade” (Lachance, 2006).

O efeito conjugado do ozono e da temperatura elevada também pode ter impactes nefastos na saúde ou mesmo conduzir à morte. Nas situações anticiclónicas associadas a situações de calor excessivo, regista-se habitualmente uma reduzida velocidade do vento. Este facto não favorece a dispersão dos poluentes, além de que as temperaturas elevadas aceleram as reacções químicas na atmosfera levando à formação maciça do ozono. Esta é a principal razão para os elevados níveis de poluição nas áreas urbanas (Champiat, 2008).

4.2 – A população

Existem vários estudos epidemiológicos que revelam uma forte correlação entre a temperatura elevada e a mortalidade. Na sequência estão os diversos efeitos perniciosos na saúde humana, se bem que nem toda a população é afectada de igual forma. A vulnerabilidade está relacionada a parâmetros socioeconómicos e demográficos (Kassomenos, 2001; Smoyer-Tomic e Rainham, 2001; Harlan, 2006; Gosling, 2007; 2009; Champiat, 2008; Qian, 2008; Reid, 2009;). Neste sentido, os idosos, a população já detentora de doença (por exemplo do foro respiratório ou cardiovascular), as pessoas de baixa condição socioeconómica e a população que habite em alojamentos envelhecidos, sem uma adequada ventilação estão, forçosamente, expostas a um risco superior de óbito, quando ocorrem temperaturas muito elevadas. Cumulativamente, uma distinção por sexo, evidencia que as mulheres idosas, norma geral, são mais lesadas que os homens, em parte porque existem mais mulheres a viverem sozinhas e com escassos rendimentos, o que por si só também já é um factor de maior vulnerabilidade, mas também porque a partir dos 60 anos as mulheres apresentam uma maior prevalência de perturbações na regulação térmica corporal, nomeadamente na transpiração. (McMichael, 2001; Botelho, 2004; Franklin, 2004; WHO 2004; Besancenot, 2005; Harlan, 2006; NWF 2009; Reid, 2009).

4.3 – A influência dos espaços verdes

As cidades vão concentrando cada vez mais população o que por si só já é um verdadeiro factor agravante da vulnerabilidade. A Europa é um dos continentes mais urbanizados do planeta Terra, pois 75% da sua população, aproximadamente, vive em áreas urbanas, sendo que em 2020, estima-se que aumente para cerca de 80% (Best e Betts, 2003; EEA, 2006). Daí alguns investigadores defenderem que as aglomerações urbanas estão pouco preparadas para os eventos climáticos extremos (Meusel, 2004).

Esta procura desmesurada pelas áreas urbanas, não raras vezes tem graves impactos, especialmente aliadas às alterações no uso do solo, como a urbanização não sustentada, negligenciando os espaços verdes que são de enorme importância sempre que se registam situações de calor excessivo (GIEC 2001; Karl e Trenberth, 2003). Na verdade, os espaços verdes possuem múltiplas funções no interior do espaço citadino: controlam directamente a radiação solar incidente dependendo da densidade da sua folhagem e se forma uma camada espessa e suficientemente ampla,

influenciam o clima urbano, contribuem para uma melhoria do estado de saúde dos seus habitantes, aumentam a biodiversidade e contribuem para a diminuição da poluição e para a fixação de dióxido de carbono (CO₂). A sua importância é, portanto, manifestamente evidente principalmente tendo em consideração a temática em estudo. Gallo (1998) estudou, a partir de imagens de satélite, o efeito da vegetação na temperatura. Concluiu que os espaços verdes contribuem para atenuar a temperatura do ar, pelo que esta é habitualmente menos elevada comparativamente com o meio circundante, o que aumenta o conforto humano e se revela uma forma de enfrentar as épocas estivais.

Alguns estudos epidemiológicos que comparam diferentes “densidades verdes” em vários bairros residenciais, concluíram que os residentes que habitam em bairros com uma maior abundância de espaços verdes tendem, em média, a ter uma condição de saúde superior (Nielsen e Hansen, 2007). Apesar dos espaços verdes serem escassos nas áreas citadinas, os estudos provam uma correlação positiva entre a presença de vegetação nas cidades e a saúde dos habitantes, bem-estar, segurança e diminuição do stress. Mas frequentemente, os agentes de planeamento consideram-os um bem de luxo e não uma necessidade básica com efeitos potenciais na saúde, pelo que não é suficientemente considerado no actual planeamento urbano (Groenewegen, 2006).

5 – A Detecção Remota (DR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

5.1 – O contributo nos estudos de Climatologia Urbana e vulnerabilidade às temperaturas extremas

A Detecção Remota (DR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilitam a produção de mapas, que têm subjacente o cruzamento de dados que permitem a espacialização de um dado fenómeno, constituindo “uma importante ferramenta de apoio à decisão” (Longley, 1998).

A DR é a arte e a ciência de adquirir informação acerca de um objecto, área ou fenómeno por intermédio da análise de dados obtidos por um instrumento que não se encontra em contacto com esse objecto, área ou fenómeno em análise (Lillesand e Kiefer 1994). A ciência da DR, em franca expansão, faculta os instrumentos e a teoria necessários para apreender de que forma os objectos e os fenómenos podem ser detectados, ao passo que na “arte” está subjacente o desenvolvimento e expansão das técnicas de análise essenciais para gerar informação útil (Aronoff citado por Ribeiro, 2007). Em Climatologia a sua utilidade é vastíssima, no caso particular da Climatologia Urbana, permite estimar o balanço energético, recorrendo para o efeito a uma imagem de satélite que permite analisar a sua distribuição.

A informação produzida pode ser integrada nos SIG, facto que por vezes se baseia em algoritmos que estão continuamente a ser melhorados, para a obtenção das grandezas físicas, como o albedo ou as temperaturas de superfície. De entre as várias definições de SIG segue-se a que fornece uma ideia bastante aproximada de todo o seu potencial, “conjunto articulado de Hardware e Software capaz de desempenhar funções diversas, nomeadamente a captura organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente referenciados e destina-se a resolver problemas de planeamento e gestão” (Machado, 1999 citado por Cunha e Dimuccio, 2002). Note-se que na opinião de alguns autores a definição não está concluída se não se considerar o contexto operacional ou organizacional em que se opera, isto é, além do programa e dos dados em si, existe o objectivo do trabalho e um conjunto de pessoas que gera e utiliza o sistema (Cunha e Dimuccio, 2002).

Neste sentido, a integração de dados DR em SIG na climatologia urbana é muito importante, na medida em que permite uma rápida actualização da base de dados, rapidez no processamento, cruzamento de informação e a obtenção da espacialização de um dado fenómeno, neste caso as temperaturas elevadas, sobre o território. Imagine-se um Verão em que as temperaturas são extremamente elevadas, a obtenção dos dados e seu cruzamento permitiria, quase em tempo real, ter uma ideia das áreas de uma cidade mais afectadas e contribuir para a intervenção de uma acção de emergência.

5.2 - Os satélites Landsat e NOAA (satélites utilizados na dissertação)

Numerosos são os satélites existentes, em que muitos foram aperfeiçoados entre outros que recentemente emergiram tentando dar resposta aos novos desafios. Por conseguinte, não serão apresentados todos os satélites existentes, que são vastos e tornaria a leitura fastidiosa, pelo que se dará primazia apenas aos satélites Landsat e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA/AVHRR), uma vez que são os utilizados na dissertação.

No final da década de '60 a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) produziu um programa de sucesso (*Earth Resources Technology Satellite*, ETRS 1) que previa o lançamento do primeiro satélite comercial para o espaço. Em Julho de '72 foi substituído pelo Landsat 1, o primeiro satélite de sete até ao momento da família dos satélites denominada Landsat, desenvolvidos para a observação dos recursos terrestres. No entanto, somente com o lançamento do Landsat 3 em '78 é que passou a incluir a banda térmica (10,4 a 12,6 μm). Além do principal sensor o *Multi Spectral Scanner System* (MSS) que possui uma resolução espacial de cerca de 80 metros e uma resolução radiométrica de 6 bits – 64 números digitais (ND⁴). Este deixou de funcionar por uma anomalia, sendo substituído em 1982 pelo Landsat 4 onde já operava um novo sistema de sensor, o *Thematic Mapper* (TM). Existia igualmente um canal térmico com a resolução espacial de 120m, a melhor até então. Os canais do visível e infravermelho próximo e médio (bandas 1,2,3,4,5 e 7) tinham uma resolução espacial de 30m, sendo a radiométrica de 8 bits, o que equivale a 256 ND (Lopes, 2003; Ribeiro, 2007; Borsoi, 2008).

Em Abril de 1999 foi lançado o Landsat 7, no qual o sensor TM foi substituído pelo *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) que de entre as várias melhorias técnicas, evidencia-se a adição de uma banda espectral, a banda pancromática com uma resolução espacial de 15m e a significativa melhoria da resolução espacial da banda térmica para 60m, permitindo ainda optar por uma imagem de baixo ganho ou alto ganho (situação que tem a ver com questões de saturação da imagem). Todo este aperfeiçoamento no sensor torna o Landsat 7 ETM+ no satélite mais interessante para adquirir imagens e operar a uma escala local, como é o caso do estudo do padrão radiativo e energético da cidade de Lisboa (à excepção de resolução temporal). O satélite opera a uma altitude de 705 Km e caracteriza-se pela orbita repetitiva, circular e heliosíncrona, o que significa que passa à mesma hora solar em qualquer ponto da superfície observada. A orbita efectua-se em aproximadamente 99 minutos, passa sobre o mesmo ponto da superfície terrestre a cada 16 dias e é descendente, ou seja, de sentido norte/sul cruzando a linha do equador entre as 10 e as 10:15 (hora

⁴ As imagens captadas equivalem a matrizes regulares em que cada elemento da matriz, também designado por *pixel*, está associado a uma dada área do terreno. O valor de cada pixel ou número digital depende da quantidade de energia electromagnética reflectida e/ou emitida por cada elemento do terreno correspondente a esse pixel. Quanto maior o número de pixéis maior a capacidade do sensor do satélite em distinguir a intensidade de energia electromagnética (Santos, 2003; Ribeiro, 2007).

local) a cada passagem (Lopes, 2003; Ribeiro, 2007; Borsoi, 2008; <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>).

O satélite NOAA é possivelmente o mais utilizado nos vários estudos das ciências da terra e do espaço, pois as imagens são de recepção livre e a resolução temporal diária. Ainda que bastante utilizado para aplicações terrestres, apresenta um grande inconveniente quando aplicado a estudos como a climatologia urbana, pois a resolução espacial é de 1,1 km, não permitindo a caracterização pormenorizada das superfícies urbanas. Ainda assim é muito utilizado neste tipo de estudos porque possuem bandas visíveis e térmicas.

Desenvolvido essencialmente para fins meteorológicos, o primeiro satélite foi lançado em 1970, e em '78 incluiu o sensor *Multispectral Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Os satélites NOAA efectuam 14 orbitas em torno da Terra e estão a uma altitude de 833 a 870 Km da superfície terrestre (com menor resolução espacial). Efectuam três passagens diárias e nocturnas sobre o mesmo local. O ideal seria a fusão entre a resolução espacial dos Landsat com a resolução temporal dos NOAA (Lopes, 2003).

Apresentam-se as características de um dos últimos satélites da família NOAA o NOAA 17 lançado em Junho de 2002. Este regista imagens de toda a superfície terrestre em seis bandas espectrais: um no visível (banda 1 de 0,58 a 0,68 μm), dois no infravermelho próximo (banda dois com 0,72 a 1,0 μm e a banda três de 1,58 a 1,64 μm), um no infravermelho médio (banda 3 B de 3,55 a 3,93 μm) e por fim dois no infravermelho térmico (banda 4 de 10,3 a 11,3 e a banda 5 de 11,5 a 12,5 μm) (<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>).

Também se utilizam os satélites Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) para estudos em climatologia urbana, nomeadamente os já mencionados estudos efectuados por Gallo (2005). Este satélite tem tido um grande investimento por parte da NASA e de entre as várias potencialidades destacam-se as seguintes: avaliação da temperatura de superfície, quer do solo quer da superfície do oceano e a análise das características das nuvens (http://terra.nasa.gov/About/MODIS/about_modis.html).

O satélite Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) lançado pela NASA em 1999 é o único com capacidade em obter imagens de alta-resolução, de 15 a 90 m^2 por célula, nas regiões dos espectros visível, infra-vermelho e infra-vermelho térmico. O principal objectivo dos cientistas na utilização deste satélite é a criação de mapas pormenorizados da temperatura da superfície terrestre, emissividade, reflectância e elevação (http://terra.nasa.gov/About/ASTER/about_aster.html).

Parte II – Caracterização da área de estudo

A procura da população pelo espaço urbano tem originado a sua expansão e o caso de Lisboa não é excepção. No entanto, por vezes o processo de urbanização não é sustentado como se irá comprovar. Os densos edifícios alteram, por exemplo, as condições de ventilação, podendo aumentar a probabilidade de excessos térmicos. Na verdade, “ O clima da cidade é a forma mais evidente de modificação climática inadvertidamente provocada pelo Homem (...)”OKE, 1995. As cidades possuem ainda factores que modificam o balanço radiativo e energético (como mencionado anteriormente) que aumentam a sua vulnerabilidade às temperaturas elevadas.

No caso específico de Lisboa, “(...)Estudos recentes evidenciaram que Portugal, incluindo Lisboa, é vulnerável aos impactos das alterações climáticas (...)” (Santos *et al.* citado por Dessai, 2002). Neste sentido, as temperaturas excessivas poderão acarretar consequências perniciosas para a cidade de Lisboa.

Será caracterizado o clima urbano⁵ de Lisboa, até porque “(...) A situação é agravada em cidades que possuem o seu próprio microclima complexo, normalmente mencionado como o efeito de ilha de calor urbana (...)” (Huttner, 2009), e será analisada também a sua expansão. Não se pretende uma caracterização fastidiosa do modelo de crescimento urbano da cidade, mas tendo em conta o objecto de estudo é pretendido apresentar apenas as principais transformações por que a cidade passou até às últimas décadas, pondo em evidência a forma como se correlacionam com as variáveis climáticas.

1 – Enquadramento geográfico de Lisboa

A cidade de Lisboa (figura 1) ocupa uma área de 84 Km² e está localizada a 38º 43’ de latitude norte e 9º 9’ de longitude oeste. Situa-se a ocidente da Península Ibérica, próximo do litoral e na margem norte do estuário do Tejo, o que com as características topográficas (relevo ligeiramente acidentado, influenciado a oeste pela Serra de Monsanto) e urbanísticas molda as suas condições climáticas (Alcoforado, 1987; Dessai, 2002; Alcoforado e Lopes, 2003; Alcoforado e Andrade, 2007).

⁵ Segundo a WHO (2004), o clima urbano é o clima local que foi sujeito a uma mudança devido às interações dos espaços urbanizados (e em que é incluído, por exemplo, a emissão de poluentes) e o clima regional.

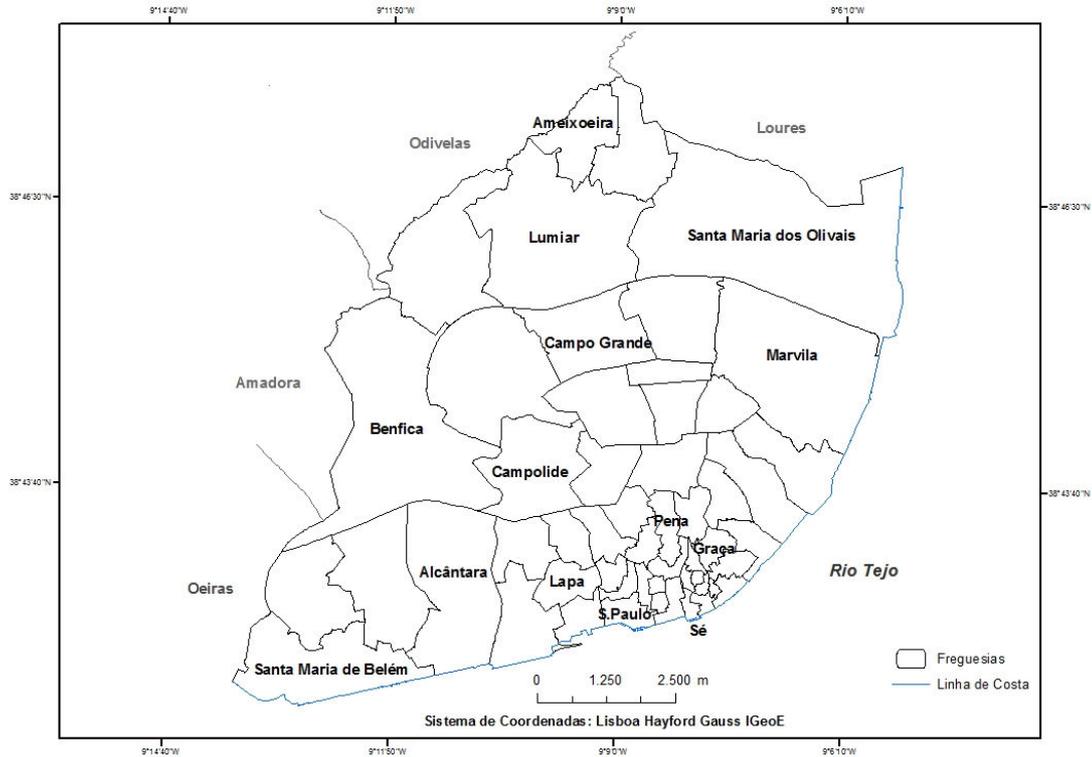


Figura 1 - Localização geográfica de Lisboa

O concelho de Lisboa é delimitado a oeste pela Serra de Sintra e a norte pela Serra da Carregueira, pela depressão de Loures e pela Ribeira de Odivelas.

Apesar de topograficamente a cidade ser um pouco acidentada, não existem grandes variações altitudinais. A oeste, como mencionado, localiza-se a Serra de Monsanto onde a altitude máxima é de 216m e a este de Monsanto prolonga-se o comumente designado “Planalto de Lisboa” onde as altitudes vão dos 80 a 100m, decrescendo estas à medida que se caminha rumo ao rio Tejo. Esta superfície a norte é constituída por alguns vales largos como o Campo Grande, a Avenida Gago Coutinho e Benfica, porém também à medida que se direcciona para o rio vai-se tornando mais entalhada pelos vales estreitos e encaixados, de direcção norte/sul (Andrade, 2003).

O “Planalto de Lisboa” na área oriental vai diminuindo a sua altitude à medida que se aproxima do rio, alcançando a sua altitude máxima no Parque da Bela Vista e a altitude mínima na frente ribeirinha.

A sul, já no estuário do Tejo, o relevo é mais acidentado existindo alguns interflúvios mas ainda assim a altitude não ultrapassa os 100m (Alcoforado, 1993).

É em toda a frente ribeirinha e nas diversas zonas de vale, existentes um pouco por toda a cidade, que se localizam as áreas baixas (Baltazar, 2010).

2 – Morfologia urbana

Actualmente, a morfologia urbana de Lisboa é heterogénea resultante das várias fases e ritmos de crescimento que sofreu, existindo edifícios e estruturas urbanas muito distintas.

Lisboa possui, no sul da cidade, um núcleo primitivo que subsiste até aos dias de hoje. Esta área central é a mais antiga e o seu desenvolvimento deu-se em torno da colina original amuralhada. Caracteriza-se por uma ocupação densa e que depressa se expandiu extra-muros, para sul (Alfama) até à actual Baixa. Posteriormente, prolongou-se pelas colinas contíguas, os bairros históricos de Alfama, Castelo, Graça e Mouraria. Este tecido urbano, evidencia claramente a influência da topografia acidentada referida no ponto anterior, tratando-se de uma malha irregular, onde as ruas possuem um traçado apertado e sinuoso e onde a densidade de construção é elevada (Lopes, 2003; Salgueiro, 2001 citado por Baltazar, 2010).

Aquando dos Descobrimentos, registou-se o processo de urbanização do Bairro Alto, de traçado ortogonal, e a ocupação da faixa ribeirinha por infra-estruturas de transporte, armazéns e estaleiros navais, como por exemplo Alcântara (CML 2009 citado por Baltazar, 2010).

Após o terramoto e o maremoto de 1755 surgiu a oportunidade de renovação urbana movida por Marquês de Pombal. A Baixa foi reconstruída sob um traçado rectilíneo, caracterizando-se por ruas longitudinais, norte/sul, e transversais oeste/este. No início do século XIX Lisboa já verificava um alargamento relevante do território, mas o desenvolvimento da cidade foi estruturado principalmente pela abertura das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis, na segunda metade do século XIX. A expansão da cidade passou a fazer-se para o norte, da Baixa em direcção ao “Planalto de Lisboa”, alterando-se a forma da cidade para uma estrutura radiocêntrica (Lopes, 2003; Baltazar, 2010).

O crescimento da cidade continuou, registando-se sobretudo após a 2ª Guerra Mundial, com a construção de eixos de saída/entrada na cidade em direcção a norte, como Queluz, Mafra, Porto e Sintra. Mais uma vez se constata a influência da topografia na expansão urbana, pois as vias de comunicação principais (como a Avenida de Ceuta) progrediram essencialmente ao longo dos vales (Alcoforado, 1993; Salgueiro, 1992 citado por Baltazar, 2010).

Actualmente é possível distinguir duas áreas na frente ribeirinha: a oriental onde permanecem as infra-estruturas portuárias e ferroviárias, sendo a única excepção o Parque das Nações de crescimento urbanístico recente, e a área ocidental, de exemplo Alcântara e Belém, que foi sendo progressivamente ocupada por espaços verdes (Baltazar, 2010).

No final do século XX, registou-se uma proliferação de novas urbanizações na área mais periférica de Lisboa, designadamente o bairro de Telheiras nos anos ´70, a urbanização do Alto do Lumiar e a oriente o Parque das Nações, onde se destaca uma ampla área de habitação, serviços e equipamentos. A criação dos eixos de saída/entrada na cidade implicou a urbanização prolongar-se também pelos concelhos limítrofes, como Oeiras, Amadora, Loures, Sintra e Cascais, formando um contínuo urbano (Lopes, 2003; Baltazar, 2010).

De acordo com a importância dos espaços verdes urbanos, anteriormente referida, verifica-se que da estrutura verde da cidade se salienta a ocidente o Parque Florestal de Monsanto. A sua extensão é de suma importância pelas suas múltiplas funções. Existem igualmente outros espaços verdes representativos na cidade como o Parque Eduardo VII, o Jardim do Campo Grande e o Parque da Bela Vista.

Segundo Lopes (2003) e Alcoforado (2006) o crescimento urbanístico recente, tem sido efectuado de forma desajustada, sem um planeamento prudente, repercutindo-se de forma prejudicial em termos ambientais. Tenhamos em conta que as áreas de maior expansão na actualidade localizam-se a norte e noroeste da cidade, prolongando-se pelos concelhos adjacentes, facto que já demonstrou uma redução na velocidade média do vento até à década de 80, em cerca de 30% no sul da cidade (Lopes, 2003; Lopes *et al.* 2011). A manter-se o aumento da rugosidade, assistiremos a um “efeito de barreira” da penetração dos ventos dominantes no interior da cidade, impedindo o normal arejamento

da cidade, o que por sua vez se vai repercutir na fraca dispersão dos poluentes, incrementar o efeito de ilha de calor urbana e a intensidade das vagas de calor e aumentar o desconforto térmico da população, sobretudo no Verão. (Lopes, 2003; Alcoforado, 2006; Lopes *et al.* 2011). Tendo em conta que o ambiente urbano influencia a saúde humana e por todas as razões já evidenciadas, um maior sobreaquecimento da cidade, será nefasto, pois os custos são inúmeros, como o aumento da mortalidade associada ao calor (McMichael, 2001; Alcoforado, 2006).

