

# ESTUDOS SOBRE CIDADES E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Maria João Alcoforado<sup>1</sup> (*Edit.*)

Henrique Andrade<sup>1</sup> (*Edit.*)

António Lopes<sup>1</sup> (*Edit.*)

Sandra Oliveira<sup>1</sup> (*Edit.*)

Marcelo Fragoso<sup>1</sup>

Magda Lombardo<sup>2</sup>

Andreas Matzarakis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Dep. de Planeamento territorial e Geoprocessamento, Universidade Estadual Paulista, Brasil

<sup>3</sup> Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Área de investigação de Geo-Ecologia  
Centro de Estudos Geográficos  
Universidade de Lisboa  
2008

## FICHA TÉCNICA

**Título:** Estudos sobre cidades e alterações climáticas

**Editores:** Maria João Alcoforado; Henrique Andrade; António Lopes; Sandra Oliveira

**Concepção da capa:** António Lopes

**Unidade de Investigação:** Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. Área de Investigação em Geo-Ecologia

**Edição:** Centro de Estudos Geográficos

**Impressão:** David Barreira

**Tiragem:** 250 exemplares

**ISBN:** 978-972-636-180-0

Projecto UrbKlim (POCI/GEO/61148/2004),  
financiado pela FCT e pelo FEDER  
(Operational Programme for Science and  
Innovation 2010)

## ÍNDICE

Maria João Alcoforado; Henrique Andrade; Sandra Oliveira - Clima Urbano e mudanças climáticas. Impactes e adaptação	5
Andreas Matzarakis; Henrique Andrade; Maria João Alcoforado - Thermal bioclimatic maps for Portugal	37
Sandra Oliveira; Henrique Andrade; Maria João Alcoforado - Condições microclimáticas e utilização do Jardim Braancamp Freire (Campo dos Mártires da Pátria); resultados preliminares	47
António Lopes; Sandra Oliveira; Marcelo Fragoso - Vento forte e queda de árvores em Lisboa. Avaliação e primeiros resultados	71
Magda Adelaide Lombardo - Algumas considerações sobre os estudos de clima urbano no Brasil	93



## CLIMA URBANO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IMPACTES E ADAPTAÇÃO

Maria João Alcoforado, Henrique Andrade, Sandra Oliveira

**Resumo** - Num momento, em que todas as atenções se viram para as alterações climáticas do planeta, discute-se, neste texto, as relações entre as modificações do clima ditas “globais” e aquelas que ocorrem no espaço urbano. Em Portugal, em 2005, as áreas urbanas concentravam 57.6% da população prevendo-se que, em 2020, essa percentagem atinja 66.4%.

São primeiro sucintamente apresentadas as principais conclusões do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007), referentes às previsões de variação climática para 2100, em função de diversos cenários, realçando as variações de temperatura. Prevêem-se acréscimos de temperatura entre 1,8 e 4°C até 2100, modificações substanciais nos regimes de precipitação e na sua distribuição espacial, na frequência de ocorrência de episódios meteorológicos extremos (vagas de calor e de frio, precipitações intensas, secas prolongadas), assim como a subida do nível do mar.

Detalhando a escala de análise, apresentam-se os resultados do projecto SIAM (*Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, Santos et al., 2006), em que é feito, por um lado, o *downscaling* das previsões para Portugal, também sob diferentes cenários e, por outro, são tratados os impactes das alterações climáticas previstos na agricultura, na saúde, no consumo de energia, nas áreas costeiras, nos recursos hídricos, etc.

Numa escala de análise de maior detalhe, as mudanças climáticas impostas pelo meio urbano são igualmente reais: modificação dos balanços radiativo e energético, aumento da temperatura das superfícies e do ar (Ilha de calor – IC), diminuição da velocidade média do vento (embora com a ocorrência de acelerações e turbilhões indesejáveis), aumento da poluição atmosférica, diminuição da visibilidade e, mesmo em certos casos, aumento da precipitação convectiva.