Esta situação põe em evidência a débil comunicação entre os agentes do planeamento e os climatologistas (ou áreas equivalentes), pois dever-se-ia caminhar para uma sustentabilidade urbana e construir tendo em conta as variáveis climáticas e a morfologia urbana (Alcoforado, 2006).

3 – O clima de Lisboa: o regime das temperaturas e as ilhas de calor

O clima da cidade é de tipo mediterrâneo, distingue-se pela moderação térmica e possui segundo a terminologia de Koppen a classificação de *Csa* (http://www.uwmc.uwc.edu/geography/100/koppen_web/koppen_map.htm). Particularizam-se duas estações térmicas distintas: um Verão quente e seco, em que a média da temperatura máxima do mês de Agosto é de 27,8°C (figura 2) e um Inverno de temperaturas mais baixas e chuvoso, ocorrendo a maior parte da precipitação de Outubro a Abril.

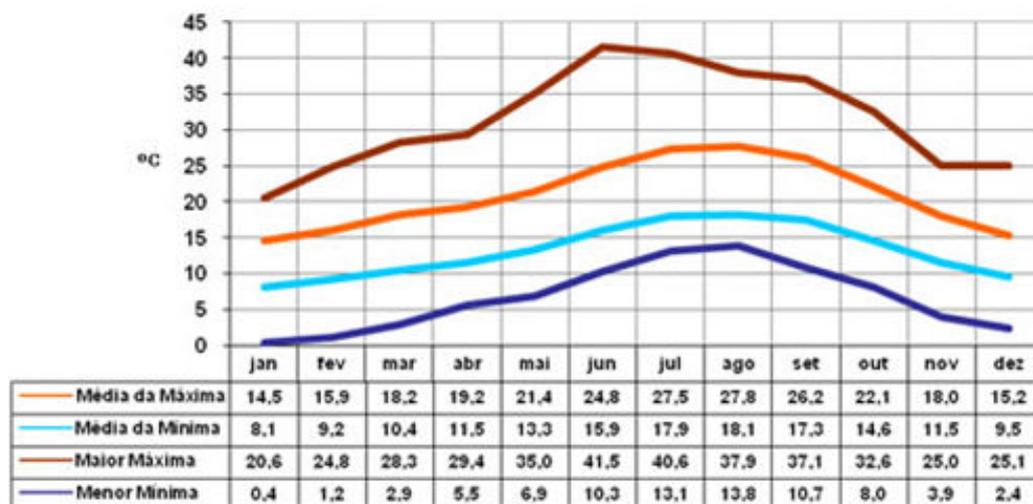


Figura 2 - Normal climatológica da estação de Lisboa de 1971 a 2000.

Fonte: <http://www.meteo.pt>

No clima da cidade intervêm, vários factores geográficos regionais, como a sua latitude, a proximidade ao Oceano Atlântico e as Serras de Sintra e da Carregueira. Caracteriza-se por um regime de ventos bem marcado, distinguindo-se os ventos do quadrante N e NW. A uma escala mesoclimática evidencia-se a topografia acidentada e a sua posição junto ao estuário do Tejo. Na escala local e microclimática, o clima da cidade é originado pela modificação dos factores atrás mencionados devido às próprias características da cidade, de que é exemplo a morfologia urbana. Neste sentido, é possível definir vários topoclimas (Alcoforado, 2006).

Os ecossistemas urbanos têm alterações climáticas próprias das características que possuem, de que é exemplo o próprio processo de urbanização. A circulação do ar é alterada pela presença de edifícios que funcionam como obstáculos, pelo que a velocidade do vento é geralmente menor. No entanto, em certos locais pode ser acelerado onde

o estreitamento dos edifícios origina a sua aceleração (efeito *Venturi*) (Lopes, 2003). Mas de todas as modificações climáticas de génese antrópica a mais evidente e conhecida é a ICU.

Segundo Oke (1987, 1995) podem distinguir-se três tipos de ICU dependendo da camada atmosférica em que se formam ou contactam.

✓ A ICU de superfície contacta com a atmosfera urbana inferior e corresponde às superfícies urbanas mais quentes que as superfícies rurais. Recorre-se habitualmente à Detecção Remota para proceder à sua análise. Os primeiros estudos em Lisboa datam de 1986 e foram empreendidos por Alcoforado. Posteriormente, destaca-se Lopes (2003) que utilizando uma imagem de satélite Landsat (como sucede no presente trabalho) intensificou o conhecimento deste padrão térmico e fluxos radiativos e energéticos que estão na sua génese;

✓ A ICU da atmosfera urbana inferior (*urban canopy layer*) que está entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios. As temperaturas são medidas abaixo do nível dos telhados.

✓ A ICU da atmosfera urbana superior (*urban boundary layer*) que é formada pela anterior e se prolonga, por vezes, até à atmosfera livre, ou seja, diz respeito à parte superior da camada limite urbana.

A ICU mais bem estudada é a da atmosfera urbana inferior, que como se correlaciona com a ICU de superfície procede-se a uma brevíssima caracterização. É dada maior importância à ICU de superfície por ser a utilizada na dissertação.

Ilha de calor da atmosfera urbana inferior

Em Lisboa, vários foram os estudos que detectaram esta ICU, especialmente durante a noite, situando-se a intensidade média da ICU nocturna entre 1 a 4°C, podendo, no entanto, os valores serem superiores (Andrade, 2003; Alcoforado e Andrade, 2005; Alcoforado, 2007). Assim, conhecer as áreas da cidade mais afectadas por este fenómeno revela-se de extrema importância, para depois correlacionar com as variáveis utilizadas ao longo do trabalho, uma vez que têm implicações a vários níveis no ambiente citadino.

De noite, a ICU (quer de Verão quer de Inverno) surge em situações de calma atmosférica (devido às causas da formação da ICU anteriormente mencionadas) ou em situações de vento fraco a moderado como consequência do efeito de abrigo dos ventos dominantes do quadrante Norte. De acordo com a figura 3, o núcleo da ICU situa-se normalmente na Baixa, alastrando-se para Norte, em direcção às Avenidas Novas (áreas de crescimento da cidade). As áreas mais frescas são habitualmente o Parque do Monsanto e a periferia Norte de Lisboa.

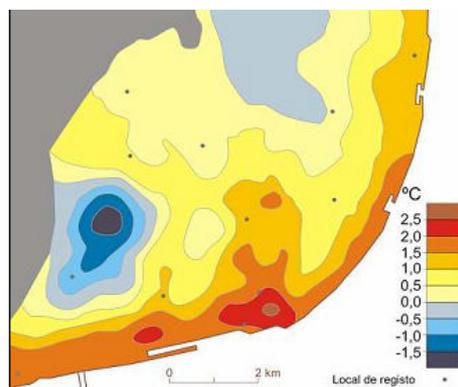


Figura 3 - Ilha de calor nocturna de Lisboa

Fonte: Andrade, 2003

De dia podem alternar situações de ilha de calor com “ilhas de frescura” (IF), quer de Verão quer no Inverno. Alguns dias de Verão em que não raras são as ocasiões de ventos do quadrante Norte, a Baixa Pombalina e os bairros em posição mais abrigada junto do rio Tejo, manifestam as temperaturas do ar mais elevadas da cidade, registando-se deste modo uma ICU. Mas esta é por vezes alternada por uma IF aquando da ocorrência das brisas que provêm do Oceano Atlântico e do estuário do Tejo. Assim sendo, a Baixa e os bairros ribeirinhos podem apresentar uma temperatura bem inferior ao Norte da cidade, cerca de 3 a 4°C.

No Inverno esta situação de alternância é similar, registando-se por vezes uma ilha de calor aquando da influência dos ventos de Norte e em condições de céu “limpo” e uma IF em situações de nevoeiro no Tejo (Alcoforado e Dias, 2002; Alcoforado, 2006).

Ilha de calor de superfície

A temperatura de superfície (T_s) desempenha um papel crucial na compreensão do balanço energético da superfície terrestre, pois controla o fluxo de energia em grande comprimento de onda para a atmosfera e é naturalmente condicionada pelo albedo, humidade e vegetação.

Lopes (2003, 2009) estudou a ICU de superfície a partir das T_s estimadas com base nos satélites NOAA de Agosto de 1998 a Julho de 1999, utilizando para o efeito dois locais de estudo com características distintas: o centro da cidade (Baixa) e o Aeroporto. Referem-se os principais resultados.

No que diz respeito às diferenças diurnas, somente no Verão, a superfície do centro da cidade, possui em média menos 2 a 4°C que a periferia, estando naturalmente menos aquecida e originando uma “ilha de frescura”. Durante a noite sucede o inverso, a temperatura de superfície do centro da cidade é mais elevada que a do Aeroporto.

As diferenças mais evidentes ocorrem durante a época mais fria do ano, pelo que no Outono e no Inverno (mais de 70% dos dias) predominam de forma clara as situações em que a T_s nocturna é superior no centro da cidade. É igualmente no período mais frio do ano que ocorre a maior percentagem de dias em que a T_s do centro da cidade, na Baixa, se encontra mais quente que o Aeroporto.

Concluí-se que na época mais fria do ano forma-se com regularidade uma ilha de calor de superfície nocturna, sendo raras as situações em que as superfícies da periferia se encontram mais quentes que o centro da cidade. Porém no Verão, existe uma grande diminuição do número de noites em que a Baixa se encontra mais aquecida, pelo que é mais habitual, nesta estação térmica, a periferia estar mais quente ao longo do dia (Lopes, 2003; 2009).

Parte III – Metodologia

O presente estudo possui dados diversos e de várias fontes assim como vários métodos. É pretendido neste ponto esclarecer as opções seleccionadas.

1 – Os dados

Para a elaboração do presente estudo, foram utilizados vários tipos de dados entre eles:

a) Dados Climáticos e Qualidade do Ar

Dados da temperatura do ar – dados diários da temperatura mínima, máxima e média de 1998 a 2008, referentes à estação meteorológica de Lisboa/Gago Coutinho, obtidos através do *National Climatic Data Center* (NCDC);

Dados do ozono (O₃) – concentrações horárias de ozono troposférico para o período em análise (1998/2008) e para todas as estações da cidade de Lisboa, disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente em <http://www.qualar.org>;

b) Dados Estatísticos

Dados da mortalidade – dados diários do número de óbitos ocorridos por freguesia de 1998 a 2008, por grupo etário e sexo (Instituto Nacional de Estatística, INE);

Variáveis socioeconómicas – taxa de analfabetismo, taxa de desemprego, população residente, população residente com idade \geq a 65 anos por sexo, população residente com ensino superior completo, por freguesia, que datam dos últimos censos (2001), INE;

c) Informação Vectorial

Limite Administrativo das freguesias – retirado da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) versão 2009.0.

Corine Land Cover (CLC⁶) - disponibilizado pelo Instituto Geográfico Português em <http://www.igeo.pt/gdr>;

Edifícios e Espaços Verdes – informação cedida pela Câmara Municipal de Lisboa (CML) no formato *shapefile* com o índice de construção⁷ e o respectivo ano dos edifícios e os espaços verdes por freguesia. Estes dados foram convertidos do formato *shapefile* para *raster*, e calculados com recurso ao software ArcGis. A resolução da célula foi de 10 m e as *grids* obtidas são do tipo *floating point*.

A superfície de espaço verde com discriminação entre espaços públicos e privados (por habitante) foi extraída de Santos, 2009.

d) Informação Raster

Imagens de satélite – Para estimar a Temperatura de Superfície (T_s) diurna e nocturna diária de Lisboa do ano de 2003, referente aos quatro meses estivais, Junho, Julho, Agosto e Setembro foram retiradas cerca de 260 imagens de

⁶ Mapa de caracterização do uso e ocupação do solo, com escala de 1:100 000.

⁷ De acordo com o Regulamento Geral das Edificações Urbanas, RGEU, o índice de construção é o quociente entre a área bruta de construção e a dimensão do terreno.

satélite (não foram importadas as que estão afectadas por nuvens ou não possuem dados). Estas foram adquiridas através do site EOWEB.DLR (Earth Observation on the WEB) que utiliza o satélite NOAA-AVHRR. A instituição *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt* (DLR) é uma das que disponibiliza este tipo de informação, sendo os dados facultados pela Agência Espacial da Alemanha, *Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum* (DFD).

Assim as T_s foram obtidas através da DLR, sob a forma de imagens e com uma resolução de 1,1 Km, o que é bastante razoável para estudos de climatologia regional (Alcoforado *et al.* 1996), mas, como foi referido, tendo em conta a escala de análise deste trabalho a dimensão do pixel é um factor limitativo. As imagens diurnas resultam de três passagens consecutivas efectuadas pelo satélite NOAA 16 e 18 formadas por *píxeis* que apresentam o máximo da T_s diurna. As imagens nocturnas são processadas de igual forma mas apresentando o máximo da T_s nocturna resultante das três passagens nocturnas. Remetem-se todas as características do satélite, nomeadamente a resolução radiométrica e a fórmula necessária para a conversão dos dados escalonados em cinzento para as T_s para o endereço da seguinte página electrónica http://eoweb.dlr.de/short_guide/D-LST.html.

Para se proceder ao cálculo do balanço radiativo e energético em Lisboa, utilizou-se a imagem de satélite Landsat 7 ETM + de 24 de Junho de 2000 ($\pm 10h$), obtida no *Global Land Cover Facility* (GLCF - <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). De entre as escassas imagens existentes, esta foi a que se ajustava melhor aos objectivos pretendidos, na medida em que o objectivo da dissertação é a espacialização de áreas com diferente susceptibilidade ao calor extremo, pelo que era pretendido uma situação típica de um dia de Verão para estimar o balanço radiativo e energético da cidade de Lisboa. As restantes opções não se enquadravam no propósito (uma imagem de Março de 1989 e outra de Julho de 2007, que não foi seleccionada porque o Verão de 2007 foi considerado pelo Instituto de Meteorologia como o que apresentou as temperaturas médias do ar mais baixas dos últimos 20 anos em Portugal Continental).

2 – Os métodos

Uma nota para o facto de em todas as análises efectuadas ao longo da dissertação, referente a todas as componentes, as regressões simples e múltiplas foram os métodos aplicados nos dados para analisar a relação entre a mortalidade e os factores que a condicionam. Na avaliação dos resultados foi considerado sempre um nível de confiança de 95% tendo sido utilizado o método *Forward Stepwise*⁸ nas regressões múltiplas. Todas estas análises foram elaboradas a partir de dados por freguesia. No entanto, algumas unidades têm pouca população, não permitindo um tratamento estatístico adequado, pelo que se procedeu à agregação de algumas freguesias, tendo-se utilizado em simultâneo dois critérios:

- ✓ O limite da área histórica definida pela Câmara Municipal de Lisboa (de acordo com os artigos 29º e 30º Secção I do regulamento do Plano Director Municipal em vigor, actualmente em processo de revisão), pois é constituída por freguesias diminutas e com pouca população;
- ✓ O critério de um estudo epidemiológico (Tan, 2008). Refere que a população que habita num edificado de qualidade inferior e sem ar condicionado está mais vulnerável de ser afectada pelo calor.

⁸ Regressão passo a passo que elimina as variáveis independentes que não contribuem para a explicação da variável dependente pondo em evidencia hierarquicamente a(s) variável (eis) com maior capacidade explicativa.

Desta forma, foram agregadas as freguesias do centro histórico de Lisboa, que simultaneamente possuem pouca população e têm um edificado mais antigo e, regra geral, não possuem ar condicionado (somente se tiver sido solicitado). Assim foram agregadas 18 freguesias o que originou uma só unidade espacial, denominada precisamente de “Área Histórica”. Esta é constituída pelas seguintes freguesias: São Paulo, Mártires, Sé, Madalena, São Miguel, São Nicolau, Sacramento, Santo Estêvão, Santiago, Castelo, São Cristóvão e São Lourenço, Encarnação, Santa Catarina, Mercês, São Vicente de Fora, Socorro, Santa Justa e Graça. Desta forma a cidade passa de 53 para 36 unidades de análise (figura 4), sendo esta mais homogénea sob o ponto de vista populacional.

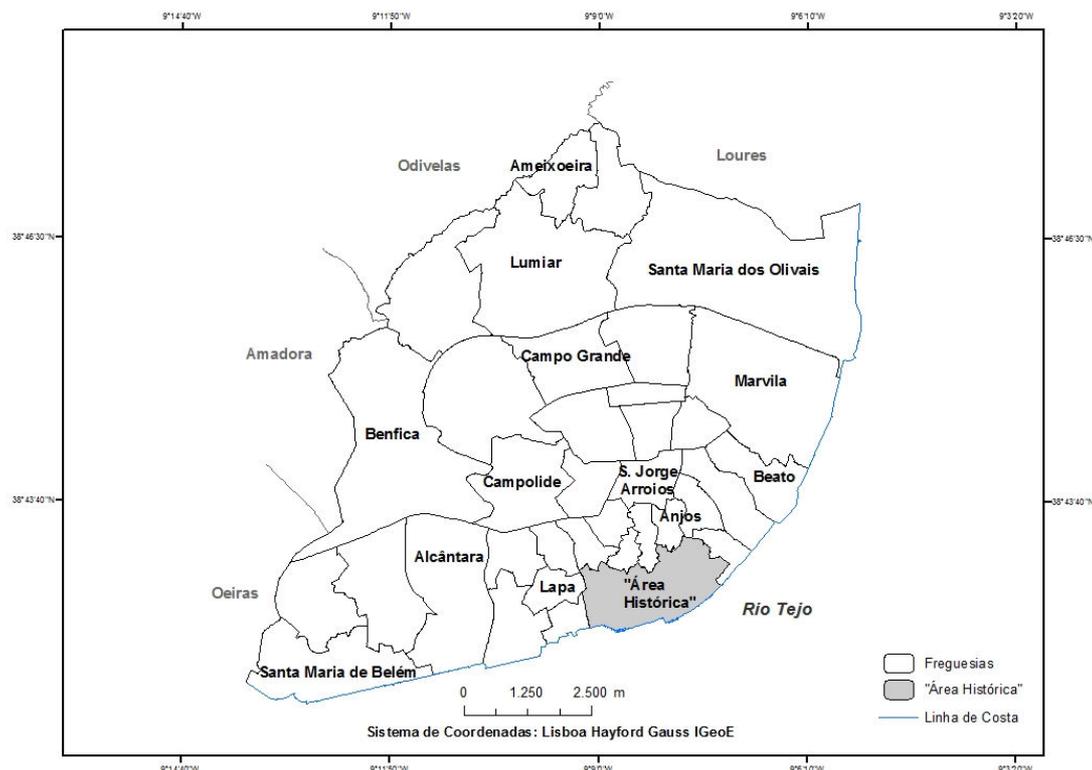


Figura 4 - Agregação das freguesias mais pequenas do centro de Lisboa.

2.1 – A Perigosidade

2.1.1 – A perigosidade ao calor excessivo no período de 1998/2008 e em 2003

O período de 1998/2008

Análise estatística da relação entre a mortalidade, a temperatura e o O₃

Foi avaliada a relação entre a mortalidade, como variável dependente, e as variáveis de perigosidade seguintes: a temperatura e o ozono. Era pretendido conhecer o comportamento destas variáveis nos quatro meses estivais (Junho/Setembro) do período em estudo, antes de se prosseguir em análises de maior detalhe.

Os dados do ozono utilizados correspondem ao O₃ máximo diário às 12h e 15h, registado nas várias estações da cidade de Lisboa do período em análise. Os dados da temperatura dizem respeito a dados diários da temperatura

mínima, máxima e média registada na estação meteorológica de Lisboa/Gago Coutinho. A mortalidade diária é representada por quatro parâmetros:

- i. “Mortalidade total” (sem qualquer tipo de distinção etária);
- ii. Mortalidade da população com idade superior ou igual a 65 anos (≥ 65) (de forma a isolar a população idosa);
- iii. Mortalidade na população com idade ≥ 65 , distinguindo-se homens e mulheres ($\geq 65H$ e $\geq 65M$ respectivamente).

Nesta análise realizaram-se várias regressões simples entre a mortalidade (subdividida nos quatro parâmetros atrás mencionados) e os indicadores de perigosidade (temperatura máxima, média, mínima, ozono às 12 e 15h), de forma a apurar o melhor ajustamento dos dados. Apresentam-se os melhores resultados, que dizem respeito à regressão polinomial de 2ª ordem, pois ampliou sempre a capacidade explicativa das variáveis independentes, por vezes em mais de 10%, estando sempre assegurada a representatividade estatística.

Note-se que devido ao extenso período em estudo, o volume dos dados é enorme pelo que as séries foram ordenadas em função da variável independente e em seguida divididas em 20 classes/grupos de igual frequência e calculado o valor médio para cada grupo (quadro 1).

Quadro 1 - Quadro alusivo às fases do tratamento dos dados.

- a) Organização da informação em função da variável independente, já com a divisão em 20 grupos de igual frequência. Verifica-se um excerto de um dos grupos de dias.

Grupo de Dias	Ano	Mês	Dia	Nº Freguesias	Temperatura Máxima	Total Óbitos
1	2002	6	4	20	17,2	24
1	2001	6	9	12	17,8	13
1	1998	6	1	19	17,8	24
1	2002	6	6	18	17,8	20
1	2000	6	9	13	18,3	16
1	2002	6	5	14	18,3	17

- b) Grupos de dias já estão formados, procedendo-se ao cálculo do valor médio em cada grupo.

Grupo de Dias	Valor Médio da Temperatura Máxima	Valor Médio do Total Óbitos
1	20,3	19
2	22	19,1
3	22,7	17,4
4	23,3	18,5
5	23,8	18,4
6	24,3	18,4

Elaborou-se de seguida uma regressão múltipla, seguindo o método *Forward Stepwise*. A análise anterior permitiu verificar que a temperatura média deteve maior capacidade explicativa. Pretendia-se agora, com outro método, continuar a analisar se se mantinha a mesma importância das variáveis relacionadas com a mortalidade.

O período estival de 2003

Análise estatística da relação entre a mortalidade e a temperatura do ar, temperatura de superfície (T_s) e O_3 em 2003

Efectuou-se uma análise idêntica à anterior, pretendendo-se conhecer a relação entre a mortalidade e os parâmetros da perigosidade, mas apenas para os quatro meses estivais (Junho/Setembro) de 2003. Esta situação deve-se ao facto de nesta análise se terem integrado mais dois indicadores de perigosidade, a (T_s) diurna e nocturna diária estimada com base na radiância registada nas bandas térmicas do satélite NOAA-AVHRR, não se equivalendo, portanto, à temperatura da atmosfera. A introdução das T_s diurna e nocturna na análise pretendeu avaliar se a mortalidade se correlaciona com variáveis desta génese pois, normalmente, não são tão utilizadas.

Como foi mencionado as imagens são cerca de 260 e a importação de todas elas e seu respectivo tratamento manifestou-se uma das fases mais laboriosas da dissertação. Não só por serem muitas imagens como também por se tratar de um processo moroso. Por este motivo apenas foi seleccionado um período estival, o de 2003, que por ter sido anómalo permitiu tirar conclusões com base num cenário já de si extremo, como foi o Verão desse ano. Desta forma vai-se ao encontro do propósito da dissertação: a relação entre a mortalidade e a temperatura extrema em Lisboa.

As imagens possuem uma projecção estereográfica e *datum* WGS84 e são referentes a toda a Europa. Para se proceder à georreferenciação, foram aplicadas as instruções do site, importando-se o software ENVI 4.6.1. Posteriormente, cada imagem foi convertida numa projecção *Universal de Mercator Transversa* (UTM) com o *datum* WGS84 (fuso 29). Todas as imagens foram transferidas para o software ArcGis (9.3) e “cortadas” para a região de Lisboa. Em seguida, foram extraídos os valores dos pixéis referentes à T_s diurna e nocturna de cinco freguesias com características distintas (Benfica, Ameixoeira, Santa Maria dos Olivais, São Jorge de Arroios e Santa Maria de Belém) mas representativas de todo o espaço citadino.

Acrescentaram-se à base de dados os outros parâmetros de perigosidade, a temperatura do ar (mínima, média e máxima), o ozono às 12 horas (as concentrações de ozono às 15h não foram consideradas porque nas duas análises anteriores não obtiveram representatividade) e a mortalidade, procedendo-se à elaboração de uma regressão, com o método *Forward Stepwise*, para extrair as variáveis com maior poder de explicação. Devido à extensão dos dados, estes foram agregados em 15 classes de igual frequência, obtendo-se o valor médio para cada uma das classes, ou seja, para cada grupo de dias. A série foi ordenada por ordem crescente da escala temporal considerada (à semelhança da explicação da página 20 e que se encontra exemplificado através de um quadro).

2.1.2- Balanço radiativo e energético em Lisboa com recurso à imagem de satélite Landsat 7ETM+ de 24 de Junho de 2000 ($\pm 10h$, hora local)

A metodologia para a estimação dos termos do balanço radiativo e energético foi a apresentada por Lopes (2003) tendo sido adaptada (anexos I a IV). Para o cálculo do balanço radiativo é necessário uma imagem de satélite, neste caso Landsat 7 (com 7 bandas) e um modelo digital do terreno (MDT). O processamento das imagens foi efectuado com o *software* ArcGis 9.3 e o Idrisi 15.0 versão Andes.

Apresenta-se de seguida a validação do modelo de radiação (quadro 2), pois os dados das imagens de satélite foram estimados, tendo sido utilizadas várias técnicas e sites para confirmar se tinham coerência. Esta confirmação baseia-se no modelo do *software* *Rayman*, especialmente concebido para avaliar o conforto térmico com base no balanço radiativo, e na interface possibilitada através do *HelioServe*, *Centre d'Energétique de l'École des Mines de Paris* (<http://www.helioserve.cma.fr>). Como referido, em Lisboa não se efectuam medições sistemáticas das grandezas físicas do balanço energético, com excepção da radiação solar, pelo que não existe outra possibilidade de validar os dados. No entanto, a comparação dos resultados obtidos com os dois modelos não é muito diferente, o que limita os erros de estimação efectuados e aumenta a credibilidade dos resultados.

Quadro 2 - Confirmação dos resultados obtidos no balanço radiativo, através da comparação com o modelo *Rayman* e *HelioServe*, aquando da passagem do satélite Landsat 7 ETM+ a 24 de Junho de 2000.

Modelo	Radiação Solar			Radiação Terrestre			Balanço Radiativo
	$W m^{-2}$			$W m^{-2}$			$W m^{-2}$
	Global $K\downarrow$	Directa	Difusa	Reflectida $K\uparrow$	Atmosférica $L\downarrow$	Superfície $L\uparrow$	Q^*
Estimado	750	571	179	110	407	630	695
Rayman	792	572	220	na	375	582	na
HelioServe	916	753	163	na	na	na	na

na – valores não aferidos pelo modelo.

a) Modelação do balanço radiativo

- i) Conversão do formato - extracção das imagens de satélite Landsat 7 respeitantes às bandas 1,2,3,4,5,6 e 7 em formato *tiff* e conversão para formato *raster* no software ArcGis. Quando se operou em Idrisi e posteriormente foi necessário importar os ficheiros para ArcGis, fez-se em formato ASCII, convertendo-se depois para *raster*.
- ii) Georreferenciação – As imagens estavam associadas ao *Datum* WGS84 (fuso 29) e optou-se por manter este mesmo sistema de coordenadas.
- iii) Calibração radiométrica – todos os dados necessários foram adquiridos no site da NASA em <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>, ao qual também se faz menção em Chander, 2009.
- iv) Albedo exoatmosférico - estimado a partir da banda do visível bem como a infravermelha próxima e média, uma vez que o pico da reflectância ocorre nas bandas infravermelha próxima e média na ordem dos 0,7 e 1,3 μm .

De todo o balanço radiativo, a componente mais relevante é o balanço de radiação (Q^*) pois exprime a maior fonte de energia disponível para a maioria dos sistemas. De dia resulta da adição das fracções individuais de radiação em pequeno e grande comprimento de onda:

$$Q^* = k^* + L^* \text{ (W m}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

Em que:

K^* - Balanço da radiação em pequeno comprimento de onda = $K\downarrow - K\uparrow$

$K\downarrow$ - Radiação solar incidente ou também denominada por radiação global, esta é constituída pela radiação directa e difusa.

$K\uparrow$ - Radiação reflectida pela superfície – depende da energia solar incidente e do albedo da superfície, que varia por exemplo de acordo com as características físicas dos materiais, como a cor, e expressa-se pela seguinte equação:

$$K\uparrow = K\downarrow * \text{albedo (W m}^{-2}\text{)} \quad (1.1)$$

L^* - Balanço da radiação em grande comprimento de onda = $L\downarrow - L\uparrow$

$L\downarrow$ - Radiação emitida pela atmosfera – na inexistência de nuvens a radiação emitida pela atmosfera e recebida pela superfície varia em função da temperatura e da emissividade⁹ da atmosfera, de acordo com a Lei de Stefan – Boltzmann, descrevendo-se na equação que se segue:

$$L\downarrow = \epsilon * \sigma * T^4 \text{ (W m}^{-2}\text{)} \quad (1.2)$$

sendo ϵ a emissividade, σ a constante de Stefan – Boltzmann = $5,67 * 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ e T^4 a temperatura da atmosfera em graus Kelvin.

$L\uparrow$ - Radiação emitida pela superfície terrestre – que de igual forma depende da emissividade e da temperatura e é regida pela mesma lei.

$$L\uparrow = \epsilon * \sigma * T_s^4 + (1 - \epsilon) * L\downarrow \text{ (W m}^{-2}\text{)} \quad (1.3)$$

sendo T_s^4 a temperatura de superfície.

Note-se apenas que na equação anterior não foi considerado o segundo termo da equação $(1 - \epsilon) * L\downarrow$ porque a emissividade da maior parte das superfícies nas aglomerações urbanas é superior a 0,90 e a reflexão pela superfície da $L\downarrow$ apresenta valores muito baixos.

b) Modelação do balanço energético

i) Georreferenciação e uso do solo a partir da Corine Land Cover (CLC) - com base no sistema de coordenadas WGS84, procedeu-se à classificação das classes de uso do solo, em que se teve como referência, numa primeira análise, as que foram usadas em Lopes, 2003. Deste modo, obtiveram-se três classes: urbana, rural e florestal. À componente rural pertencem as áreas sem uma ocupação dominante mas que na óptica energética é análoga às áreas rurais. Porém, os resultados aferidos não foram exactamente concordantes com a realidade, o que poderá ser explicado pela própria classificação da CLC, pouco adaptada para o estudo em causa. Assim e não existindo áreas rurais, no seu verdadeiro

⁹ “Razão entre a energia radiante emitida pela superfície, num dado comprimento de onda e temperatura e a energia radiante emitida por um corpo negro nas mesmas condições” (Lopes 2003).

sentido em Lisboa, optou-se por utilizar dois grandes tipos de uso do solo: a área verde, correspondente à classe florestal e da qual fazem parte o Parque do Monsanto e alguns jardins, e a componente urbana que se refere a todo o edificado.

ii) Índice de Vegetação – Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – obtido através da diferença dos valores entre a banda infravermelha próxima, em que se evidenciam níveis elevados de reflectância e fraca absorção das plantas verdes, e a banda vermelha em que a reflectância espectral é baixa e dominada pela absorção (Belward, 1990 citado por Lopes, 2003).

$$\text{NDVI Landsat 7 ETM+} = \frac{(\text{banda 4} - \text{banda 3})}{(\text{banda 4} + \text{banda 3})} \quad (2)$$

A utilização deste índice torna-se fundamental porque mostra a quantidade e o estado da vegetação verde. Uma vegetação densa e robusta depende do seu estado fitossanitário, actuando como um agente dissipador do calor. O NDVI varia entre -1 e 1 correspondendo os valores positivos mais elevados à biomassa vegetal maior, sendo por conseguinte elevada a actividade fotossintética e a densidade de vegetação. Nestas áreas em que o coberto vegetal é denso o NDVI é habitualmente de 0,70, ainda que varie consoante a altura do ano. No Parque Florestal de Monsanto um NDVI de 0,20 já é considerado denso.

O balanço energético será apresentado num local em que a troca de energia é feita na vertical, não existindo a intervenção de factores como a proximidade do edificado ou das árvores, declive das superfícies e suas exposições. Expressar o balanço energético desta forma quando este se estabelece com recurso a imagens de satélite revela-se adequado, pois o balanço energético resulta dos fluxos que atravessam perpendicularmente a Terra. No entanto, não possibilita o cálculo de alguns elementos fundamentais de que são exemplo o cálculo dos fluxos em volumetrias, uma limitação das imagens de satélite. Por conseguinte, a superfície tem uma “espessura zero” anulando-se os termos da equação do balanço energético e não se introduzindo a influencia resultante do SVF entre outros factores.

Um outro factor importante que foi solucionado utilizando um MDT é a morfologia do terreno (declives e exposições).

De acordo com a definição de sistema, todas as grandezas atmosféricas descritas podem entrar ou sair do sistema, podendo o sinal de cada uma ser positivo ou negativo, no seu curso diário. Todavia, e como já foi mencionado os dados do Landsat 7 são referentes apenas às 10 h, hora local, e não expressam os fluxos no seu curso diário, pelo que todas as grandezas serão apresentadas como positivas, mencionando sempre as perdas e os ganhos para a superfície, a fim de se apreenderem as diferenças nos vários espaços da cidade. Ressalva-se igualmente que as siglas nesta explanação são comumente utilizadas pelos profissionais da área da climatologia, meteorologia, que seguem os trabalhos de OKE.

O cálculo do balanço energético da superfície, pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Q^* = QH + QE + QG \quad (3)$$

Em que:

QH – Fluxo de calor sensível – é comumente descrito como o calor sentido pelos seres vivos.

QE – Fluxo de calor latente – é o calor absorvido (ou libertado) por um sistema por unidade de massa, devido a mudança de estado da água. Uma nota para o facto de em muitos estudos (Parlow, 2000; Lopes, 2003) se associar estes dois fluxos através da razão de Bowen¹⁰ (BR) representada na seguinte fórmula:

$$BR = QH/QE \quad (3.1)$$

QG – Fluxo de calor antrópico, também designado por calor armazenado – é o calor que entra ou sai do material que compõe a superfície e depende das propriedades térmicas dos materiais, como a capacidade calorífica. Durante o dia é conduzido para as superfícies e ao longo da noite o calor é devolvido à atmosfera.

Q* - Balanço radiativo.

O indicador de perigosidade a considerar na componente da susceptibilidade, é a quantidade de energia disponível nas superfícies através da razão entre o fluxo de calor conductivo e o balanço radiativo, QG/Q* (Parlow, 2000). Este pode ser considerado, em linhas gerais, como o essencial para avaliar o calor disponível na superfície.

Foi realizada uma regressão entre esta variável e o índice de construção de forma a avaliar o grau de associação entre as duas.

2.2 – A vulnerabilidade

Os dados da população residente em cada freguesia são concordantes com os últimos censos (2001) no entanto, pretenderam-se análises mais precisas. Neste sentido, utilizaram-se os cenários demográficos para o período de 2001/2013 traçados pela CML (2009). Estas projecções contêm a taxa de variação populacional que foram aplicadas às unidades espaciais. Obteve-se assim um “ajustamento” da população para cada freguesia, calculando-se a taxa de mortalidade¹¹.

Foi igualmente tomado em consideração o trabalho de Dessai (2003) em que se concluiu que a temperatura de 29°C é o limiar crítico, na cidade de Lisboa, a partir do qual se verifica um incremento da mortalidade. Este limiar, utilizado em outras investigações destacando-se Gosling (2007 e 2009), é facilmente suplantado durante os meses estivais em Lisboa, pelo que não se assumiu um limiar crítico de temperatura no modelo. Pretende-se uma análise da mortalidade associada ao calor, que pode estar associado a uma situação de onda de calor ou a calor extremo¹².

Os parâmetros de vulnerabilidade utilizados na dissertação (quadro 3) tiveram em conta as variáveis que de acordo com estudos epidemiológicos (Smoyer - Tomic e Rainham, 2001; Besancenot, 2005; Harlan, 2006; Ramón, 2006; Champiat, 2008; Qian, 2008; Reid, 2009;) sua vulnerabilidade aumenta com as temperaturas elevadas. No entanto, das variáveis que se seguem as duas últimas não são mencionadas nestes estudos, mas são pertinentes o suficiente para

¹⁰ Se $BR > 1$ o QH é mais eficaz a remover o calor, se $BR < 1$ o input de calor para a atmosfera é feito essencialmente sob a forma de QE. Um valor negativo de BR mostra que os dois fluxos possuem sinais diferentes, tome-se como exemplo a noite em que o QH é negativo (descendente) e a evaporação da água a partir da superfície continua.

¹¹ $Taxa\ de\ mortalidade = \frac{Número\ de\ óbitos}{Habitantes} * 1000$

¹² O calor extremo ocorre quando a temperatura afecta o indivíduo não só psicologicamente como também fisiologicamente. É avaliado como outras variáveis físicas (como o conforto térmico), sendo o valor determinado pela temperatura, humidade do ar e radiação solar (Rahola, 2009).

serem igualmente consideradas. Totalizam-se dez indicadores que sintetizam a diferente vulnerabilidade populacional, sendo que se procede a uma breve caracterização de cada um deles.

Quadro 3 - Parâmetros da componente de vulnerabilidade.

Parâmetros de Vulnerabilidade
Índice de Envelhecimento dos Edifícios (IEE)
População Envelhecida (idade \geq a 65 anos, %)
Razão de Feminilidade (RF)
Razão de Feminilidade para a população com idade \geq de 65 anos (RF \geq 65)
Taxa de Analfabetismo (%)
Taxa de Desemprego (%)
População com Ensino Superior (%)
Espaços verdes
População Residente de Nacionalidade Estrangeira (%)
Índice de construção (IC)

IEE – Os alojamentos com más condições de ventilação e segurança tornam os seus habitantes mais vulneráveis. A saúde é desta forma também influenciada pelas características habitacionais (Nogueira, 2008; Reid, 2009). Para o cálculo desta variável, foram utilizados vários anos de construção, sendo o mais antigo anterior a 1919. Desta forma houve a necessidade de agregar as várias idades dos edifícios. Um dos marcos na actividade de construção portuguesa, revelando alguma preocupação com a legalização dos edifícios, qualidade e segurança é o Decreto-Lei n.º 38:382 de 7 de Agosto de 1951, aprovado pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Assim o IEE foi obtido pela divisão do número de edifícios com data de construção mais antigo (1919 a 1945), pela data mais recente (1961 a 2001).

População Envelhecida (idade \geq a 65 anos) – Nesta faixa etária os mecanismos de regulação térmica são menos eficazes (sendo por vezes menos percebida pela idade), estando os indivíduos mais vulneráveis ao calor (Champiat, 2008; NWF 2009). Estudos efectuados por Diaz *et al.* (2002) em Sevilha, concluíram que mais de 51% da população com idade superior a 75 anos falece em situações de temperatura superior a 41º C.

RF e RF \geq 65 – como já foi enunciado o calor afecta distintamente homens e mulheres, especialmente a partir dos 60/65 anos, por isso foi isolada a população com mais de 65 anos.

Taxa de Analfabetismo, Taxa de Desemprego, População com Ensino Superior – Em teoria os indivíduos de baixo estrato socioeconómico estão mais vulneráveis, uma vez que lhes é dificultado o acesso a certos bens e serviços, dificultando a sua adaptação ao calor. Com efeito, estudos levados a cabo por Kim e John em 2006 na Coreia (citado por Reid, 2009) mostraram que pessoas com poucos recursos económicos têm uma elevada taxa de mortalidade face a temperaturas muito elevadas. Do mesmo modo, pesquisas empreendidas por Medina, 2006 (citado por Reid, 2009) em cinquenta cidades dos Estados Unidos da América, evidenciaram que os indivíduos que possuem no máximo o nível

educacional correspondente ao ensino secundário apresentam uma maior taxa de mortalidade associada ao calor do que em indivíduos com mais habilitações.

Os espaços verdes – Como foi referido na Parte I (subcapítulo 4.3) os espaços verdes possuem múltiplos efeitos benéficos na saúde dos habitantes das cidades, além de que a temperatura no seu interior é, geralmente, inferior ao dos restantes espaços na cidade (Andrade e Vieira, 2007). Reid, 2009 afirma que a existência de espaços verdes diminui o risco de óbito associado ao calor e Tan, 2007 refere que existiu uma diminuição no número de óbitos em Shanghai, devido à vaga de calor de 2003 quando comparada com a de 1998, por causa do aumento das áreas verdes urbanas.

Dada a importância foram consideradas três variáveis relativas aos espaços verdes. A que melhor se correlacionar com a taxa de mortalidade, será considerada em todas as análises:

- ✓ A percentagem de espaços verdes existentes por freguesia na cidade;
- ✓ A mesma variável anterior mas não considerando o Parque Florestal de Monsanto – este ocupa grande extensão em algumas freguesias, ampliando as respectivas percentagens de área verde. Pretende-se avaliar se este “pulmão citadino” é determinante na influência da mortalidade e quanto;
- ✓ A superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante ($m^2/hab.$) - tenciona-se avaliar se um espaço verde privado que não está ao alcance da maioria da população, é fundamental na influência da mortalidade.

População Residente de Nacionalidade Estrangeira – A população imigrante acarreta, habitualmente, uma melhoria no estado de saúde das populações, designando-se esse facto por *Healthy Immigrant Effect* (Kenedy, 2006; Ray, 2007). Esta situação pode repercutir-se na vulnerabilidade ao calor, pelo que será uma variável em análise.

IC – Influência, como foi aludido, o regime dos ventos e a temperatura da cidade, aumentando a vulnerabilidade de alguns espaços.

2.2.1 - Caracterização social e económica

Evolução da taxa de mortalidade no período de 1998/2008

Procedeu-se ao cálculo da taxa de mortalidade nos meses estivais para o período em estudo, de forma a se obter uma evolução da mesma. Foram seleccionadas as freguesias da periferia (Ameixoeira, Carnide, Charneca e Lumiar) e duas freguesias da área central da cidade (“Área Histórica” e São Sebastião da Pedreira) para se compararem duas realidades bem distintas.

Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade

A caracterização socioeconómica da cidade é feita a par da taxa de mortalidade, a fim de se estabelecerem comparações entre as áreas de maior número de óbitos com os diversos indicadores de vulnerabilidade.

Porém, devido à extensão dos dados, foram seleccionados 10% de dias de todo o período em análise (1998/2008) com temperatura máxima mais elevada, ficando a amostra em 135 dias e a temperatura compreendida entre os 33,3°C

e os 41,7°C com um valor médio de 35,1°C. Posteriormente, foi calculada a taxa de mortalidade média para cada unidade de análise, para estes mesmos dias. O mesmo procedimento foi feito para 10% de dias seleccionados de forma aleatória, mas já não considerando os dias quentes da análise anterior, de forma a avaliar, através da estatística ANOVA, a diferença entre a relação da mortalidade em dias de temperatura elevada e em dias de temperatura “regular”. Nesta situação, a temperatura máxima regista valores entre 19,4°C e 33,3°C, sendo o valor médio de 26,6°C.

Relativamente aos espaços verdes, também se procedeu a uma análise anterior à distribuição espacial dos diversos indicadores de vulnerabilidade. Com as três variáveis de diferente magnitude, elaborou-se uma regressão múltipla de acordo com o método *Forward Stepwise* com a taxa de mortalidade média, calculada anteriormente.

Esclarecida a forma como a mortalidade e os espaços verdes iriam ser considerados, procedeu-se à caracterização social e económica das freguesias de Lisboa. Esta baseou-se na relação entre os parâmetros de vulnerabilidade e a taxa de mortalidade média, seleccionando a análise exploratória multivariada, com o método da análise de *clusters*. Este tem como objectivo a agregação das unidades de análise em grupos homogéneos de forma a constituírem-se classes que permitam facilitar a caracterização das freguesias. É avaliado o grau de semelhança entre as unidades de análise, resultando em classes com grupos de casos distintos (Reis, 1997). A estratégia de ligação entre as freguesias incidiu na *Complete Linkage*. Esta assume a maior distância possível aos indivíduos a agregar, elaborando conjuntos concentrados com elementos muito homogéneos no grupo, mas muito dissimétricos relativamente aos restantes (Reis, 1997). Para uma fácil visualização das várias classes formadas foi construído um dendograma ou árvore de ligação.

2.2.2 Avaliação da vulnerabilidade

Para estimar as variáveis com maior peso na explicação da distribuição espacial da mortalidade, realizou-se uma regressão múltipla *Forward Stepwise* entre as diversas variáveis independentes e a taxa de mortalidade média registada nos 10% de dias com temperatura máxima mais elevada e nos 10% de dias seleccionados aleatoriamente (retirando os dias mais quentes). Assim apura-se quais são as variáveis com maior poder de explicação e se são as mesmas nas duas análises.

Numa segunda fase e com o objectivo de retirar o efeito da idade e sexo (salientando a influência de outras variáveis), procedeu-se à padronização da taxa de mortalidade. A padronização aplica-se quando se comparam dados de mortalidade entre diferentes territórios, neste caso as freguesias de Lisboa, que tenham populações de estrutura e composição diferente e se queiram retirar essas diferenças. A padronização foi feita pelo método indirecto, pois é o indicado para espaços de reduzida população e número de óbitos. Este método recorre a taxas de mortalidade específicas por idades calculadas para a população padrão¹³, sendo depois projectadas para a população da região, as freguesias, obtendo-se assim os óbitos esperados nas freguesias. Note-se que esta mortalidade esperada parte do princípio que a população da região falece à mesma taxa (especifica por idades¹⁴) que os indivíduos da população padrão. Do método indirecto foi seleccionado a razão padronizada da mortalidade (RPM) pela maior simplicidade de cálculo mas fundamentalmente pelas potencialidades de espacialização. A RPM relaciona o número de óbitos observados na população de uma região, com o número de óbitos esperados nessa população.

¹³ A população Padrão é entendida como uma população cuja estrutura é conhecida e serve de referência, neste caso a Área Metropolitana de Lisboa (AML).