Neste texto, trata-se sobretudo do problema de excesso de carga térmica e de poluição atmosférica, que ocorre em meio urbano e que tem impactes evidentes sobre a saúde, o conforto e as actividades dos cidadãos. É discutida a relação complexa entre o aquecimento urbano e o aquecimento dito global (AG), fenómenos de escala e natureza muito diferentes. Contudo, a acumulação dos efeitos térmicos a diferentes escalas, nas áreas urbanas, faz temer que estas venham a sofrer impactes particularmente graves; por exemplo, em Londres, nas noites de Verão, a IC pode acrescentar 5º a 6º C ao aquecimento esperado. Os problemas ambientais associados às cidades estão a ser incrementados pela expansão da área urbanizada e pelo crescimento dos rendimentos dos cidadãos. E, **em certas cidades, já se verificam incrementos térmicos semelhantes aos esperados a nível “global” para daqui a várias dezenas de anos** (Grimmond, 2006).

Por isso, apesar das incertezas inerentes à variação espacial das alterações climáticas, é toda a urgência o estudo das alterações do clima em curso nas cidades, dos impactes que poderão ter e das medidas de adaptação a adoptar para minimizar os seus efeitos negativos e tirar partido das suas potencialidades, contribuindo para a sustentabilidade urbana, uma vez que

estas são particularmente vulneráveis devido à elevada densidade populacional, à grande percentagem de população idosa e de baixo nível sócio-económico.

O ordenamento urbano é o factor chave para reduzir os impactos e potenciar os aspectos positivos das alterações climáticas. São enumeradas, na parte final, diversas “boas práticas” de adaptações às alterações climáticas, levadas a cabo em diversos locais do globo, desde o Japão, ao Reino Unido e à Austrália e Portugal.

**Abstract** - Urban climate and global change. Impacts and adaptation.

In a time when all attention is on the planet's climatic changes, the relationship between the so-called “global” climate modifications and the ones that occur in urban areas are discussed in this text. In Portugal, in 2005, urban areas concentrated 57.6% of the population and it is predicted that by 2020 this value will increase to 66.4%.

The main conclusions of the IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007) are briefly presented here, with a focus on the predictions of climatic variation until 2100, as a function of several scenarios, emphasising the changes in air temperature. A temperature increase between 1.8 and 4°C is predicted up to 2100, as well as substantial modifications in the precipitation regime and its spatial distribution, changes in the frequency of extreme events (heat and cold waves, intense precipitation, prolonged drought), as well as sea level rise. On a more detailed scale, the results of the SIAM project (“Scenarios, Impacts and Adaptation Measures”) are referred to; these show, on the one hand, the downscaling of the predictions to Portugal under the scope of different scenarios and, on the other hand, the impacts of climate change predicted for agriculture, health, energy consumption, coastal areas, water resources, among others. At a more detailed scale, the climatic changes generated by the urban environment are just as real with the expected modification of the radiative and energetic fluxes, the increase of air and surfaces temperatures (Urban Heat Island – UHI), the decrease of the mean wind speed (although with the presence of adverse accelerations and whirlpools), the increment of atmospheric pollution, the decrease in visibility and, even in some cases, the increase of convective precipitation.

The problem of the surplus of thermal load and atmospheric pollution, which occurs in urban areas, and its evident impacts on health, comfort and citizens' activities is handled in greater detail. The complex relationship between urban and global warming, two phenomena of very different scales and nature, is also dealt with. However, the accumulation of the thermal effects at different scales, in urban areas, make us fear that these areas may suffer particularly serious impacts; for example, in London, on summer nights, the UHI may add 5 to 6°C to the expected (global) warming. The environmental problems associated to cities are being heightened due to the expansion of the urbanized area and by the growth in citizens' revenues. And, in certain cities, thermal increments similar to those expected at a global level for several dozen years are already felt.

Thus, in spite of the uncertainties inherent to the spatial variation of climate change, there is a definite need to study the climatic alterations occurring in cities. It is urgent to assess the impacts that they might have and the adaptation measures that may be adopted in order to minimise their negative effects and

make the most of the positive impacts. In this way it might be possible to contribute towards urban sustainability, since cities are particularly vulnerable given their high population density and the high percentage of elderly people with low socio-economic status.