¹⁴ Constituídos por seis grupos de forma a segmentar a população nas várias faixas etárias: 0-24; 25-34; 35-44; 45-54; 55-64; ≥65anos.

$$\text{RPM} = \frac{O_o}{O_e} * 100 \quad (4)$$

em que:

O_o é o número de óbitos observados na região.

O_e é o número de óbitos esperados na região. Obtém-se multiplicando a taxa de mortalidade específica por idades para a população padrão, pelo total da população no grupo etário da população da região.

Esta proporção, expressa os seus valores em percentagem, sendo que valores superiores a 100 mostram uma mortalidade superior à verificada na população padrão. Valores inferiores a 100 indicam uma mortalidade inferior a essa população.

Para a RPM foi calculado o intervalo de confiança (IC) a 95% para cada freguesia, segundo o método indicado por Jones e Moon (citado por Nogueira, 2001).

$$\text{IC} = \frac{\text{casos observados} - 2\sqrt{\text{casos esperados}}}{\text{casos esperados}} * 100 \text{ a } \frac{\text{casos observados} + 2\sqrt{\text{casos esperados}}}{\text{casos esperados}} * 100 \quad (4.1)$$

A cartografia da RPM tem subjacente os valores das razões padronizadas e respectivos IC. De acordo com Nogueira (2001) foram consideradas quatro classes: uma que compreende os casos em que as razões padronizadas apresentam um valor superior a 100 (valor de referência), bem como os respectivos limites dos intervalos de confiança. Neste caso diz-se que a RPM é aumentada significativamente. Na situação inversa a RPM é referida como diminuída significativamente, pois é inferior ao valor de referência, assim como os IC. As duas restantes classes possuem valores de RPM superiores ou inferiores a 100 mas cujos IC incluem esse mesmo valor, não permitindo deduzir que haja qualquer diferença em relação ao valor de referência. Para estes casos a RPM é designada de não significativamente aumentada ou não significativamente diminuída.

Após a padronização dos dados da mortalidade foi efectuada uma regressão múltipla com todos os indicadores de vulnerabilidade, com o objectivo de avaliar se o modelo, sem a influência das características populacionais, apresentava as mesmas variáveis explicativas.

2.3 – A susceptibilidade

A regressão múltipla, (*Forward Stepwise*) efectuada nesta componente tem a particularidade de cruzar o indicador referente à perigosidade (QG/G*) com os diversos indicadores da vulnerabilidade, permitindo inferir qual das duas componentes tem maior influência na mortalidade. Note-se que na sequência da análise anterior, será utilizada a RPM por não conter o “ruído” existente na taxa de mortalidade média, que é influenciada pelas características da população. Após a convergência entre as duas componentes, procedeu-se à espacialização da susceptibilidade, distinguindo quatro níveis de susceptibilidade à mortalidade associada ao calor excessivo: muito elevada, elevada, média e baixa. Estes níveis foram considerados quatro à imagem da Meteoalarm que emite quatro níveis de aviso em relação a quadros meteorológicos extremos na Europa, nomeadamente as temperaturas elevadas (<http://www.metoffice.gov.uk/weather/europe/meteoalarm>).

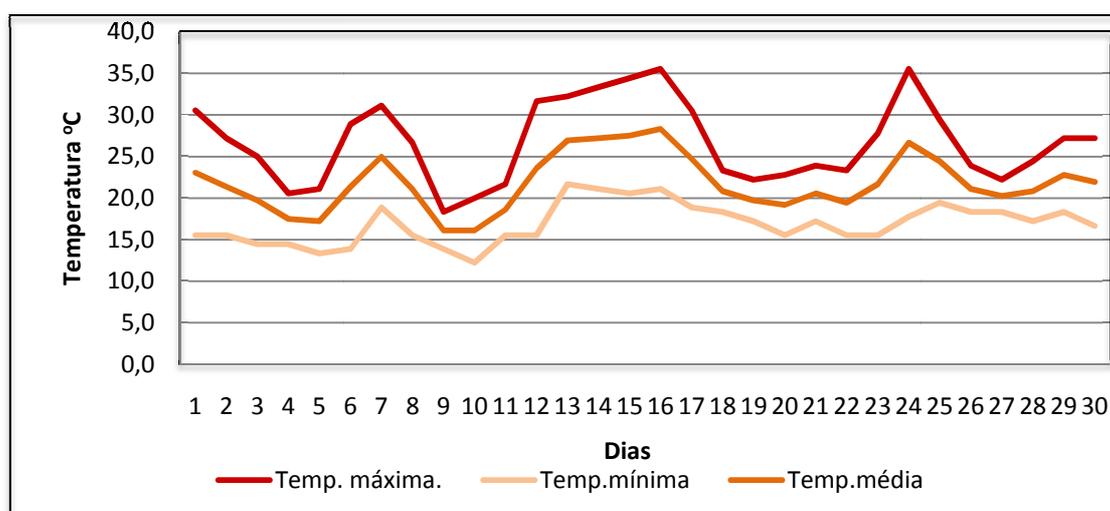
Esta metodologia, em certa medida poderá ser entendida como uma aproximação ao conceito de risco, na medida em que somente está ausente a componente do “valor”, indispensável à sua quantificação (Zêzere, 2005; Canário, 2010).

Após a regressão, os diferentes níveis de susceptibilidade formados, utilizando quer a RPM quer a taxa de mortalidade média, estão associados ao método das *K - means cluster*. Neste método, de classificação não hierárquica, os elementos são agrupados tendo em conta a distância euclidiana face a um determinado número de centróides, num espaço de K dimensões (entendendo-se por K o número de variáveis). Trata-se de um processo iterativo, pelo que após a formação do primeiro grupo de elementos em torno dos centróides iniciais, estes são calculados novamente, assim como a média de cada um dos grupos, sendo os elementos reagrupados face às novas posições dos centróides. O processo só termina quando o conjunto for estável. O objectivo é que em cada grupo os elementos sejam entre si o mais semelhante possível (Wilks, 1995; Andrade, 2003).

3- Limitações à análise

Relativamente à modelação climática, uma das limitações pode advir das próprias imagens de satélite Landsat 7 ETM+ que não são consideradas as mais adequadas para o estudo de clima urbano. A passagem do satélite sobre o território é aproximadamente às 10 horas, o que permite apenas a caracterização de uma parte do dia, quando começa o aquecimento da atmosfera. Não obstante, ainda é a única resposta clara a uma escala com pormenor suficiente capaz de identificar as características físicas das áreas urbanas. O ideal seria que a informação deste satélite se integre com a de outros, como os NOAA que efectuem várias passagens diárias, ainda que a resolução seja inferior.

Distingue-se igualmente o próprio dia da imagem de satélite. Apesar de ser a única opção, não cumpre na totalidade os objectivos pretendidos. O dia 24 de Junho de 2000 não foi excepcionalmente quente (a temperatura mínima foi de 17,8°C e a temperatura máxima de 35,6°C). Porém este dia pode ser considerado como tal tendo em conta o período em que está inserido (figura 5), pois a partir do dia 18 até ao final do mês a temperatura máxima não ultrapassou os 29°C.



).

Uma outra reflexão incide no cálculo do albedo pois consideraram-se os seis canais entre os 0,45 a 2,35 μm (canais de 1 a 5 e 7, Landsat). Este facto deveu-se à vegetação que de acordo com Brest e Goward (1987) no espectro visível possui valores baixos de reflectância entre os 0,4 e os 0,7 μm ao passo que atinge um pico se se considerar as bandas infravermelha próxima e média (0,7 e 1,3 μm). Desta forma negligenciar estes valores do espectro determinaria um albedo muito elevado nos espaços verdes e nos solos sem vegetação o albedo seria subestimado.

Uma nota igualmente para o facto de na banda térmica, aquando da estimação da radiação emitida pela superfície (L_{\uparrow}), se ter utilizado o valor 1 para a emissividade das superfícies, considerando assim uma aproximação ao corpo negro¹⁵. Em futuros estudos deve-se caminhar na produção de um mapa das emissividades típicas dos materiais da cidade, aperfeiçoando o modelo. O mesmo se expõe acerca das classes de uso do solo utilizadas (área urbana e área verde), cuja classificação se sustenta no *Corine Land Cover*. Este torna-se demasiado generalista quando aplicado a estudos deste âmbito, devendo-se “caminhar” em direcção a uma maior precisão do uso do solo e consequentemente o melhoramento do modelo.

Destaca-se também a parcial validação dos valores obtidos no balanço radiativo e energético. Mas em Lisboa, à excepção da radiação solar, não se efectuam medições sistemáticas das grandezas físicas do padrão energético.

¹⁵ Corpo negro pode ser definido como o corpo que absorve toda a energia radiante e que a radiação emitida por ele numa direcção particular depende somente da sua temperatura (Lopes, 2003).

Parte IV – Resultados

Nesta parte serão apresentados os resultados obtidos relativos às três componentes, a par de algumas conclusões intermédias.

1 - Modelação da perigosidade

1.1 - A perigosidade ao calor excessivo no período de 1998/2008 e em 2003

O período de 1998/2008

Análise estatística da relação entre a mortalidade, a temperatura e o O₃

A regressão polinomial estabelecida entre a mortalidade (subdividida em quatro parâmetros) e os indicadores de perigosidade, cujos resultados se encontram sintetizados no quadro 4, permitiu concluir que a variável que melhor explica a “Mortalidade Total” é a temperatura média, com um coeficiente de determinação bastante elevado. Nos óbitos com idade ≥ 65 anos regista-se um coeficiente idêntico entre a temperatura mínima e média. Analisando separadamente homens e mulheres com idade ≥ 65 verificou-se que o género masculino se correlaciona com a temperatura mínima em cerca de 57%, mas a divergência em relação à temperatura média é de apenas 4%. A mortalidade das mulheres é explicada em 84% pela temperatura média, mas assinala-se a também a quase igual importância da temperatura mínima, pois a diferença entre ambas é de 2%.

Quadro 4 - Coeficientes de determinação do modelo de regressão polinomial (2ª ordem) entre a mortalidade e as variáveis explicativas (Temperatura/Ozono).

Variáveis	Coeficientes de Determinação – R ²	R ² Ajustado
<u>Temperatura Mínima</u>		
Mortalidade <i>Total</i>	0,68	0,6435
Mortalidade ≥ 65 anos	0,82	0,8095
Mortalidade ≥ 65 anos H	0,57	0,5296
Mortalidade ≥ 65 anos M	0,82	0,7007
<u>Temperatura Média</u>		
Mortalidade <i>Total</i>	0,81	0,7886
Mortalidade ≥ 65 anos	0,82	0,7999
Mortalidade ≥ 65 anos H	0,53	0,4857
Mortalidade ≥ 65 anos M	0,84	0,8228
<u>Ozono 12h</u>		
Mortalidade <i>Total</i>	0,63	0,5911
Mortalidade ≥ 65 anos	0,66	0,6275
Mortalidade ≥ 65 anos H	0,27	0,1945
Mortalidade ≥ 65 anos M	0,63	0,5935

No geral a temperatura média possui uma grande capacidade explicativa nos conjuntos de mortalidade em análise, mas verifica-se que a temperatura mínima também possui relevância, demonstrando muitas vezes é difícil de suportar, o que é consistente com a componente teórica referida. O teste F ultrapassou largamente em todos os casos o limiar de significância.

Relativamente ao ozono, as concentrações deste poluente às 12h possuem um coeficiente de determinação bastante mais elevado, em todos os conjuntos de mortalidade em estudo, comparativamente às concentrações das 15h. Repare-se que para a mortalidade total, e em mulheres com idade ≥ 65 anos, o coeficiente de determinação é de 0,63 e que nos óbitos com idade ≥ 65 anos alcança uma explicação de 66%. Conclui-se que a temperatura influencia bastante a mortalidade mas o ozono exerce igualmente uma influência na mortalidade que não deverá ser descurada.

A regressão múltipla elaborada, seguindo o processo *Forward Stepwise*, demonstrou que, quer para a mortalidade no seu todo, quer, para os óbitos com idade ≥ 65 anos e para os óbitos do sexo masculino de idade ≥ 65 anos, são as concentrações de ozono às 12h que tem um maior poder de explicação (quadro 5). Os resultados obtidos colocam em evidência os poluentes atmosféricos como os mais susceptíveis de perturbar a saúde pública, do que propriamente a temperatura, corroborando os diversos estudos levados a cabo por investigadores internacionais, mencionados anteriormente (InVS 2003; Filleul, 2006; Champiat, 2008; Qian, 2008; Tan, 2008; NWF, 2009: 5; Rahola, 2009).

No que diz respeito aos óbitos das mulheres idosas, é a temperatura mínima que melhor explica a mortalidade. Este facto é concordante com a bibliografia consultada e já mencionada. Refere-se que as mulheres idosas possuem deficiências de regulação térmica, pelo que é precisamente a temperatura mínima a variável mais difícil de suportar.

Quadro 5 - Coeficientes de regressão e valores beta no modelo de regressão múltipla, com o método *Forward Stepwise*, entre a mortalidade e as variáveis explicativas (Temperatura/Ozono).

Variáveis Dependentes	Variáveis Independentes (com maior explicação)	Regressão Múltipla - Coeficientes de Determinação	Valores Beta
Mortalidade Total		0,65	0,81
Mortalidade ≥ 65 anos	Ozono às 12 horas	0,68	0,82
Mortalidade ≥ 65 anos H		0,54	1,27
Mortalidade ≥ 65 anos M	Temperatura mínima	0,74	0,86

De um modo geral e contrariando a tese convencional de que é a temperatura que melhor explica a mortalidade, pode-se afirmar que é o ozono que possui maior capacidade explicativa, ainda que num dos grupos de mortalidade seja diferente (mulheres com idade ≥ 65 anos). Todavia, esta é uma temática bastante controversa entre os investigadores e os estudos que avaliam a interacção entre temperaturas elevadas e o ozono são escassos.

O período estival de 2003

Análise estatística da relação entre a mortalidade e a temperatura do ar, temperatura de superfície (T_s) e O_3 em 2003

Da análise da figura 6 observa-se uma relação entre a variável dependente, a mortalidade, e os vários indicadores de perigosidade. Repare-se como até ao 2º grupo de dias, existe um aumento da temperatura do ar (máxima, média e mínima), das T_s e do O_3 , o que é acompanhado por um incremento no número de óbitos. Seguidamente, o decréscimo registado nas variáveis independentes é igualmente seguido por um declínio da mortalidade. A partir do 8º grupo de dias regista-se uma subida abrupta de todas as variáveis explicativas, o que também ocorre na mortalidade, especialmente a partir do nono grupo.

Na figura 7 também se constata um certo paralelismo entre a mortalidade e o ozono, especialmente entre o 9º e o 11º grupo de dias (em analogia com a temperatura), em que existe um aumento das concentrações de ozono (12h) acompanhado por um aumento do número de óbitos.

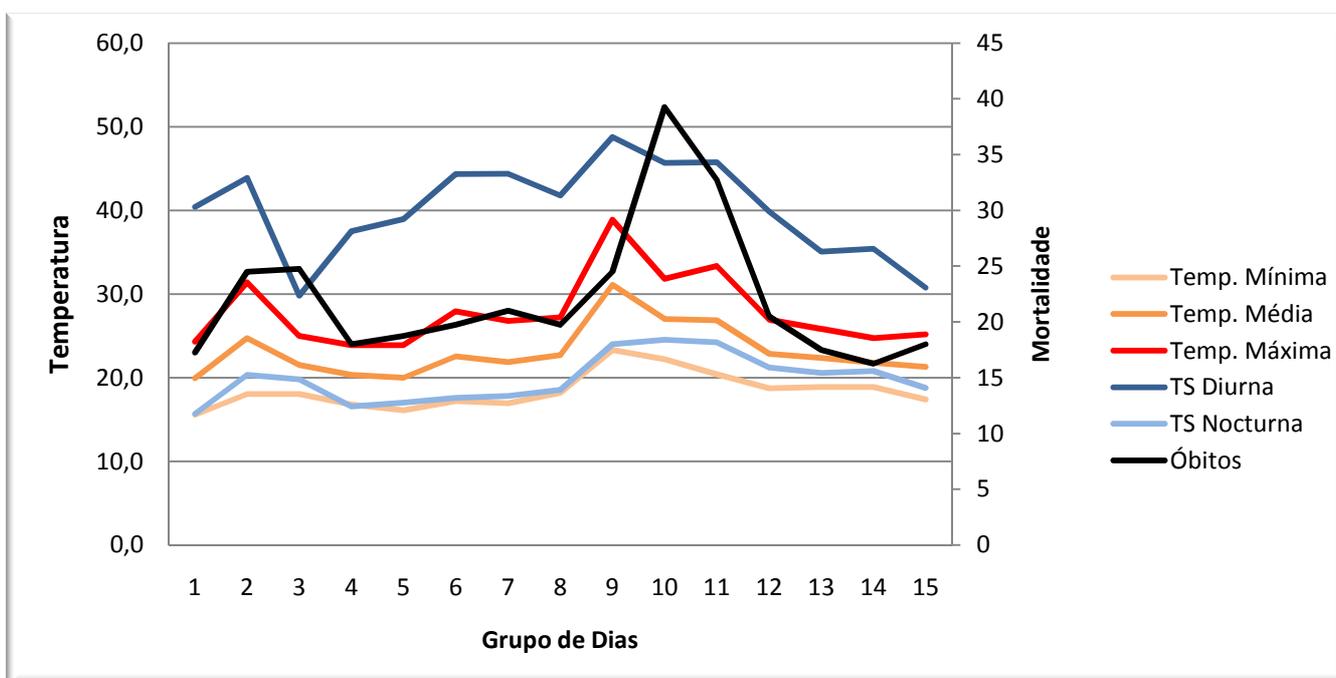


Figura 6: Relação entre a mortalidade e a temperatura do ar, temperatura de superfície (T_s) e O_3 , no Verão de 2003.

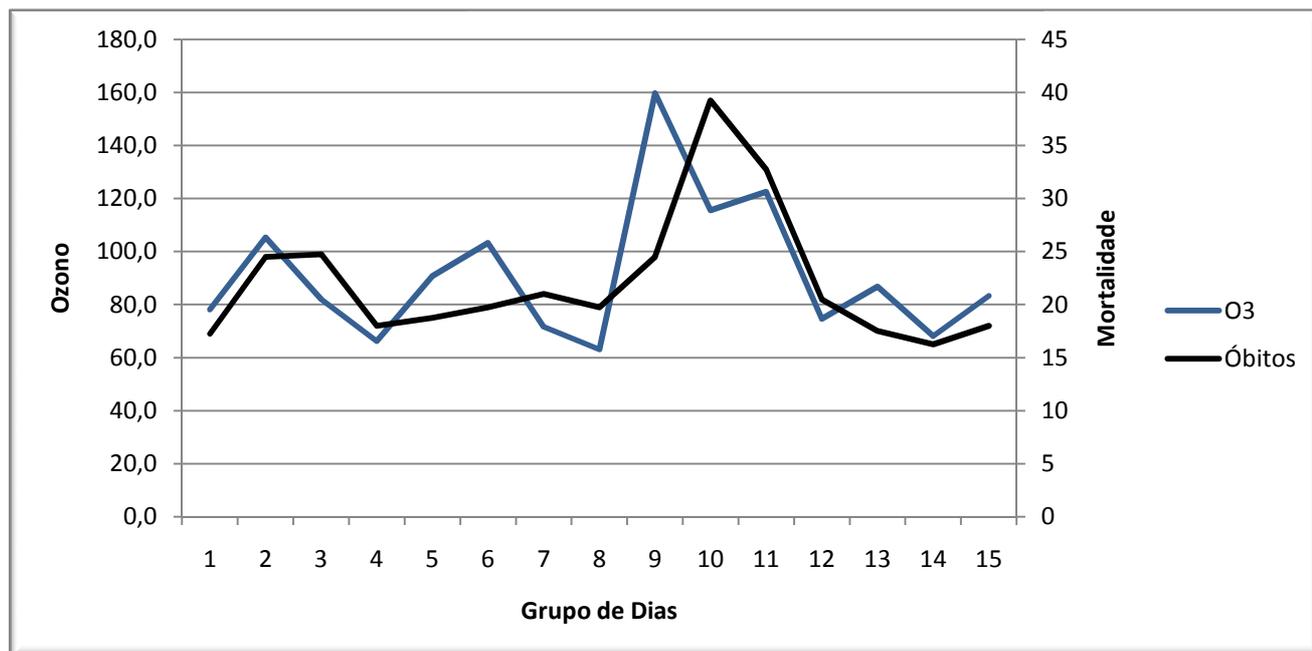


Figura 7 - Evolução da mortalidade e do Ozono (O₃) no Verão de 2003.

A regressão múltipla revelou que a mortalidade é explicada apenas por uma variável independente, a T_s nocturna, possuindo esta o valor beta de 0,65 e apresentando o modelo um coeficiente de determinação de 0,60. Ainda que a amostra seja demasiado reduzida para se efectuarem outras conclusões, refere-se que este facto pode dever-se a questões relacionadas com o balanço energético da cidade. As cidades, por possuírem uma temperatura mais elevada que os arredores, devido ao armazenamento de calor nas superfícies, libertam-no durante a noite, o que poderá explicar o resultado obtido da T_s nocturna. Acrescenta-se o facto de na maioria das vezes a ICU ser mais intensa durante a noite não possibilitando o arrefecimento nocturno, o que do ponto de vista da população é extremamente prejudicial, uma vez que não permite a recuperação do *stress* térmico, em situações de calor extremo.

1.2 - Balanço radiativo e energético em Lisboa com recurso à imagem de satélite Landsat 7ETM+ de 24 de Junho de 2000 (± 10 h, hora local)

Na figura 8, referente à distribuição espacial do albedo e do balanço de radiação, identificam-se na cidade de Lisboa três grandes classes com características bem diferentes.

✓ Valores de Q^* superiores a 380 Wm^{-2} – o exemplo mais evidente é a grande mancha florestal de Monsanto assim como todas as áreas verdes. O balanço radiativo é nestas áreas muito elevado devido aos reduzidos valores de albedo, na ordem dos 5 a 10%, e pelas temperaturas de superfície também diminutas ($\pm 330\text{K}$).

✓ Valores de Q^* inferiores a 240 Wm^{-2} – correspondem a áreas de perda radiativa de pequeno comprimento de onda, albedo elevado (superior a 20%) que são simultaneamente as áreas de perda radiativa de grande comprimento de onda, temperaturas de superfície que ultrapassam os 240 K. Identifica-se especialmente a área do aeroporto, com as suas superfícies boas reflectoras, e a área de Chelas e Parque das Nações. Destaca-se igualmente a área a noroeste do aeroporto, essencialmente a Charneca, pois ainda que apresente um certo grau de desenvolvimento urbanístico, subsistem alguns locais desocupados, predominando a vegetação rasteira.

✓ Valores de Q^* intermédios, relativamente às áreas precedentes, entre os 240 a 380 Wm^{-2} – diz respeito a todo o edificado da cidade em que a temperatura de superfície é de aproximadamente 345 K e um albedo entre 14 a 17%.

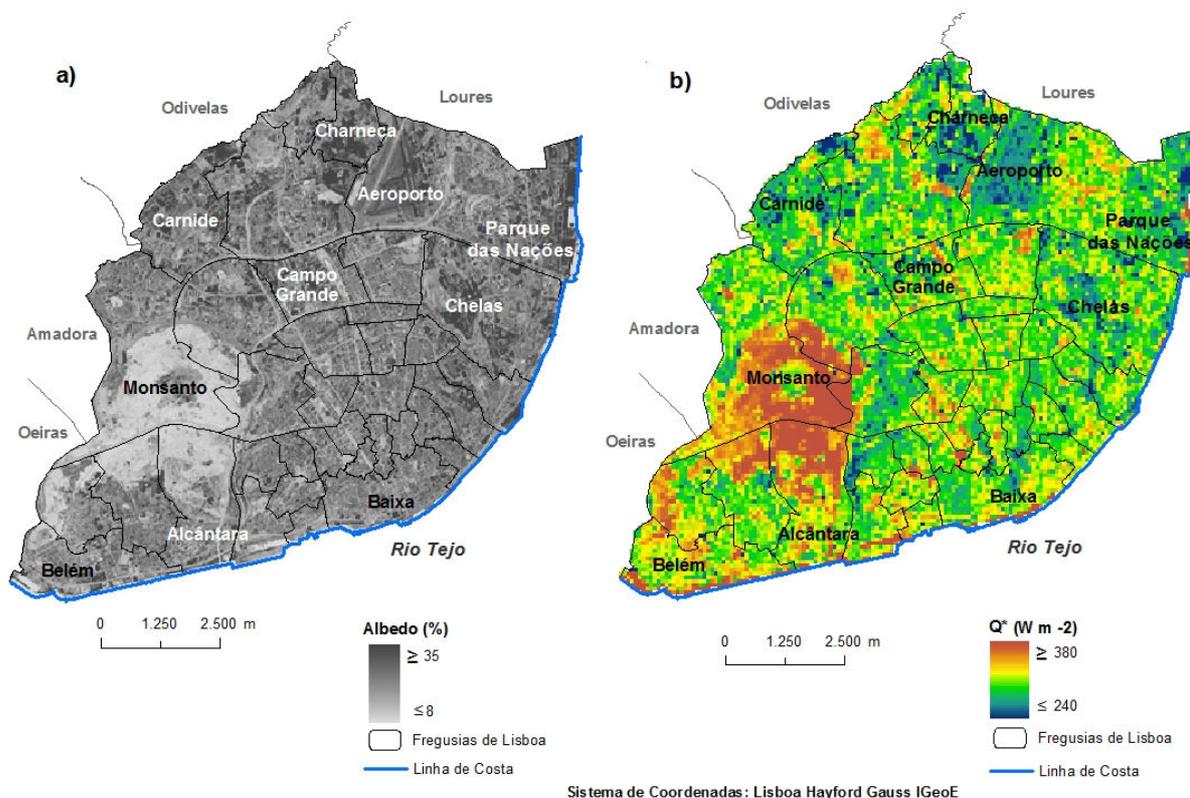


Figura 8 - O albedo (a) e o balanço radiativo (b) da cidade de Lisboa, no dia 24 de Junho de 2000.

Regista-se desta forma a desigualdade entre as áreas urbanas e as áreas verde/florestais. Note-se que as primeiras possuem, à hora da passagem do satélite, valores inferiores de Q^* comparativamente com as áreas verdes, o que é concordante com bibliografia consultada (Parlow, 1998; Lopes, 2003).

De acordo com o que já se fizera referência, não existem no espaço urbano de Lisboa áreas que se possam caracterizar como rurais, pelo que se optou por uma distinção entre área verde e área urbana. A figura que se segue deixa bem patente a diferença entre estes dois tipos de ocupação, o Parque Florestal de Monsanto e as restantes áreas verdes consideradas (os Parques Eduardo VII, Bela Vista, Alvalade, Quinta das Conchas e os Jardins do Campo Grande e Zoológico) demarcam-se apresentando valores de calor armazenado na ordem dos 60 Wm^{-2} . Inversamente as áreas urbanas concentram, naturalmente, maior quantidade de calor armazenado, veja-se toda a frente ribeirinha que possui valores superiores a 100 Wm^{-2} , expandindo-se para o Norte da cidade, particularmente pelo Marquês de Pombal, Saldanha e Campo Grande.

Como já foi referido, as áreas do norte de Lisboa (Ameixoeira/Charneca) têm assistido nas últimas décadas a um considerável desenvolvimento urbanístico mas mantêm alguns locais devolutos, com vegetação rasteira. Este facto constata-se mais uma vez (figura 9), identificando-se locais com valores similares aos registados em Monsanto.

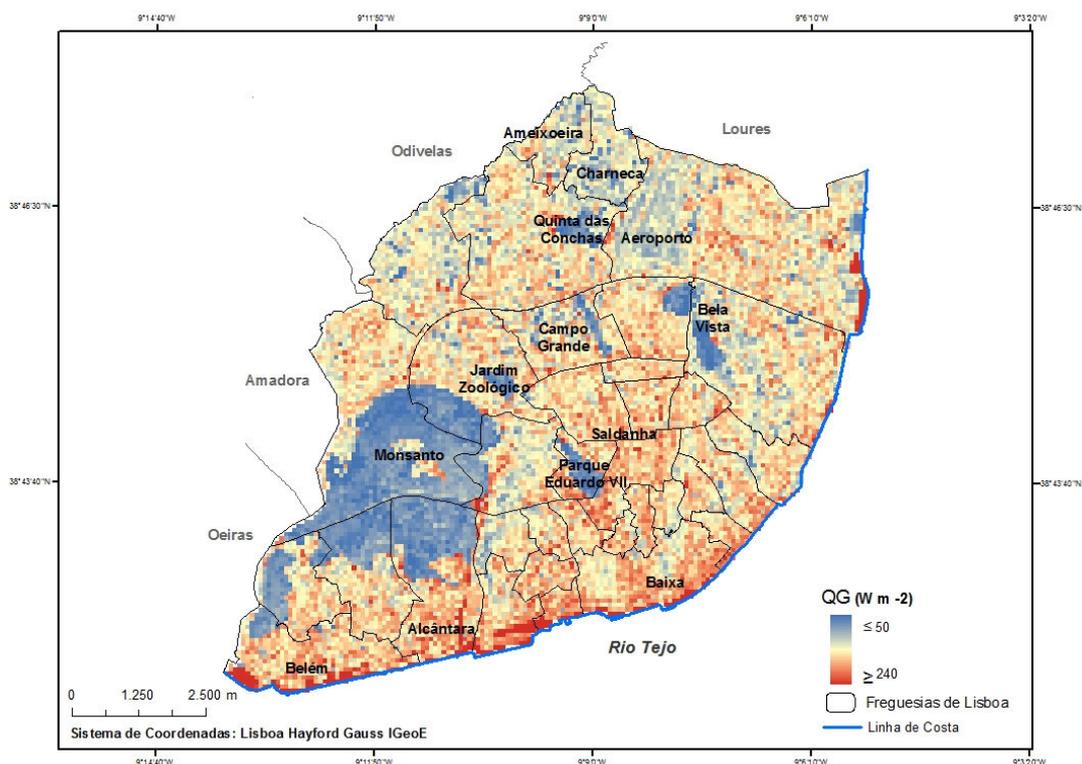
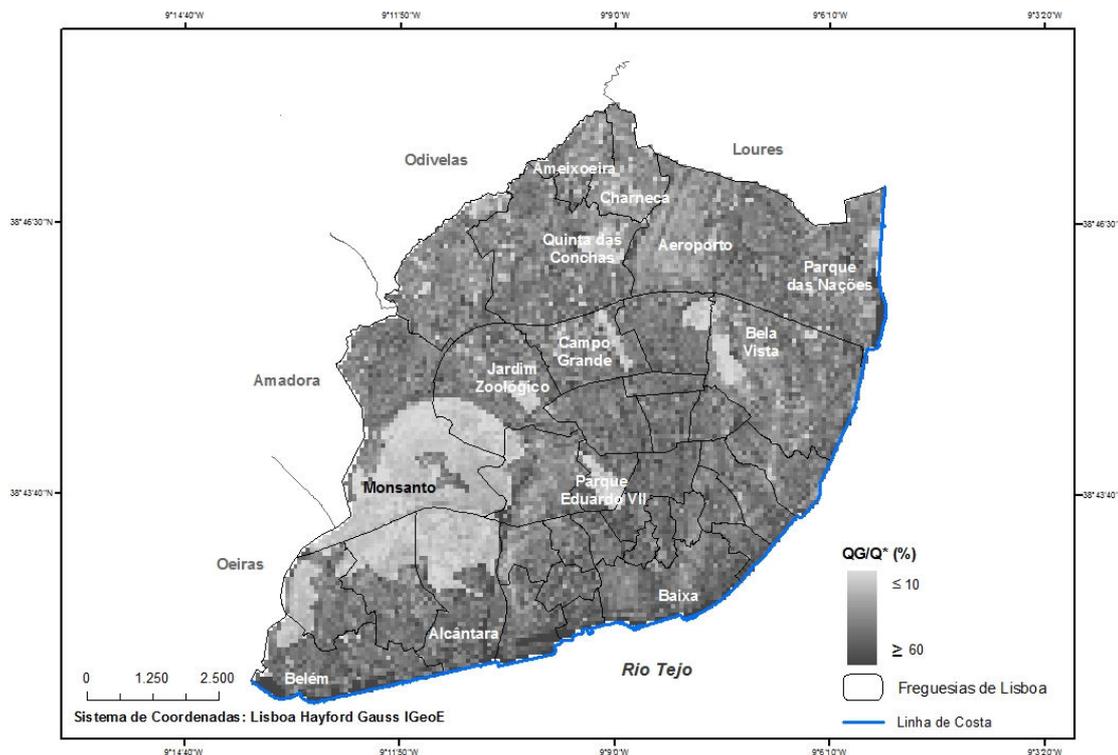


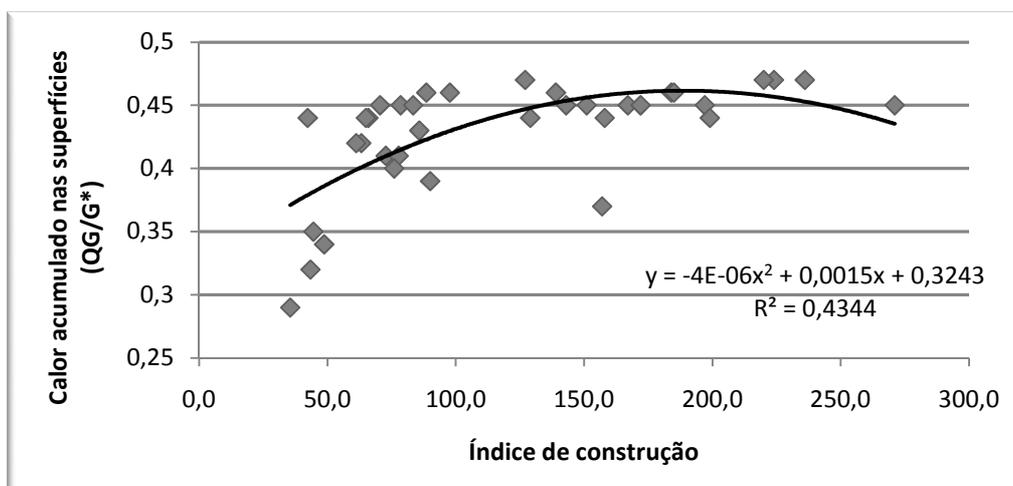
Figura 9 - Fluxo de calor armazenado - QG da cidade de Lisboa, no dia 24 de Junho de 2000.

No que diz respeito ao indicador de perigosidade (figura 10) (razão entre o fluxo de calor armazenado e o balanço radiativo, QG/Q^*), a ser utilizado na componente da susceptibilidade, verifica-se a dicotomia entre a área verde e a área urbana. As primeiras possuem, naturalmente, menor quantidade de energia, ficando os valores abaixo dos 18%. Contrariamente, toda a área urbana e o aeroporto possuem quantitativos acima dos 40%. A manter-se esta disparidade de valores, esta situação poderá estar na origem da ilha de calor urbano, mesmo no período estival (Lopes, 2003). Tenhamos presente o ponto antecedente, em que os resultados obtidos entre a mortalidade e as temperaturas do ar, bem como as temperaturas de superfície durante o Verão de 2003, evidenciaram que a variável dependente se associou unicamente à T_5 nocturna, expondo a influência do calor armazenado ao longo do dia que é libertado durante a noite.



Junho de 2000.

A análise que se segue avalia a relação entre o índice de construção e o QG/Q*, evidenciando que se correlacionam em 43% (figura 11). Este resultado coloca em evidência que um edificado compacto está associado a uma grande quantidade de energia disponível na superfície. A preservar-se a política urbanística de construção “descontrolada”, especialmente no Norte de Lisboa, que como já se aludiu a velocidade média do vento reduziu em cerca de 30% no sul da cidade e onde se mantêm ainda alguns locais (poucos) desabitados (Lopes, 2003; 2011), é possível que o QG/Q* exerça ainda mais a sua influência. Um incremento da rugosidade impede uma boa ventilação da cidade, repercutindo-se de imediato no desconforto térmico dos habitantes da cidade, podendo ter consequências na mortalidade.



Jonível nas superfícies (QG/Q*).

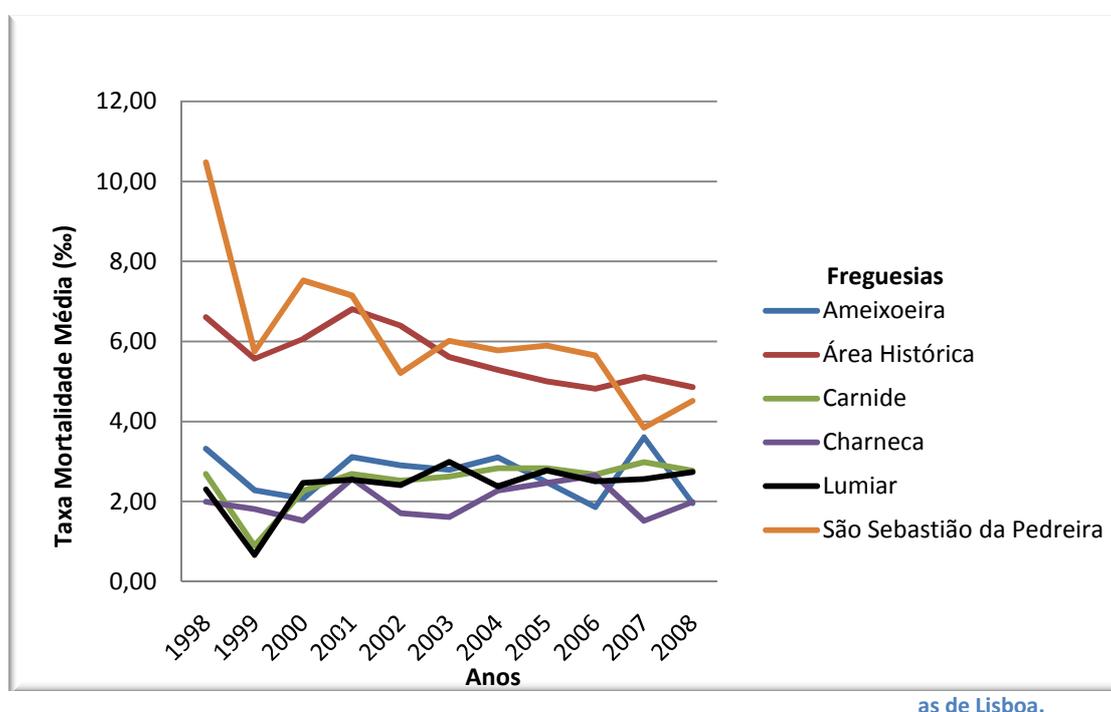
2 – A Vulnerabilidade

2.1 - Caracterização social e económica

Evolução da taxa de mortalidade no período de 1998/2008

Verifica-se que existe uma discrepância na taxa de mortalidade entre o centro da cidade e a sua periferia (figura 12), sendo que estas mantêm, em geral, uma taxa de mortalidade média regular ao longo de todo o período de análise, ainda que se verifiquem algumas flutuações. Porém, as freguesias do centro, “Área Histórica” e S. Sebastião da Pedreira, registam taxas de mortalidade muito superiores às das freguesias da periferia, ainda que ao longo do período em estudo se verifique uma tendência para a diminuição do número de óbitos.

As causas para a distinção entre estes dois grupos são, certamente, de ordem etária e socioeconómica, pelo que se segue uma comparação da distribuição espacial da taxa de mortalidade com os parâmetros de vulnerabilidade.



Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade

A taxa de mortalidade média correspondente aos 10% de dias com temperatura máxima mais elevada permitiu obter o padrão espacial de mortalidade para cada unidade de análise que se pode verificar na figura 13. O mesmo procedimento efectuado para 10% de dias seleccionados aleatoriamente, obteve um padrão espacial similar, distinguindo-se igualmente São José e São Sebastião da Pedreira, agora incluindo a Lapa como as freguesias com ocorrência de um maior número de óbitos. Inversamente, as freguesias da Charneca, Lumiar, Ameixoeira e Carnide continuam a apresentar uma baixa taxa de mortalidade média, que não atinge 3%.

A estatística ANOVA demonstrou que a disparidade entre as taxas de mortalidade média das duas amostras é bastante acentuada e estatisticamente significativa. O teste F (10,9) está acima do limiar crítico (3,84).

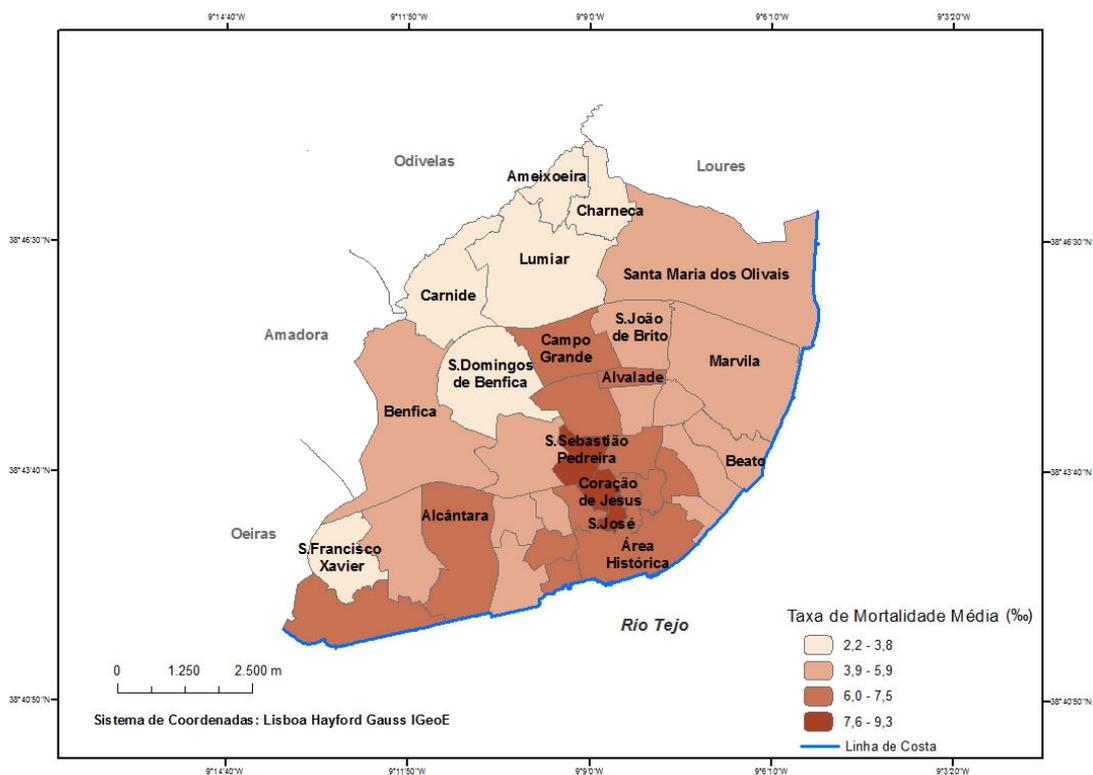


Figura 13 - Distribuição espacial da taxa de mortalidade média (%) por freguesia em Lisboa, nos 10% de dias com maior temperatura máxima registada de 1998 a 2008.

No que diz respeito aos espaços verdes, a regressão múltipla entre a taxa de mortalidade média e as três variáveis referentes à área verde evidenciou que somente a variável de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante se associa com a taxa de mortalidade média. O modelo totaliza uma explicação de 15% e um coeficiente beta de -0,39.

Conclui-se que a mortalidade se correlaciona mais com as áreas verdes privadas, de acesso restrito, em que o nível da qualidade do ar será naturalmente superior, bem como com as árvores de arruamento, que reflectem as condições gerais da qualidade do ambiente urbano. Será assim esta a variável de espaços verdes integrada em todas as análises que se seguem e da qual se pode analisar o padrão espacial na figura 14.

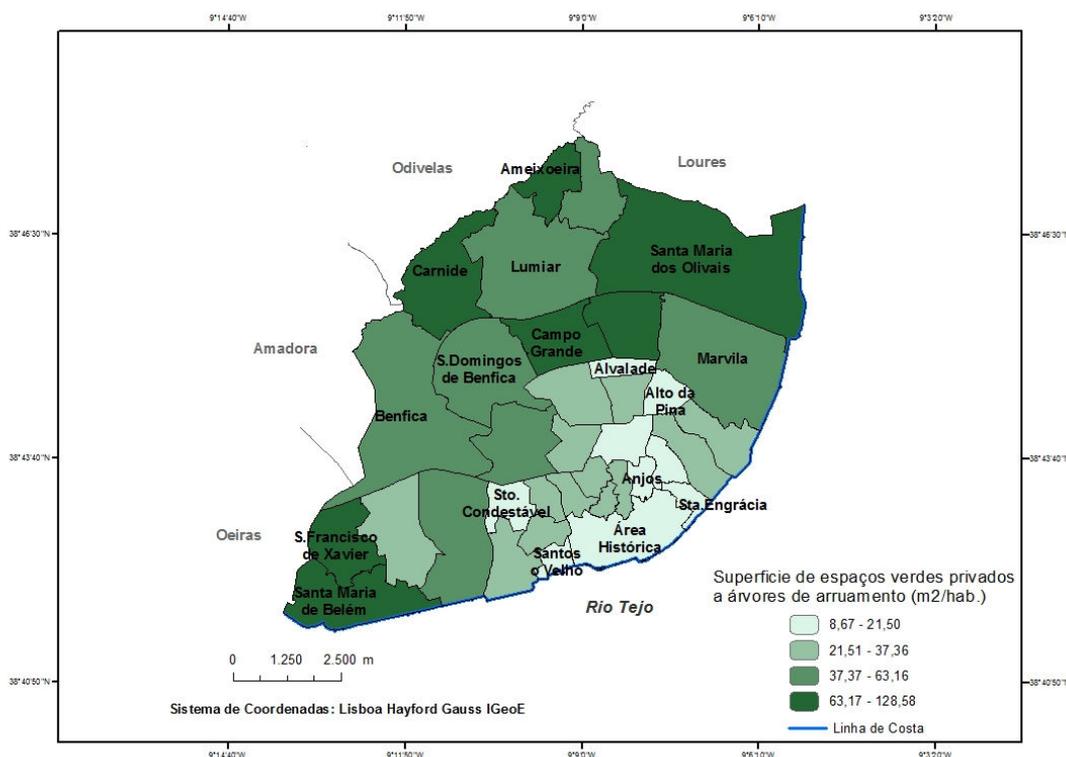


Figura 14 - Distribuição espacial da superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante em Lisboa.