Urban planning is the key factor in reducing the impacts and maximizing the positive aspects of climate change. In the final part of this text, several “good practices” of adaptation to climate change are listed, which are applied to different places of the globe, from Japan and the United Kingdom to Australia and Portugal.

## I - Introdução

As mudanças climáticas à escala planetária são um tema cada vez mais mediático e com larga divulgação ao nível da opinião pública, embora infelizmente, com algumas deturpações e utilização de conceitos incorrectos. No entanto, o aumento de temperatura do ar é hoje uma realidade inegável, independentemente das dúvidas que possam existir sobre a sua magnitude, causas e, sobretudo, da variabilidade regional e particularidades locais. Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), entre 1906 e 2005, a temperatura à superfície da Terra aumentou cerca de 0,7°C, embora a taxas muito diferentes dependendo da região. Em Portugal, o aumento de temperatura desde 1975, alcançou 0,5°C por década. (Miranda *et al.*, 2006).

Todas as previsões apontam para a continuação do aquecimento do planeta. Além da temperatura, outros elementos climáticos (como a precipitação) poderão ser afectados nos seus quantitativos, distribuição espacial e regime. Outra consequência importante das mudanças climáticas será a subida do nível do mar, que poderá afectar, de diferentes formas, muitas áreas litorais e estuarinas. As mudanças climáticas e a subida do nível do mar poderão ter consequências significativas sobre os sistemas biofísicos (com impactes sobretudo hidrológicos e biológicos) e socio-económicos. Deve contudo salientar-se que, embora os riscos associados às mudanças climáticas sejam importantes e constituam os aspectos com maior destaque, estas apresentam também potencialidades, que um planeamento e ordenamento adequados permitirão aproveitar (Viehhauser, 2005; Peltonen *et al.*, 2005).

Em 2005, nos países desenvolvidos, 74% da população vivia em áreas urbanas, particularmente vulneráveis às mudanças climáticas e ambientais. E prevê-se que a população em Megacidades (aglomerações com mais de 10 000 000 de habitantes) represente, em 2015, 9% do total urbano (Krass, 2007). Em Portugal, em 2005, as áreas urbanas concentravam 57.6% da população prevendo-se que, em 2020, essa percentagem atinja 66.4%<sup>1</sup>.

Por outro lado, as mudanças climáticas impostas pelo meio urbano são igualmente reais, e têm impactes evidentes sobre a saúde, o conforto e as actividades dos cidadãos. Em certas cidades<sup>2</sup>, já se verificam incrementos térmicos semelhantes aos esperados a nível “global” para daqui a várias dezenas de anos (Grimmond, 2006).

---

<sup>1</sup> <http://esa.un.org/unup/>, [site visitado em Março de 2008]

<sup>2</sup> Apesar de se saber que “cidade” e “área urbana” são conceitos diferentes e de o segundo ser o mais apropriado para a discussão feita neste texto, o termo cidade será utilizado com frequência como sinónimo de área urbana

O aquecimento urbano (cujo aspecto mais conhecido é a Ilha de calor – IC) tem sido muitas vezes associado ao aquecimento global (AG). A relação entre estes dois fenómenos climáticos, de escala e natureza muito diferentes, é complexa e poucas vezes analisada de forma fundamentada. Contudo, a acumulação dos efeitos térmicos a diferentes escalas, faz temer que as áreas urbanas venham a sofrer impactes particularmente graves; por exemplo, em Londres, nas noites de Verão, a IC pode acrescentar 5º a 6º C ao aquecimento esperado (LCCP, 2002).

Os problemas ambientais associados às cidades estão a ser incrementados pela expansão da área urbanizada (*urban sprawling*) e pelo crescimento dos rendimentos dos cidadãos (Kahn, 2006). As cidades são igualmente importantes consumidores de recursos externos e emissores de resíduos de todos os tipos (fig. 1). Com o conceito de sustentabilidade urbana (que é, de acordo com Mills, 2006, a nova “utopia urbana”) pretendem encontrar-se respostas para estes problemas, minimizando os impactes ambientais dos espaços urbanos e promovendo em simultâneo a qualidade de vida dos seus habitantes (Newman, 1999; Kamp *et al.*, 2003).

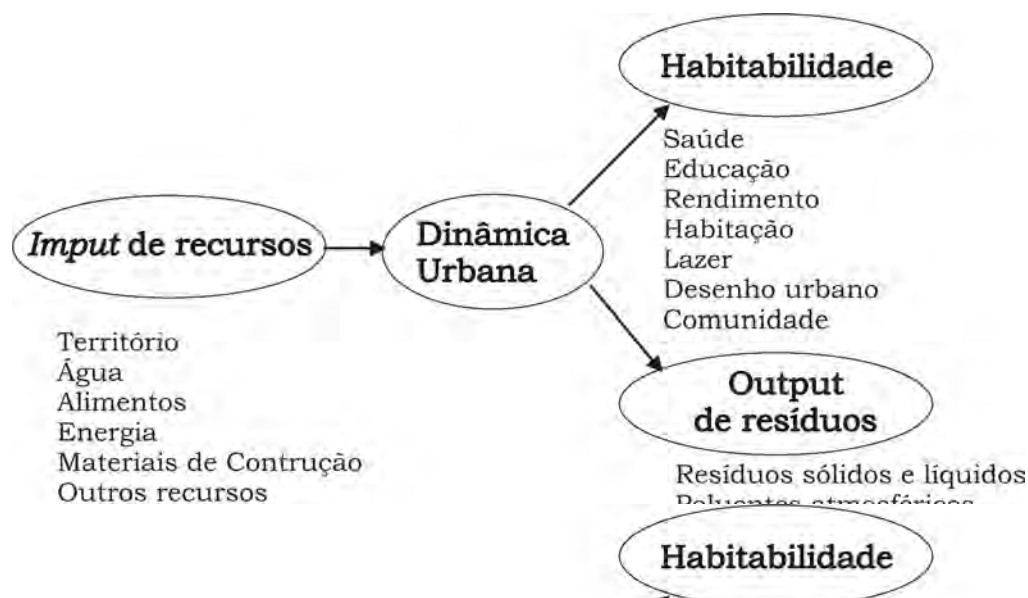


Figura 1 - Modelo ecológico do espaço urbano (segundo Newman, 1999)

Em Portugal, os estudos de clima urbano, iniciados na década de 80 do século passado (Alcoforado, 1986, 1992), têm sido prosseguidos no Centro de Estudos Geográficos (CEG), sobretudo sobre a cidade de Lisboa. Existem também trabalhos referentes ao Porto (Monteiro, 1993), Coimbra (Ganho, 1998), Évora (Alcoforado e Taborda, 1996), Aveiro (Pinho e Orgaz, 1997) e Bragança (Katschner *et al.*, 1999).

Neste texto, resumem-se alguns aspectos relativos às interações entre o clima urbano e as mudanças climáticas planetárias e regionais (incidindo, naturalmente, sobre o caso português, com base nos resultados do projecto SIAM), assim como os potenciais impactes dessas mudanças nas áreas urbanas (com exemplos de cidades portuguesas, sempre que possível) e as principais medidas de adaptação que podem ser aplicadas.



## II - Mudanças climáticas planetárias e clima urbano

### 1. Mudanças globais e regionais

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001) define mudança climática como qualquer alteração temporal no clima, devido a causas naturais ou antrópicas. Desde a origem da Terra que ocorreram mudanças climáticas, nomeadamente na temperatura, por causas naturais (como a variação de parâmetros orbitais e da actividade solar, a deriva dos continentes, as erupções vulcânicas, entre outras). Essas variações podem ser conhecidas a partir de fontes naturais ou antrópicas. De entre as primeiras, citem-se como exemplo a dendroclimatologia (estudo dos anéis de crescimento das árvores), a palinologia (estudo da constituição, estrutura e dispersão do pólen e esporos em camadas devidamente datadas), a glaciologia (estudo do gelo e da sua composição), o estudo de sedimentos e de formas herdadas, levado a cabo pela geomorfologia, entre outras. De entre as fontes antrópicas, destacam-se os dados instrumentais, que apenas se generalizaram a partir do séc. XIX, e as fontes documentais, textos diversos, individuais ou institucionais, anteriores à existência de redes de observação meteorológicas institucionalizadas, que permitem reconstituir a evolução climática (Taborda *et al.*, 2004).