Na figura 15 verifica-se que entre os 150 e 200 de distância, existem duas grandes classes, a área central de Lisboa e a sua periferia e parte ocidental, que se encontram cartografadas na figura 16.

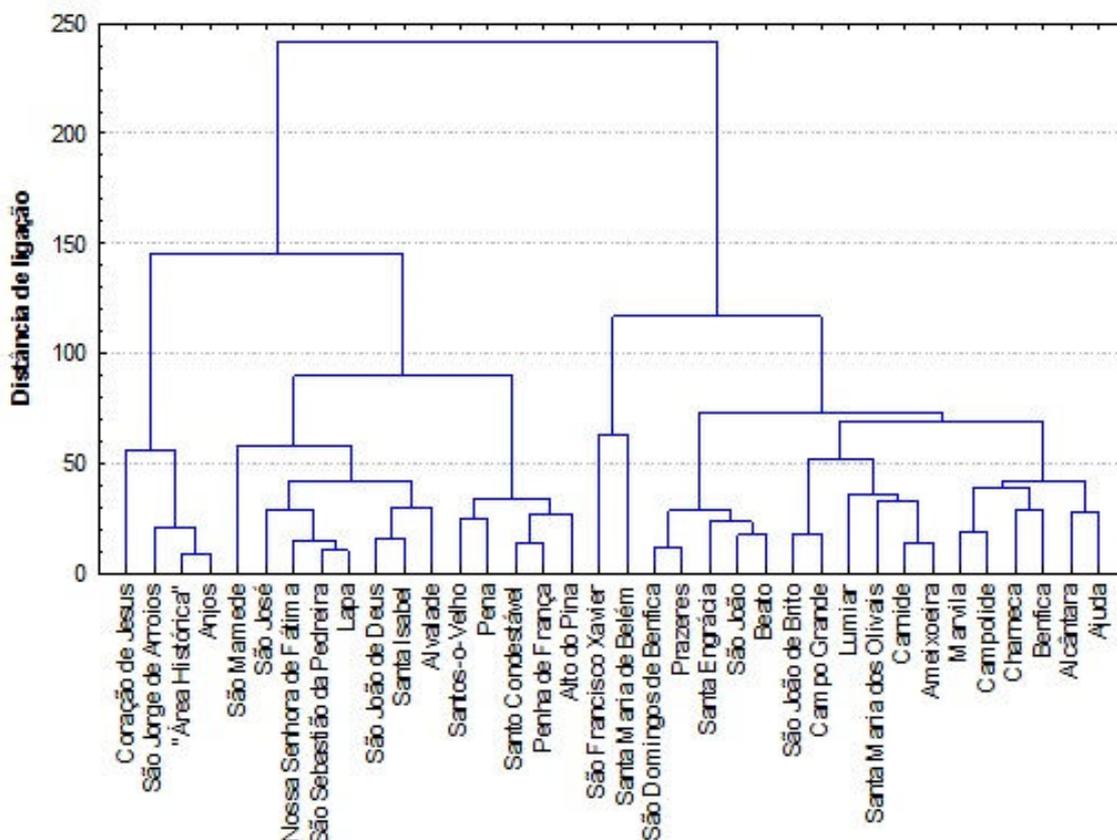


Figura 15 - Dendrograma elaborado a partir dos parâmetros de vulnerabilidade e da taxa de mortalidade média.

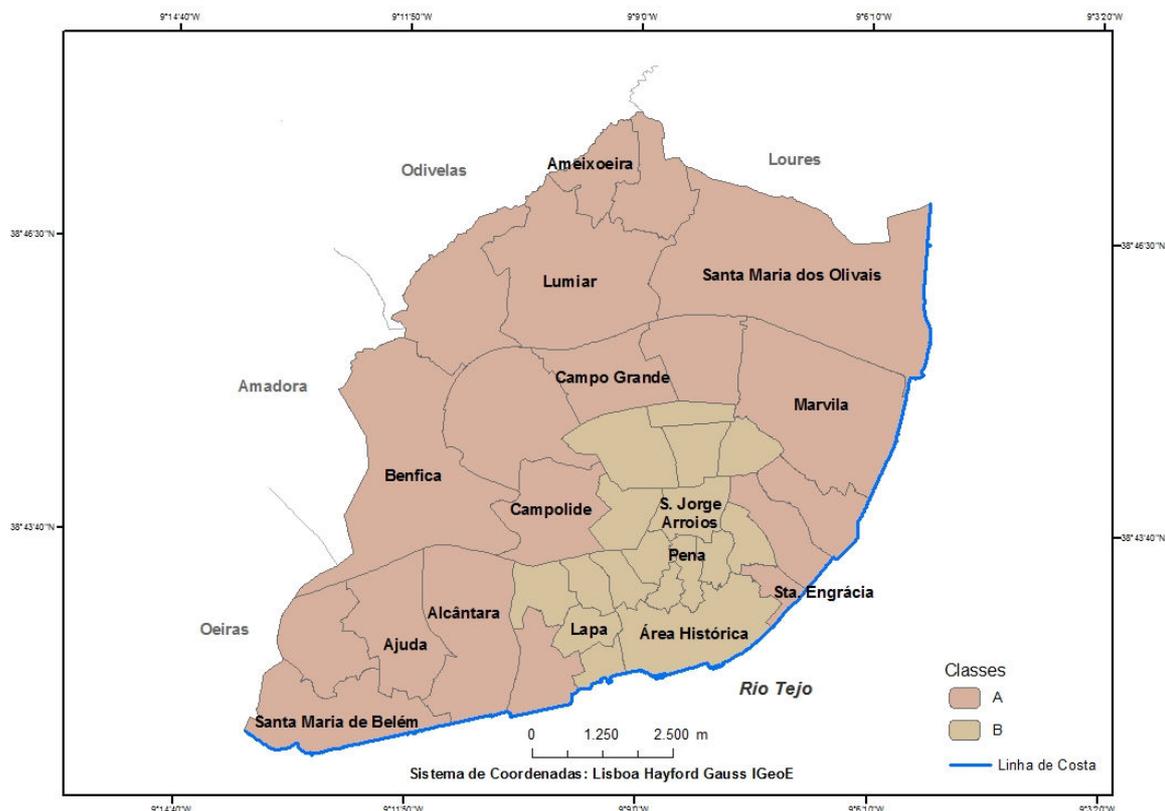


Figura 16 - Distribuição espacial das classes elaboradas através do método de Clusters.

A classe B caracteriza-se pelos parâmetros de vulnerabilidade mais desfavorecidos do ponto de vista social, demográfico, económico e urbanístico. Na figura 17 e 18 estão cartografados os vários parâmetros de vulnerabilidade¹⁶, que permitem verificar que esta área central da cidade quando comparada com a outra classe, caracteriza-se, em geral, por uma grande taxa de analfabetismo, uma superior razão de feminilidade 65 anos (RF > 65anos), um índice de envelhecimento dos edifícios e um índice de construção elevados, por pouca superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante, entre outros. É igualmente nesta área que a taxa de mortalidade média é elevada. Inversamente a classe A, área a norte de Lisboa e a parte ocidental, caracteriza-se por melhores condições socioeconómicas e urbanísticas. De acordo com a figura 17 e 18 as variáveis de vulnerabilidade mostram, em geral, o oposto da situação atrás referida.

Uma nota para o facto de o índice de construção, que denota um centro da cidade mais densificado em oposição à parte ocidental e periférica da cidade, estar concordante com os estudos empreendidos por Lopes (2003) e Alcoforado (2006) que verificaram que a expansão da cidade se localizava precisamente a N/NO e NE (Parque das Nações) da cidade, causando uma redução na velocidade do vento, com todas as repercussões que esse facto acarreta e que já foram mencionadas. Esta área da cidade requer assim “cuidados” específicos ao nível do planeamento urbano, como não construir edifícios demasiado elevados e em especial que se posicionem paralelamente ao sentido do vento, para que este consiga penetrar e ventilar a cidade, dispersar os poluentes e atenuar a temperatura do ar.

Conclui-se, em regra geral, que existe um certo paralelismo na distribuição espacial da mortalidade média e os parâmetros de vulnerabilidade. As freguesias da “Área Histórica” e freguesias circundantes apresentam as maiores taxas

¹⁶ Note-se que a taxa de mortalidade média e a superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante, encontram-se cartografadas nas páginas 40 e 41.

de mortalidade média e são igualmente as mais desfavorecidas em termos socioeconómicos. Inversamente as freguesias periféricas apresentam as taxas de mortalidade médias mais baixas de toda a cidade e também são menos desfavorecidas do ponto de vista socioeconómico.

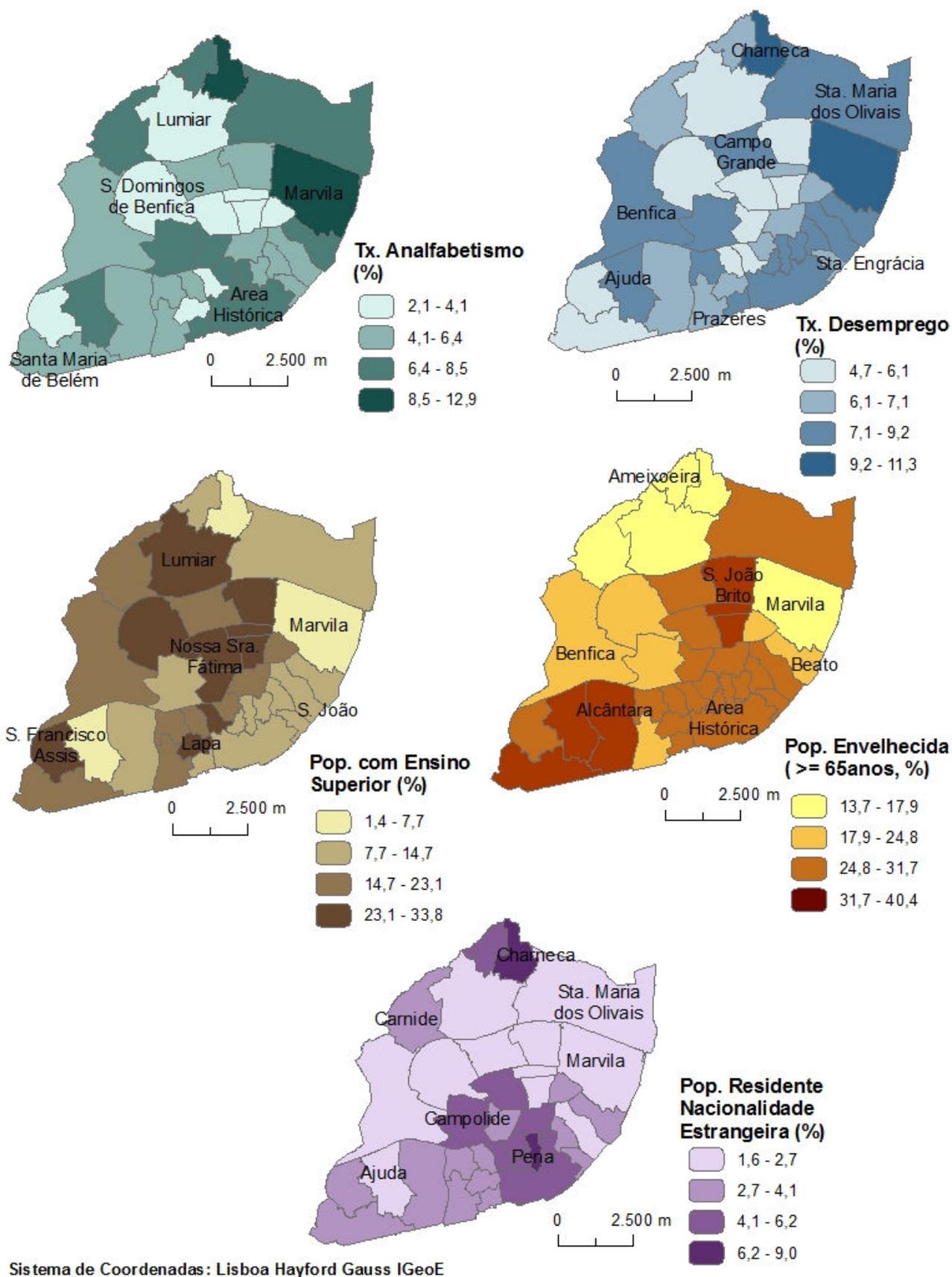
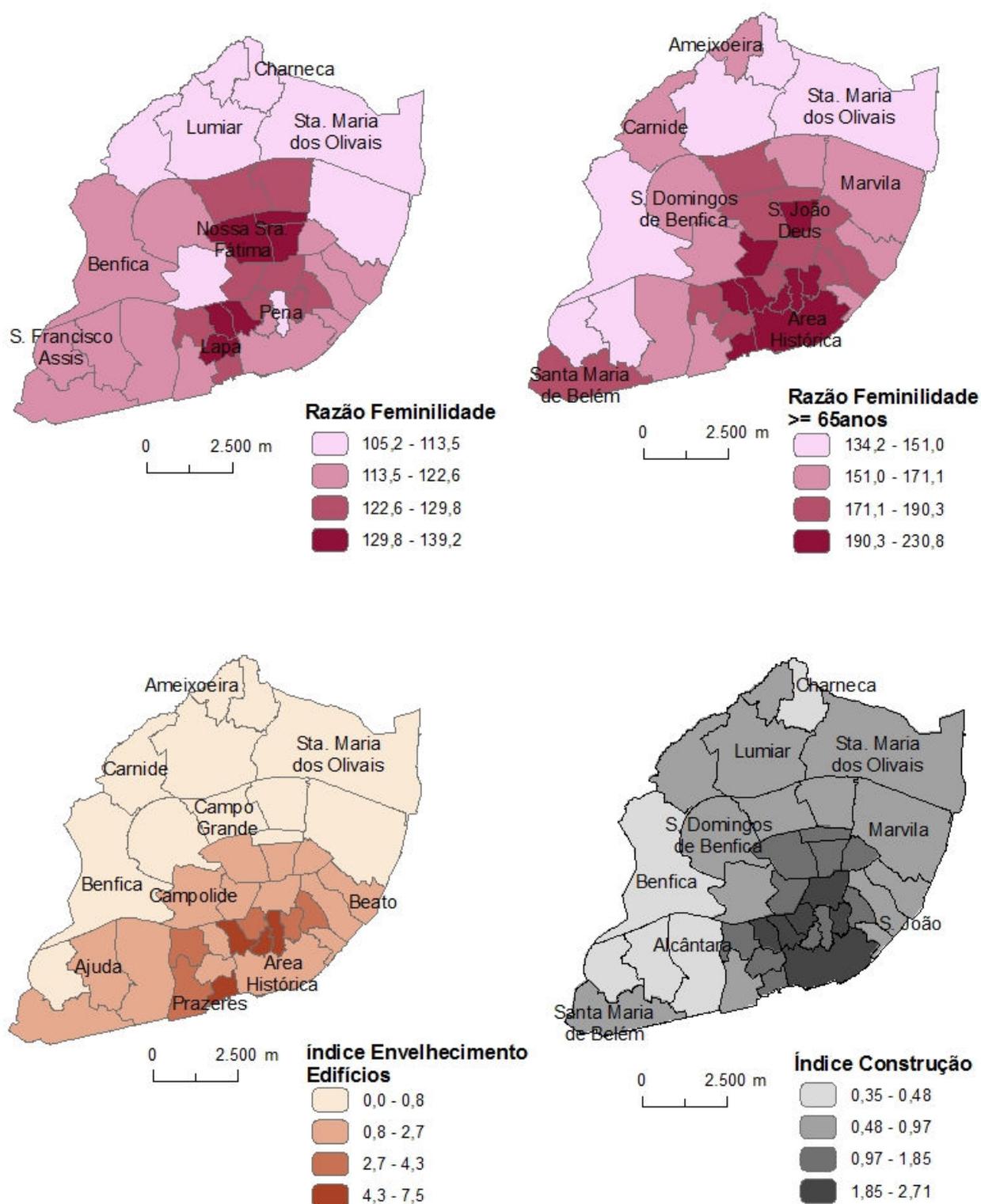


Figura 17 - Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade (a).



Sistema de Coordenadas: Lisboa Hayford Gauss IGeoE

Figura 18 - Distribuição espacial dos parâmetros de vulnerabilidade (b).

2.2 - Modelação da vulnerabilidade

A regressão múltipla *Forward Stepwise* entre as diversas variáveis independentes e a taxa de mortalidade média registada nos 10% de dias com temperatura máxima mais elevada, obteve um coeficiente de determinação de 0,71. No quadro 6, apresentam-se as variáveis com maior poder de explicação, juntamente com os coeficientes *beta* - β .

Quadro 6 - Coeficientes β do modelo de regressão entre a taxa de mortalidade média e os parâmetros de vulnerabilidade.

Variáveis Explicativas	Coeficiente β
RF ≥ 65	0.56
População Envelhecida	0,51

A análise estatística mostra que a desigual espacialização da taxa de mortalidade média se correlaciona fortemente com a razão de feminilidade com idade ≥ 65 anos (RF ≥ 65), evidenciando, como fora anteriormente explicado, que a mortalidade atinge diferentemente homens e mulheres. A população envelhecida correlaciona-se igualmente com a mortalidade, o que também vai de encontro à bibliografia consultada. Esta refere os idosos como a faixa etária da população mais vulnerável (Diaz, 2002; Champiat, 2008; NWF 2009).

O mesmo procedimento realizado para os 10% de dias seleccionados aleatoriamente alcançou um coeficiente de determinação, ligeiramente inferior, de 0,66. Porém, só a população envelhecida contribui para a explicação do modelo, sendo o valor beta de 0,67. Depreende-se assim que em dias de temperatura muito elevada existe um grupo de pessoas, as mulheres idosas, mais vulneráveis, do que em dias com temperatura “regular”.

Não obstante, os resultados obtidos correspondem aos esperados, pois os idosos e sobretudo, as mulheres idosas são de facto as pessoas mais vulneráveis. Era necessário inferir se as outras variáveis também influenciam a mortalidade, retirando o efeito das características da população. A figura 19 é alusiva à padronização dos dados da mortalidade, já com os correspondentes intervalos de confiança (IC).

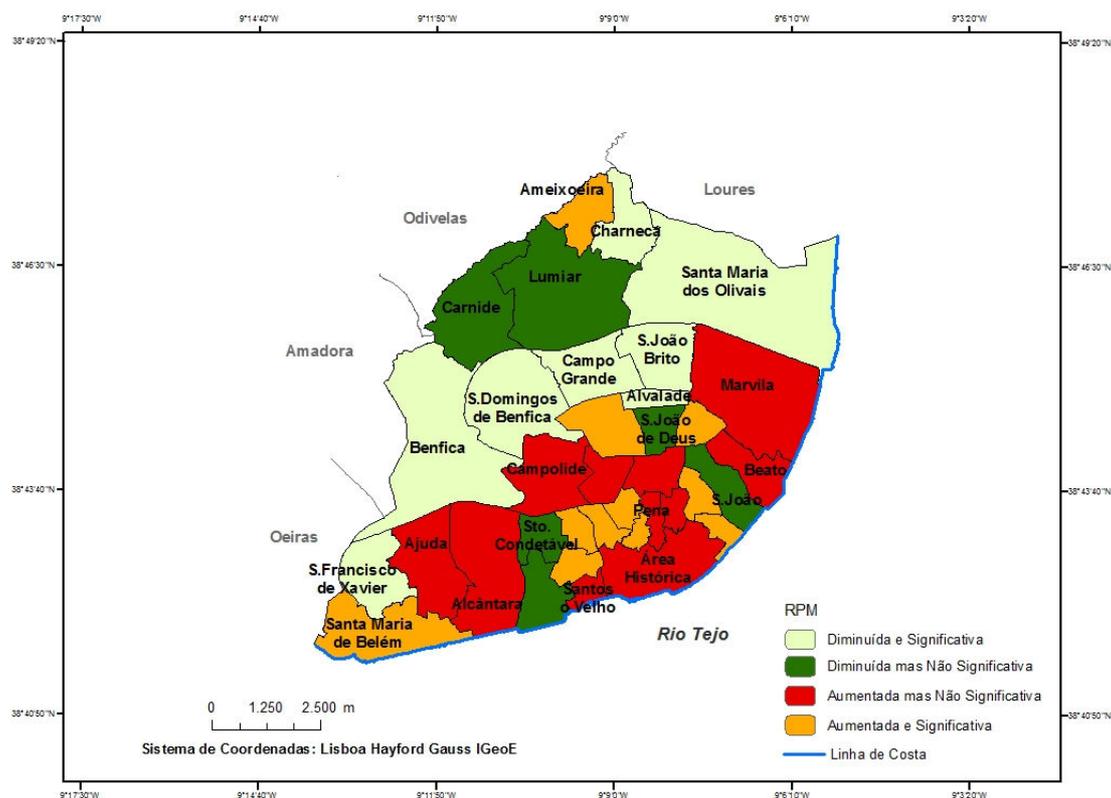


Figura 19 - Classificação das freguesias de Lisboa de acordo com os valores de RPM e respectivos intervalos de confiança.

Grosso modo, sugere a divisão do Concelho de Lisboa em duas grandes áreas, embora existam alguns casos pontuais. No Sul da cidade constata-se os valores de RPM “Aumentada e Significativa e Aumentada mas Não Significativa” (de que são exemplo S. Sebastião da Pedreira, Santos – o – Velho e Marvila com 125,3; 124,8 e 121,8 respectivamente), pelo que serão áreas de maior vulnerabilidade ao calor. Na parte periférica da cidade ressaltam os valores de RPM “Diminuída e Significativa e Diminuída mas Não Significativa”, sendo a única excepção a Ameixoeira.

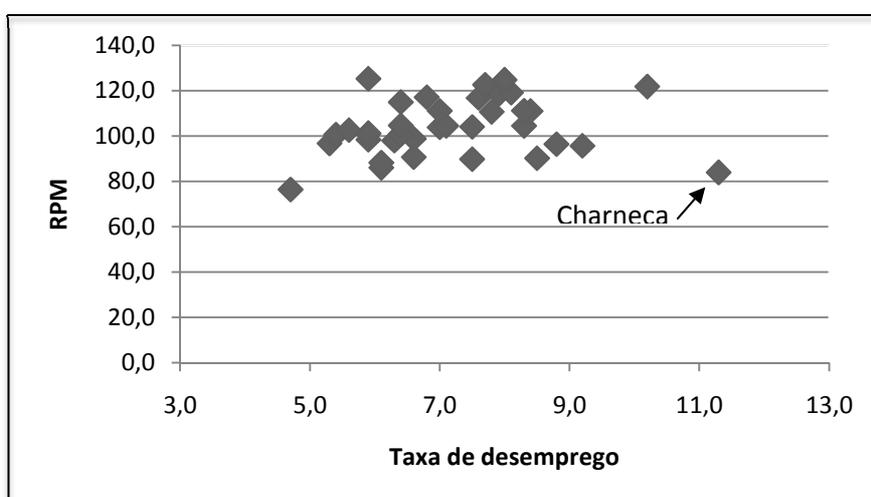
A regressão efectuada entre a RPM e as variáveis de vulnerabilidade, apresenta um coeficiente de determinação de 0,68. A padronização dos dados da mortalidade permite concluir que, se retirarmos as características demográficas, existem outras variáveis independentes que também se associam com a mortalidade, estando expressas no quadro 7 com os respectivos coeficientes β .

Quadro 7 - Coeficientes β no modelo de regressão entre a RPM e os parâmetros de vulnerabilidade.

Variáveis Explicativas	Coefficientes β
Tx. Analfabetismo	3,92
RF ≥ 65	0,27
Superfície de Espaço verde privado/hab.	-0,17
Pop. Ensino Superior	-1,09
Pop. Residente Nacionalidade Estrangeira	-2,47
Tx. Desemprego	-7,93

A relação positiva com a taxa de analfabetismo está de acordo com o esperado e é consistente com a bibliografia consultada (Medina, 2006 citado por Reid, 2009). A percentagem de população com ensino superior também é concordante com o esperado, uma vez que se associa, em linhas gerais, a um nível socioeconómico elevado, permitindo diminuir a vulnerabilidade. Esta variável pode ser vista como redundante da taxa de analfabetismo, aumentando a importância que tem na mortalidade o nível educacional.

A relação negativa entre a RPM com a taxa de desemprego é de mais difícil compreensão, devendo-se essencialmente ao comportamento da freguesia da Charneca. Esta, em 2001, apresentava a taxa de desemprego mais elevada de Lisboa, mas obtém um valor de RPM reduzido. Note-se que quando considerada a regressão linear simples entre a RPM e a taxa de desemprego (embora a amostra seja pequena), a relação é positiva, conforme se pode comprovar pela figura 20. O sinal negativo do coeficiente β no quadro acima, surge como uma compensação pelo valor baixo de RPM na Charneca.



Nesta relação entre a RPM e o desemprego na Charneca podem estar subjacentes diferentes factores:

a) Na Charneca o desemprego associa-se a um baixo nível socioeconómico a par de uma população extremamente jovem, mais saudável e menos vulnerável ao efeito adverso da temperatura.

b) A padronização dos dados da mortalidade teve como referência a população de 2001 (devido à inexistência de dados etários, ao nível de freguesia, para os restantes anos), enquanto que o período em análise é muito mais extenso, podendo introduzir uma distorção considerável na relação entre as variáveis. Neste sentido, é possível que a população imigrante tenha aumentado fortemente na freguesia da Charneca, entre 2001 e 2008. A chegada de população imigrante tem habitualmente um efeito de melhoria do estado de saúde das populações (Kenedy, 2006; Ray, 2007). Assim sendo, a população “efectiva”, correspondente ao período em que ocorre a mortalidade, pode ser consideravelmente mais saudável do que a população de referência de 2001, justificando os valores de RPM muito baixos. Na verdade, a limitação mais importante desta componente é o facto de a maior parte dos dados serem de 2001, podendo ter algum desfasamento com os dados de mortalidade (1998/2008).

c) Outra razão para a baixa RPM na Charneca pode ser, contudo, de carácter climático. A periferia Norte de Lisboa tem, em geral, valores mais baixos de temperatura que o centro da cidade, podendo-se reflectir num menor impacto das situações de calor extremo sobre a saúde.

Continuando a analisar o quadro 7, verifica-se que a Razão de feminilidade ≥ 65 anos é uma vez mais determinante, mostrando que as mulheres idosas são de facto um dos grupos mais vulneráveis ao calor excessivo.

O espaço verde privado e de arruamento tem uma relação negativa com a RPM, podendo interpretar-se de várias formas. As extensas áreas verdes estão, habitualmente, associadas a um elevado nível socioeconómico, indicando a possibilidade de haver uma redundância com outros factores condicionantes da mortalidade, não incluídos neste estudo (como por exemplo a disparidade no ganho médio mensal). As áreas com muito espaço verde privado também estão associadas, geralmente, a uma melhor qualidade do ar, o que juntamente com as suas múltiplas funções, exercem influência na mortalidade, suplantando variáveis que se crê, em geral, influenciar a mortalidade, como por exemplo, o baixo índice de construção. Contudo, a amostra é demasiado pequena para conclusões definitivas.

Por outro lado, os espaços verdes privados nem sempre estão associados a uma população com um determinado cariz socioeconómico: repare-se nos exemplos da Charneca, Alcântara e Marvila que também possuem espaços verdes privados, estando provavelmente associados a habitação de génese clandestina, bairros sociais antigos, vivendas unifamiliares, entre outros. Em estudos futuros este será um dos *itens* a analisar com maior detalhe, para uma maior compreensão da influência desta variável na mortalidade.

Conclui-se, portanto, que existe uma relação forte entre a RPM e o conjunto de factores condicionantes: as áreas com um nível socioeconómico mais baixo e a população idosa feminina são notoriamente desfavorecidas em termos de mortalidade.

Recorde-se que sem a padronização dos dados alcançou-se 71% da variância da mortalidade associada à população envelhecida e à RF ≥ 65 anos. Num segundo nível de análise, eliminando as características da população através da padronização dos dados da mortalidade, registou-se que a vulnerabilidade é ainda influenciada por outros factores, alcançando um modelo explicativo de 68%.

3 – Modelação da susceptibilidade de mortalidade devido ao calor excessivo

Neste capítulo, é apresentada uma proposta de modelação espacial da probabilidade de mortalidade associada ao calor excessivo. Os resultados da regressão entre a RPM e as variáveis independentes das duas componentes, perigosidade e vulnerabilidade, evidenciam que subsistem as variáveis explicativas alusivas à componente da vulnerabilidade como as condicionantes significativas da mortalidade (quadro 8).

Quadro 8 - Coeficientes β da modelação espacial da probabilidade de óbito relacionada com o calor extremo.

Variáveis Explicativas	Coeficientes β
Tx. Analfabetismo	0,72
RF ≥ 65	0,46
Pop. Nac. Est.	-0,34
Espaço verde privado/hab.	-0,37
Pop. Ens. Sup.	-0,70
Tx. Desemprego	-0,90

Os indicadores estatisticamente mais representativos são os mesmos que da análise relativa à vulnerabilidade. O modelo alcança a mesma capacidade explicativa 68%.

Neste sentido, a mortalidade associada ao calor excessivo correlaciona-se muito mais com variáveis de cariz socioeconómico que com as variáveis de âmbito climático consideradas, neste caso a energia disponível nas superfícies. Repare-se nos coeficientes que foram obtidos através da regressão, sendo os mais significativos a taxa de desemprego, a taxa de analfabetismo e a percentagem de população com ensino superior. Ainda que estas duas últimas sejam complementares, este facto significa que ser alfabetizado/ ser detentor de um grau académico diminuiu a probabilidade de óbito associado ao calor, uma vez que amplia a adaptação aos extremos climáticos. Este facto é concordante com estudos epidemiológicos. Por outras palavras também está implícito a estrutura etária da população, na medida em que as pessoas mais idosas têm menos estudos.

O sinal negativo da taxa de desemprego já foi devidamente justificado, exigindo-se futuramente uma análise mais aprofundada para esclarecer a questão. No entanto, relembra-se que quando foi efectuada a regressão linear simples entre a RPM e a taxa de desemprego, a relação foi positiva, evidenciando que a probabilidade de óbito ao calor é aumentada em condições socioeconómicas críticas. Destaca-se igualmente a $RF \geq 65$ pois de acordo com a componente teórica, e os resultados mostram, trata-se de uma faixa etária com maior risco ao calor.

De acordo com os resultados obtidos o método das *K – means cluster* (Wilks, 1995) permitiu identificar quatro áreas de susceptibilidade distinta, para a taxa de mortalidade média e para a RPM, representadas na figura 21.

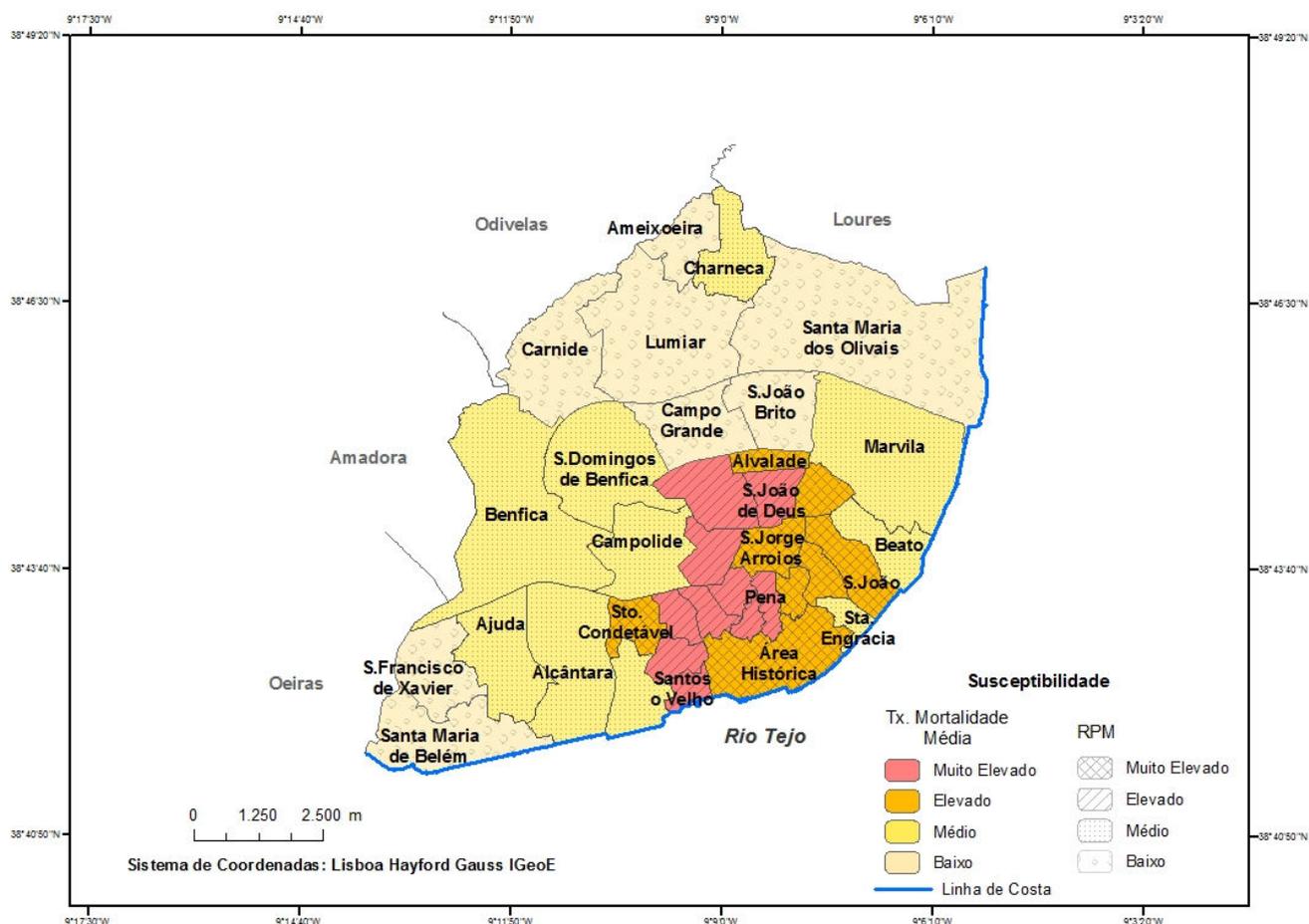


Figura 21 - Susceptibilidade à ocorrência de óbito devido a temperaturas elevadas, identificada pelo método das *K - means clusters*, com base nas duas variáveis dependentes: taxa de mortalidade média e RPM.

Constata-se que não existe uma continuidade espacial entre os vários grupos formados, o que seria de esperar face às diferenças existentes entre as freguesias. Verifica-se igualmente que os grupos formados, apesar do método de agregação ser diferente, são semelhantes aos que foram compostos no subcapítulo “Caracterização social e económica” da parte IV (página 42). Fica reforçada a distinção área central/área periférica e ocidental.

Em relação aos níveis de susceptibilidade média e baixa existe uma concordância entre as duas variáveis dependentes. A diferença consta nos níveis de maior susceptibilidade. Tendo em conta a RPM a “Área Histórica”, por exemplo, possui uma probabilidade de óbito devido às temperaturas extremas “Muito elevada” mas o nível de susceptibilidade passa a “Elevada” tendo como base a taxa de mortalidade média, que reflecte o efeito das características da população. No entanto, a diferença na taxa de mortalidade média entre estes dois níveis (A e B) é muito baixa (quadro 9), o que reforça a probabilidade de óbito das freguesias no núcleo central da cidade.

Quadro 9 - Caracterização dos diferentes níveis de susceptibilidade.

Níveis de Susceptibilidade	Variáveis Dependentes					
	<u>Taxa Mortalidade Média</u>			<u>RPM</u>		
	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo
A (Muito elevada)	6,87	9,32	4,97	106,80	125,3	98,3
B (Elevada)	6,45	7,08	5,42	107,84	118,7	90,6
C (Média)	4,80	7,38	2,18	103,46	121,8	83,9
D (Baixa)	4,14	6,83	2,67	94,90	110,0	76,3

Interpretação da Susceptibilidade:

Muito elevada e elevada – de todo o espaço citadino estes dois níveis correspondem às áreas mais desfavorecidas do ponto de vista das variáveis independentes com maior capacidade explicativa, caracterizando-se pelo baixo cariz socioeconómico. Neste sentido, observa-se por exemplo uma baixa superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante e uma elevada taxa de desemprego. Acrescenta-se que se trata de uma área com população envelhecida (≥ 65 anos), ampliando a vulnerabilidade da população às temperaturas elevadas. A diferença, pouco acentuada, entre os dois níveis poderá dever-se essencialmente ao facto de no nível A existir uma menor percentagem de população imigrante e uma maior Razão de Feminilidade ≥ 65 anos.

Média e baixa - no cômputo geral, as variáveis socioeconómicas consideradas não possuem valores tão elevados que nos níveis anteriores. A superfície de espaço verde privado e árvores de arruamento por habitante é mais elevado e é também maior a percentagem de população com curso superior. A disparidade entre os dois níveis pode explicar-se pela taxa de desemprego, mais elevada no nível C e pela RF ≥ 65 anos, mas principalmente pela estrutura etária, que é mais rejuvenescida no nível D.

Destaca-se no nível de susceptibilidade média a freguesia da Charneca, que pelas razões anteriormente mencionadas estará a introduzir uma distorção notável nos resultados obtidos. Apesar de em 2001 possuir a taxa de desemprego mais elevada de Lisboa, o que normalmente se associa a um cariz socioeconómico baixo, a população é jovem. Possivelmente, a Charneca enquadrar-se-ia melhor no nível D.

Em geral, identifica-se o grande núcleo central de Lisboa como o mais vulnerável, sendo que o Norte da cidade é onde se verifica uma menor vulnerabilidade, juntamente com São Francisco de Xavier e Santa Maria de Belém na parte ocidental da cidade. O quadro 10 apresenta, de forma sumária, as principais características de cada nível.

Quadro 10 - Quadro resumo das principais características das freguesias de Lisboa à susceptibilidade ao calor excessivo.

Níveis de Susceptibilidade	Indicadores:	Características
Muito Elevada e Elevada	Demográficos: - Estrutura etária da população - Razão de feminilidade	- População envelhecida (≥ 65 anos) - Elevada RF ≥ 65 anos
	Socioeconómicos: - Desemprego	- Elevada taxa desemprego
	Urbanísticos: - Área verde	- Baixa superfície de espaço verde privado e de arruamento por habitante
Média e Baixa	Demográficos: - Estrutura etária da população	- População mais jovem
	Socioeconómicos: - Desemprego e grau de alfabetização	- Menor taxa de desemprego - Maior % de população com curso superior
	Urbanísticos: - Área verde	- Maior superfície de espaço verde privado e de arruamento por habitante

Apesar de os diferentes níveis de susceptibilidade serem explicados essencialmente pelas variáveis socioeconómicas com maior capacidade explicativa, as variáveis físicas (como a temperatura) devem, certamente, exercer a sua influência. Outras variáveis relativas à perigosidade (e qualidade do ar) teriam de ser consideradas, mas a inexistência de dados ao nível da freguesia torna-se um obstáculo. Contudo, sabe-se que em geral, os valores de temperatura são mais baixos no Norte da cidade que no centro. Como já foi referido poderá ser da ilha de calor urbana que é mais intensa no centro da cidade, o que poderá contribuir para aumentar a dificuldade em suportar as temperaturas elevadas, especialmente se se considerar que se trata de uma população envelhecida. Do mesmo modo, o Norte da cidade está mais exposto ao efeito da nortada¹⁷ (no Verão) que o centro da cidade, o que contribui para diminuir a temperatura e reflectir-se num menor impacte na saúde.

¹⁷ Nortada é um vento relativamente forte e que afecta todo o litoral ocidental da Península Ibérica (PI) durante a Primavera mas sobretudo no Verão. Este vento desencadeia-se devido às diferenças de pressão entre a PI que está aquecida, encontrando-se por vezes uma depressão de origem térmica, e o oceano que possui o Anticiclone dos Açores e onde a temperatura é inferior (Lopes, 2003).

No mapa da figura 22 é possível verificar as relações entre os diferentes níveis de susceptibilidade às temperaturas excessivas e os vários parâmetros da vulnerabilidade com maior capacidade explicativa. Note-se que por se tratar de um mapa síntese, em que se reúne muita informação, existem alguns elementos chave da representação cartográfica (como a legenda) que não foram inseridos. O objectivo é possuir uma ideia genérica da distribuição espacial dos vários indicadores.

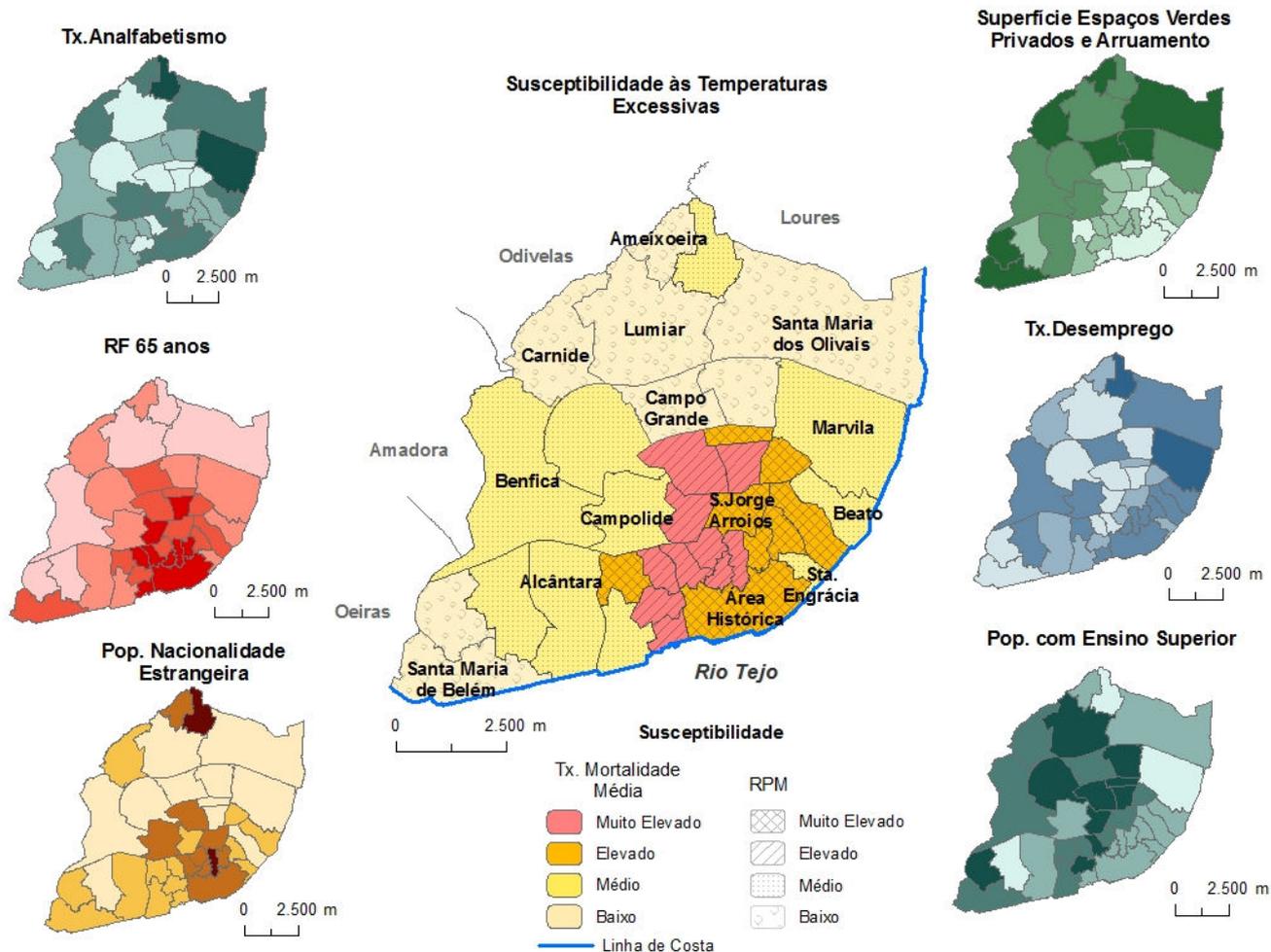


Figura 22 - Mapa de síntese da relação entre a susceptibilidade às temperaturas excessivas e os vários parâmetros em estudo.

Parte V – Conclusões

Neste trabalho foi apresentada uma proposta de modelação da perigosidade e da vulnerabilidade da população urbana numa escala local, Lisboa, seguindo-se a delimitação das áreas mais susceptíveis à ocorrência de mortalidade associada a temperaturas extremas.

No que diz respeito à perigosidade durante os quatro meses estivais (Junho/Setembro) do período 1998/2008 a regressão efectuada entre a mortalidade (subdividida em quatro parâmetros) e os diversos indicadores de perigosidade (temperatura do ar e ozono troposférico), permitiu concluir que são as concentrações de ozono às 12h que explicam a “Mortalidade Total”, os óbitos com idade ≥ 65 anos e os óbitos do sexo masculino de idade ≥ 65 anos. A excepção diz respeito somente aos óbitos nas mulheres de idade ≥ 65 anos, em que é a temperatura mínima que melhor explica a mortalidade. Este facto deve-se a deficiências de regulação térmica que as mulheres idosas possuem, sendo precisamente a temperatura mínima a variável mais difícil de suportar, denunciando o quanto este género é vulnerável às temperaturas excessivas. No entanto, os resultados “gerais” permitem concluir que não é somente a temperatura extrema passível de influenciar positivamente a mortalidade, como também as elevadas concentrações de ozono, ainda que este esteja intrinsecamente associado às temperaturas elevadas. Porém, esta foi uma temática pouco desenvolvida, próximos trabalhos deverão desenvolver-la mais, para se compreender melhor a sua influência.