São particularmente bem conhecidas as variações que ocorreram ao longo do último milénio; após uma idade média relativamente quente (ótimo térmico medieval, em que se praticava agricultura no litoral da Gronelândia), os anos entre 1300 e 1850 corresponderam à “Pequena Idade do Gelo” (Brázdil *et al.*, 2005), que também foi particularmente frio em Portugal, nomeadamente no fim do “Mínimo de Maunder”, entre 1675 e 1715 (Alcoforado *et al.*, 2000). Está actualmente em curso um projecto (Millennium: <http://geography.swan.ac.uk/millennium/index.htm>), em que cientistas de 39 instituições tentam cruzar os resultados provenientes das diversas fontes para melhor entender as causas das variações naturais do clima no último milénio na Europa: um conhecimento mais aprofundado de um passado, em que as variações do clima não eram devidas à intensificação do efeito de estufa antrópico, permitirá uma modelização e previsão do clima futuro, mais eficaz, sob diversos cenários.

No entanto, sabe-se já que o séc. XX correspondeu a um período de aquecimento, embora não uniforme (por exemplo, a década de 60 e início da década de 70 foram relativamente frias), tendo-se verificado, como já foi referido, um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície de 0,74°C ( $\pm 0,18$ ) entre 1906-2005. O aumento de temperatura, que actualmente se verifica, tem afectado mais as regiões continentais e as altas latitudes (IPCC, 2001; 2007) e acentuou-se nas últimas décadas do séc. XX e nos primeiros anos do séc. XXI: os anos mais quentes desde 1850 foram 1998 e 2005.

Para além do aumento de temperatura, tem-se verificado uma diminuição geral da amplitude térmica diurna, devido à subida das temperaturas mínimas. O incremento actual de temperatura tem sido atribuído principalmente a factores antrópicos, nomeadamente às emissões de gases com efeito de estufa (GEE), dos quais os principais, para além do vapor de água, que é de origem essencialmente natural, são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Saliente-se que o efeito de estufa é um fenómeno natural, sem o qual a vida na Terra não seria possível (facto nem sempre conhecido do grande público). O problema está na **intensificação** desse efeito, devido às emissões antrópicas de GEE, associadas sobretudo à queima de combustíveis fósseis (responsáveis pelas emissões de 2/3 do CO<sub>2</sub> de origem antrópica ; IPCC, 2007), mas também a actividades como a agricultura e a pecuária (que contribuem fortemente para as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O). No quadro I, compara-se a concentração dos principais GEE no período anterior a 1750 (pré-industrial) e em 2005, sendo evidente o enorme incremento destes gases na atmosfera.

Quadro I- Concentração de GEE na atmosfera no período anterior a 1750 e em 2005

Gases	Pré 1750	2005
CO <sub>2</sub> (ppmv)	280	379
CH <sub>4</sub> (ppb)	730	1774
N <sub>2</sub> O (ppb)	270	319

(ppmv – partes por milhão em volume ; ppb – partes por bilião)

Fonte: IPCC, 2007

As previsões de aumento da temperatura (assim como da variação de outros elementos climáticos) e da subida do nível do mar estão relacionados com as diferentes “famílias de cenários” (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> – fig. 2)<sup>3</sup>, desenvolvidos pelo IPCC e que descrevem futuros padrões de desenvolvimento no globo, em função de diversos parâmetros como a evolução da população, o tipo de energia utilizada (fóssil ou renovável) e tendo também em conta outros indicadores de índole económica, social, ambiental, tecnológica e política. Em função dos cenários, haverá maiores ou menores aumentos de emissões de GEE e modificações na concentração de aerossóis (partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera)<sup>4</sup>.

Genericamente, considera-se que os cenários mais pessimistas, em termos de evolução das emissões futuras (e consequente aumento de temperatura e subida do nível do mar) são os cenários A<sub>2</sub> e A<sub>1</sub>F<sub>1</sub> (com forte tónica no crescimento económico baseado na utilização de combustíveis fósseis e escassas preocupações ambientais) e aqueles em função dos quais se esperam consequências menos negativas são os cenários B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>.