Relativamente aos meses estivais de 2003, a análise entre a mortalidade e as variáveis de perigosidade, incluindo também a T_5 diurna e nocturna, demonstrou que a mortalidade se correlaciona unicamente com a T_5 nocturna. Este modelo alcançou uma explicação de 0,60. Esta situação implica a compreensão do balanço energético da cidade, que manifesta que a temperatura é mais elevada na área urbana que nas áreas circundantes, devido ao armazenamento de calor nas superfícies ao longo do dia e que é libertado precisamente durante a noite. Pode-se ainda referir que a ICU, na maioria das vezes, é mais intensa durante a noite, não existindo arrefecimento nocturno tão acentuado. As consequências são prejudiciais sob a perspectiva da população, que numa situação de calor extremo vê comprometida a recuperação do stress térmico. Se o diferencial de calor entre os centros urbanos e as áreas adjacentes aumentar, crescem igualmente os riscos sanitários. Apesar dos resultados, pode ser entendido como factor limitativo para a total compreensão da temática em estudo, o facto de as T_5 terem sido obtidas a partir de imagens de satélite NOAA referentes ao Verão de 2003. Este, tratou-se de um período particularmente quente para se poderem tecer convenientemente conclusões, além de que a amostra é demasiado reduzida. Seria interessante se se obtivesse a T_5 diurna e nocturna para o restante período em análise (1998/2008). No entanto, a importação e processamento de todas as imagens é demasiado moroso e laborioso, tendo em conta o tempo necessário e útil para se levar a cabo este trabalho. Será um facto a ser contornado em futuros trabalhos.

No que concerne ao balanço energético obtido para o dia 24 de Junho de 2000, a variável QG/Q* (razão entre o fluxo de calor armazenado e o balanço radiativo) colocou em evidência a disparidade entre as áreas verdes e as áreas urbanas. A acumulação de energia nas superfícies é maior nas áreas mais urbanizadas, pelas diversas razões anteriormente mencionadas (nomeadamente o efeito da ilha de calor urbano e as propriedades térmicas dos materiais). Este resultado juntamente com a análise relativa a 2003 mostra que se deve investir numa urbanização sustentada e que tenha em vista este tipo de variáveis, nomeadamente nas áreas que tendem fortemente à

urbanização, como o Norte de Lisboa. Nesta área os corredores de ventilação que canalizam o vento são de extrema importância, pois permitem a entrada de ar fresco na cidade reduzindo a temperatura do ar, o que por sua vez tem repercussões imediatas no conforto térmico dos habitantes (Alcoforado *et al.* 2006; Lopes 2011). Na actual política de ordenamento do território em massa “Os agentes do planeamento deviam considerar a entrada de ar fresco das áreas adjacentes da cidade, mantendo os corredores de ventilação” (WHO, 2004). Este facto ganha maior importância se se considerar a relação obtida entre o índice de construção e o QG/Q* que alcançou uma correlação de 43%. Coloca-se mais uma vez em evidência o incremento da rugosidade oriunda de uma urbanização “desmesurada”. Ao preservar-se esta tendência não será garantida uma boa ventilação da cidade, repercutindo-se no desconforto térmico da população, o que em dias de calor excessivo ou em situações de vagas de calor se torna extremamente prejudicial, aumentando a probabilidade de óbito. Acresce a pertinência quando se concluiu, numa fase posterior, que uma das áreas de maior susceptibilidade em Lisboa corresponde à área com maior índice de construção e maior acumulação de calor, a “Área Histórica”. Deveria existir um maior diálogo entre os agentes de planeamento e climatologistas, de modo a ter-se em conta a influência de variáveis desta natureza no planeamento.

No cômputo geral, as variáveis de âmbito climático exerceram a sua influência na mortalidade, embora se tenha concluído, em outras análises, que os indicadores de cariz socioeconómico tenham maior importância. Porém, esta também é uma questão a ser mais bem examinada, podendo os próximos estudos incluir outras variáveis e inclusive os cenários climáticos projectados pelo IPCC.

A análise da vulnerabilidade da população ao calor excessivo, demonstrou que os principais factores que condicionam a taxa de mortalidade média são a estrutura etária e a Razão de feminilidade ≥ 65 anos, que explicam 71 % da variância da mortalidade média. Estes resultados são compreensíveis na medida em que se trata de uma população mais sensível ao calor, que pela idade é sujeita a maiores perturbações na regulação térmica. A padronização dos dados da mortalidade, permitiu retirar a influência destas variáveis (idade e sexo) e evidenciou que existem outros factores que caracterizam a mortalidade, durante a ocorrência de temperaturas muito elevadas, sendo essencialmente a taxa de analfabetismo, a população detentora de ensino superior e a taxa de desemprego. O modelo alcançou uma capacidade explicativa de 68%.

Decorrente do cruzamento das duas componentes anteriores, alcançou-se a susceptibilidade à ocorrência de óbito devido a temperatura extrema. Verificou-se que no modelo as variáveis explicativas relativas à componente da vulnerabilidade são as principais condicionantes da variância da mortalidade. Este facto evidencia que os parâmetros de cariz socioeconómico se sobrepõem aos parâmetros climáticos estudados nesta dissertação. No entanto, não é viável desconsiderar na sua totalidade a influência do balanço radiativo e energético. Os próximos estudos devem convergir inevitavelmente no sentido de melhorar o modelo, nomeadamente na obtenção de várias imagens que correspondam inteiramente aos objectivos pretendidos, podendo-se fazer a fusão entre várias imagens (menor resolução e maior pormenor).

A espacialização dos quatro níveis de susceptibilidade à ocorrência de óbito devida a temperatura excessiva, mostrou que os níveis de maior susceptibilidade correspondem às áreas mais desfavorecidas em termos socioeconómicos, etários e urbanísticos. Inversamente, a susceptibilidade é baixa essencialmente nas freguesias periféricas, da qual pertencem as freguesias de Carnide, Ameixoeira e Lumiar, devendo-se particularmente a uma população bastante jovem.

Em suma, a adaptação a dias de temperatura extrema e a futuras vagas de calor no que se refere aos seus impactes na saúde pública, deverá inevitavelmente passar pela modificação dos factores de vulnerabilidade identificados como os mais prejudiciais, particularmente nas áreas de maior susceptibilidade. Torna-se assim claro que há uma necessidade iminente de desenvolver estratégias de adaptação face a estes fenómenos estivais extremos, aliada a uma política de urbanização consciente deste tipo de eventos.

É desta forma que se encontra a aplicabilidade deste estudo, na medida em que pode servir como um instrumento para a tomada de decisões ao nível do ordenamento do território, especificamente no que diz respeito à sustentabilidade urbana e à saúde humana. Ao comprovar a importância das variáveis de ordem climática no ordenamento do território, espera-se uma consciencialização da parte dos agentes de planeamento aquando da construção/expansão de áreas urbanas. Os resultados obtidos podem igualmente servir os objectivos da Autoridade Nacional de Protecção Civil, pois ao identificar as áreas de maior susceptibilidade de mortalidade às temperaturas elevadas, podem ser conjecturadas medidas de assistência específicas para cada uma das áreas, tornando mais profícua a sua actuação.

A par da aplicabilidade do estudo comprova-se igualmente a importância da Detecção Remota, ao permitir estimar variáveis que de outra forma não seriam possíveis, assim como a utilidade dos SIG, sendo os mapas gerados um bom exemplo do seu potencial. A sociedade actual é cada vez mais uma sociedade de informação e as suas actividades apontam justamente para uma crescente necessidade destas ferramentas, como é o caso precisamente do apoio à decisão numa solução sustentada na definição das áreas de maior susceptibilidade de ocorrência de óbito por temperaturas extremas. Este pode ser considerado como um dos contributos dos SIG na área da climatologia urbana, sendo “precisamente neste âmbito que a Informação Geográfica pode ter um papel chave” (Julião, 2001 citado por Rodrigues, 2006).

É espectável que os desenvolvimentos futuros convirjam no sentido de colmatar as lacunas identificadas ao longo do estudo a par da contínua melhoria deste tipo de modelos, pois a análise de um estudo deste âmbito está automaticamente limitada aos dados que são inicialmente adquiridos. Os próximos estudos devem tentar obter mais variáveis para conclusões mais exaustivas, especialmente da componente da perigosidade, das quais se fez menção ao longo do trabalho, a fim de se alcançar um resultado mais sólido. Seria também interessante introduzir algumas variáveis sugeridas pelos diversos estudos epidemiológicos, como por exemplo as crianças com idade inferior a cinco anos ou o factor isolamento. O estudo complementar-se-ia com o acesso às causas de óbito ou ao número de internamentos devido a razões cardio-respiratórias, de forma a identificar na íntegra a correlação da variação da mortalidade diária induzida pelo calor. O modelo poderia ainda ser melhorado com outros procedimentos estatísticos e a quantificação do risco potencial de óbito face ao calor extremo seria mais um importante passo a ser dado.

“(…) parece que o Homem é o flagelo do planeta: mas o planeta Terra sem os homens não seria apenas uma bola errante no espaço, entre tantas outras?”

Demangeot, 2000

Referências bibliográficas

- Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (2011) – *Plano de contingência para as ondas de calor 2011 – 2012*. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo, 31.
- Alcoforado MJ (1987) – Brisas estivais do Tejo e do oceano na região de Lisboa. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXII (43): 71 – 112.
- Alcoforado MJ (1993) – *O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos*. CEG/UL, Lisboa.
- Alcoforado MJ, Andrade H (2007) – Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): Main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3): 151-159.
- Alcoforado MJ, Daveau S, Lopes A, Baumgartner M. (1996) – Regional thermal patterns in Portugal using satellite images (NOAA AVRHH). *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXX (59-60): 123 – 138.
- Alcoforado MJ, Dias M (2002) – Imagens climáticas da região de Lisboa. Enquadramento na diversidade climática de Portugal Continental. CEG, Lisboa, ISBN 972-636-133-8.
- Alcoforado MJ, Lopes A (2003) – Wind fields and temperatures patterns in Lisbon (Portugal) and their modification due to city growth. *Fifth International Conference on Urban Climate*, 1: 383 -386.
- Alcoforado MJ, Lopes A, Andrade H, Vasconcelos J (2006) – *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*. Universidade de Lisboa, Centro Estudos Geográficos, Área de Investigação de Geo-Ecologia.
- Andrade H (2003) - *Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Andrade H, Vieira R (2007) - A climatic study of an urban green space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal). *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLII (84): 27 – 47.
- Balogun A, Adegoke J, Vezhapparambu S, Mauder M, McFadden J, Gallo K (2009) - Surface energy balance measurements above an exurban residential neighbourhood of Kansas city, Missouri. *Boundary-Layer Meteorology*, 133: 299 - 321.
- Baltazar S (2010) – *Mapas bioclimáticos de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Beniston M (2004) - The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31: 1 - 4.
- Besancenot, J.P. (2005) – La mortalité consécutive à la vague de chaleur de l'été 2003 étude épidémiologique. *La presse thermique et climatique*, 142 : 13-24.
- Best M, Betts R (2003) - The impact of climate change on our cities. *Fifth International Conference on Urban Climate*, 2 : 427-430.
- Borsoi V (2008) – *Análise multitemporal da dinâmica da expansão urbana em áreas de protecção permanente no município de Caçapava – SP*. Projecto Final, Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

- Botelho J, Catarino J, Carreira M, Calado R, Nogueira P, Paixão E, Falcão J (2004) – *Onda de calor de Agosto de 2003: os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa*. Direcção Geral da Saúde e Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, 1-36.
- Brest C, Goward S (1987) – Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 8(3): 351-367.
- Câmara Municipal de Lisboa (2009) - *Cenários demográficos. Relatório da proposta preliminar da revisão do PDM – sumário executivo*. Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa.
- Canário P (2010) – Thermal extremes mortality risk assessment in urban areas. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLV (89): 171-177.
- Cantant O (2004) – L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. *NOROIS*, 191 (37).
- Champiat C (2008) – *Prevention des effets sanitaires des vagues de chaleur, élaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du grand Lyon*. Project final, École des Hautes Etudes en Santé Publique.
- Chander G, Markham B, Helder D (2009) – Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *ELSEVIER, Remote Sensing of Environment*, 113: 893-903.
- Cunha L, Dimuccio L (2002) - Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição. Exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra. *Territorium*, 9: 37-51.
- Demangeot J (2000) – *Os meios “naturais” do Globo*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Desplat J, Lauffenburger M, Salagnac J, Koukou-Armaud R, Lemonsu A, Colombert M, Masson V (2009) – Projet EPICEA, étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne. *Fifth Urban Research Symposium 2009*, 1 – 9.
- Dessai S (2002) - Heat stress and mortality in Lisbon part I. Model construction and validation. *International Journal Biometeorology*, 47: 6-12.
- Dessai S (2003) - Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal Biometeorology*, 48: 37-44.
- Diaz J, Jordan A, Garcia R, Lopez C, Alberdi J, Hernandez E, Otero A (2002) – Heat waves in Madrid 1986–1997: effects on the health of the elderly. *International Archives Occupational Environmental Health*, 75: 163 – 170.
- Direcção Geral Saúde (2004) – *Plano de contingência para as ondas de calor*. Direcção Geral de Saúde, 17.
- Ebi K, Balbus J, Kinney P, Lipp E, Mills D, O'Neill M, Wilson M (2009) – U.S. funding is insufficient to address the human health impacts of and public health responses to climate variability and change. *Environmental Health Perspectives*, 117 (6): 857 – 962.
- European Environment Agency (2006) – *Urban sprawl in Europe – The ignored challenge*. European Environment Agency, 10: 60.
- Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D, Tertre A, Pascal L, Chardon B, Blanchard M, Declercq C, Jusot J, Prouvost H, Ledrans M (2006) – The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environmental Health Perspectives*, 114 (9): 1344 – 1347.

Franklin C (2004) - Lessons from a heat wave. *Intensive Care Med*, 30 (1):167.

Füssel H (2010) - *The risks of climate change: a synthesis of new scientific knowledge since the finalization of the IPCC fourth assesment report (ar4)*. Background note to the World Development Report 2010.

Gallo K, Ji L, Reed B, Eidenshink J, Dwyer J (2005) - Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data. *Remote Sensing of Environment*, 99: 221-231.

Gallo K, Owen T (1998) - Assessment of urban heat islands: A Multi-Sensor perspective for the Dallas-Ft. Worth, USA Region. *Geocarto International*, 13 (4): 35 – 41.

Gallo K., Reed B, Owen T, Adegoke, J (2005) - Characteristics of seasonal vegetation cover in the conterminous USA. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71: 959-966.

GIEC (2001) - *Changements climatiques 2001: Rapport de synthèse, Résumé à l'intention des décideurs*. WMO/UNEP, 37.

Gómez F, Souissi S (2008) - The impact of the 2003 summer heat wave and the 2005 late cold wave on the phytoplankton in the north-eastern English Channel. *ELSEVIER, Comptes Rendus Biologies*, 331: 678 – 685.

Gosling S, Lowe J, McGregor G, Pelling M, Malamud B (2009) - Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Climatic Change*, 92: 299–341.

Gosling S, McGregor G, Lowe J (2009) - Climate change and heat-related mortality in six cities, Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. *International Journal Biometeorology*, 53: 31 – 51.

Gosling S, McGregor G, Páldy A (2007) - Climate change and heat-related mortality in six cities, Part 1: model construction and validation. *International Journal Biometeorology*, 51: 525 – 540.

Groenewegen P, Evan den Berg A, Vries S, Verheij R (2006) - Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety. *BioMed Central Public Health*, 6 (149): 9.

Harlan L, Brazel A, Prashad L, Stefanov L, Larsen L (2006) - Neighborhood environments and vulnerability to heat stress. *Annual meeting of the American Sociological Association, Montreal Convention Center, Montreal, Quebec, Canada*, 2847 – 2863.

Huttner S, Bruse M, Dostal P, Katschner A (2009) – Strategies for mitigation thermal heat stress in central european cities: The Project KLIMES. *The Seventh International Conference on Urban Climate*.

Institut de Veille Sanitaire (2003) – *Vague de chaleur de l'été 2003: relations entre températures, pollution atmosphérique et mortalité dans neuf villes françaises*. Institut de veille sanitaire.

IPCC, (2007) - *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jones P, Mann M (2004) - Climate Over the Past Millenia, *Reviews of Geophysics*, 42: 1- 42.

Julião R, Nery F, Ribeiro J, Branco C, Zêzere J (2009) – *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação se sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. ANPC, DGOTDU, IGP, 93.

Karl R, Trenberth E (2003) - Modern global climate change. *Science*, 302: 1719-1723.

Kassomenos P, Gryparis A, Samoli E, Katsouyani K, Lykoudis S, Flocas A (2001) – Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece. *Environmental Health Perspectives*, 109(6): 591 – 596.

Kennedy S, McDonald J, Biddle N, (2006) - The healthy immigrant effect and immigrant selection: Evidence from four countries. *SEDAP Research Paper No. 164*, Hamilton, Ontario, Canada.

Lachance G, Baudouin Y, Guay F (2006) – Étude des îlots de chaleur montréalais dans une perspective de sante publique. *Institut National De Santé Publique Du Québec*, 17(3) :12.

Levermore G, Chow D (2003) - Climate change test reference years for buildings and urban environment. *Fifth International Conference on Urban Climate*, (2): 445-448.

Lillesand T, Kiefer R (1994) – *Remote sensing and image interpretation*, Jonh Wiley and Sons, New York.

Lopes A (2003) – Local wind changes with different roughness simulated in a wind tunnel: an example of application to a city district in the north of Lisbon. *Fifth International Conference on Urban Climate*, 1: 439 – 442.

Lopes A (2003) – *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Lopes A (2009) - O Sobreaquecimento das cidades causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *TERRITORIUM*, 15: 39 - 52.

Lopes A, Saraiva J, Alcoforado MJ (2011) - Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. *Environmental Modelling & Software*, 26: 241 – 243.

Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) – European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 303: 1499-1503.

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

McMichael A (2001) - La santé en milieu urbain: conséquences de la mondialisation pour les pays en développement. *Bulletin de l'organisation mondiale de la santé*, 4: 53 – 64.

Metzger K, Ito K, Matte T (2010) - Summer heat and mortality in New York City: How hot is too hot? *Environmental Health Perspectives*, 118 (1): 80 – 91.

Meusel D, Menne B, Kirch W, Bertollini R, The Bratislava Collaborating Group (2004) – Public health responses to extreme weather and climate events – a brief summary of the WHO meeting on this topic in Bratislava on 9-10 February 2004. *Journal Public health*, 12(6): 371-381.

Moreno G (1999) - *Climatología urbana, Textos docents: 160*. Edicions Universitat de Barcelona.

National Wildlife Federation (2009) – More extremes heat waves: Global warming's wake up call. National Wildlife Federation, 16.

Nielsen T, Hansen K (2007) – Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Elsevier, Health & Place*, 13: 830 – 850.

Nogueira H (2001) – *Mortalidade e morbidade hospitalar por tumor maligno em Portugal Continental*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Nogueira H (2008) - *Os Lugares e a saúde. Investigação em geografia da saúde*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- OKE, T (1987) - *Boundary layer climates*. Routledge, London.
- OKE T (1995) - " *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*". In: Cermak *et al.* (Ed.) *Wind Climate in Cities*, Kluber Academic Publishers: 81-107.
- Paixão E, Nogueira P (2003) – Efeitos de uma onda de calor na mortalidade. *Vigilância Epidemiológica*, 21(1):41-54.
- Parlow E (1998) – Net radiation of urban areas. *Future Trends in Remote Sensing*, Gudmandsen (ed.) Balkema: Rotterdam, 221 – 226.
- Parlow E (2000) –Remotely sensed heat fluxes of urban areas. *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium* – Selected papers from the conference ICB – ICUC'99, WMO/TD, nº1026: 523-528.
- Qian Z, He Q, Lin H, Kong L, Bentley M, Liu W, Zhou D (2008) – High temperatures enhanced acute mortality effects of ambient particle pollution in the "oven" city of Wuhan, China. *Environmental Health Perspectives*, 116(9): 1172 – 1178.
- Rahola S, Oppen V, Mulder K (2009) – *Heat in the City – An inventory of knowledge and deficiencies regarding heat stress in Dutch Cities and options for its mitigation*. National Research Programme Climate changes spatial planning.
- Ramón M, Zanobetti A, Cavanagh P, Schwartz J (2006) – Extreme temperature and mortality: assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis. *Environmental Health Perspectives*, 114(5): 1331 – 1336.
- Ray J, Vermeulen M, Schull M, Singh G, Shah R, Redelmeier D (2007) - Results of the recent immigrant pregnancy and perinatal long-term evaluation study (RIPPLES). *Canadian Medical Association*, 176 (10): 1419-1426.
- Reid E, O'Neill S, Gronlund, C, Brines, J, Brown, G, Diez-Roux V, Schwartz J (2009) – Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental Health Perspectives*, 117(11):1730-1736.
- Reis E.(1997) – *Estatística multivariada aplicada*. Edições Sílabo, Lisboa.
- Ribeiro J. 2007 – *A Detecção remota no inventário florestal – Análise das potencialidades da utilização das imagens de satélite*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Rigo G, Parlow E (2007) - Modelling the ground heat flux of an urban area using remote sensing data. *Theoretical Applied Climatology*, 90(3-4): 185–199.
- Robinson P (2001) - On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*, 40: 762-775.
- Santos F, Forbes K, Moita R (eds) (2002) – *Climate change in Portugal scenarios, Impacts and adaptation measures SIAM project*. Gradiva, Lisboa.
- Santos M (2009) - *Utilização de imagem liss III para análise de espaços verdes em lisboa*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Santos T (2003) – *Actualização de cartografia temática com imagens de satélite*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Schar C, Vidale P, Luthl D, Frei C, Haberll C, Liniger M, Appenzeller C (2004) - The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427: 332-336.

Smoyer-Tomic K, Rainham D (2001) – Beating the heat: development and evaluation of a canadian hot weather health-response plan. *Environmental Health Perspectives*, 109(12): 1241 – 1248.

Tan J (2008) – Commentary: People’s vulnerability to heat wave. *International Journal of Epidemiology*, 37: 318 – 320.

Tungalagsaikhon P, Kurt G (2007) - NOAA AVHRR derived land surface temperature maps (LST). Earth Observation Data Service. (Acedido em 7 de Novembro de 2009).

Voogt J (2002) - Urban heat island. In Munn, T. *Encyclopedia of global environmental change, vol.3, Causes and consequences of global environmental change*, John Willey and Sons, Ltd, Chichester: 660-666.

Wilks D (1995) - *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, San Diego.

World Health Organization (2004) – *Heat waves: risks and responses*. World Health Organization, (2): 120.

Zêzere L (2005) – *Dinâmica de Vertentes e riscos geomorfológicos – Programa*. Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, Rel. nº 41, Lisboa.

Decretos-lei

Decreto-Lei n.º 38:382 de 7 de Agosto de 1951 – Ministério das Obras Públicas.

Sítios da Internet

University Wisconsin MARATHON COUNT

http://www.uwmc.uwc.edu/geography/100/koppen_web/koppen_map.htm – Acedido em 7 de Novembro de 2009

National Aeronautics and Space Administration - NASA

<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html> - Acedido em 28 de Novembro de 2009

http://terra.nasa.gov/About/ASTER/about_aster.html - Acedido em 30 de Novembro de 2009

http://terra.nasa.gov/About/MODIS/about_modis.html - Acedido em 30 de Novembro de 2009

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - <http://www.fc.up.pt>

Acedido em 28 de Novembro de 2009

Centre d’Énergétique de l’École des Mines de Paris, Groupe Télédétection et Modélisation

<http://www.helioserve.cma.fr> – Acedido em 19 de Dezembro de 2009

Instituto de Meteorologia - <http://www.meteo.pt>

Acedido em 7 de Novembro de 2009

Meteoalarm - <http://www.metoffice.gov.uk/about-us/what/pws>

Acedido em 7 de Novembro de 2009

Instituto Geográfico Português - <http://www.igeo.pt/gdr>

Acedido em 10 de Novembro de 2009

Anexos