<sup>3</sup> A descrição das famílias de cenários encontra-se, por exemplo, no *Special Report on Emissions Scenarios* (Nakicenovic *et al.*, 2000).

<sup>4</sup> A classificação do aerossol é feita geralmente com base na granulometria, distinguindo-se, como particularmente significativas para a atmosfera urbana, as partículas com dimensão inferior a 10 µm e a 2.5 µm (designadas respectivamente como PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>); ao contrário dos GEE, os aerossóis têm um efeito de arrefecimento diurno, dado que reflectem e absorvem parte da radiação solar que entra na atmosfera. Contudo, o IPCC considera que esse efeito de forçamento radiativo negativo dos aerossóis não é suficiente para compensar o aquecimento associado ao aumento de concentração de GEE.

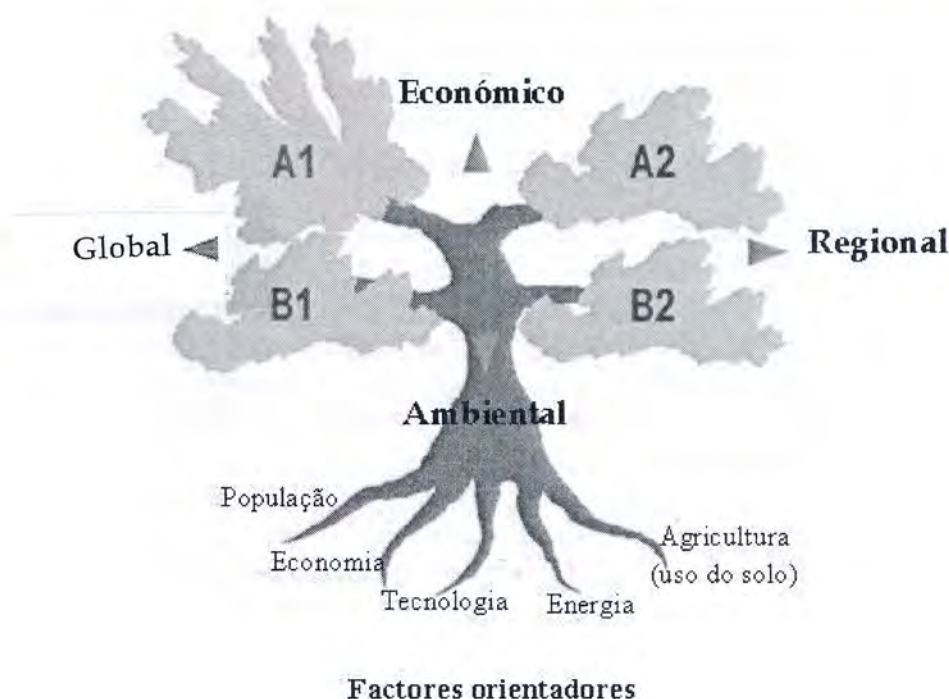


Figura 2 – Representação esquemática das famílias de cenários de emissões de GEE  
 Adaptado de *Special Report on Emissions Scenarios* (Nakicenovic *et al.*, 2000) e Aguiar *et al.* 2006.

Assim, em função dos cenários considerados, as previsões do IPCC apontam para aumentos de temperatura de 1.8°C a 4.0°C (mas com uma margem de incerteza de 1.1 a 6.4°C), até ao final do séc. XXI, relativamente ao período de 1980-1999, (IPCC-WG1, 2007). Outra consequência importante das mudanças climáticas será a modificação do nível do mar, apresentando o IPCC previsões de subida de 0.18 a 0.59 m, mas não incluindo os efeitos de fusão das calotes glaciares<sup>5</sup>. Note-se que, mesmo na hipótese da estabilização das emissões de GEE e aerossóis nos níveis do ano 2000, a temperatura da Terra continuaria a aumentar (cerca de 0.1°C por década, segundo o IPCC-WG1, 2007).

### Em Portugal

As projecções desenvolvidas no âmbito do projecto SIAM (*Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, Santos e Miranda, 2006) até 2100 foram obtidas a partir dos modelos climáticos globais e de modelos regionais, com maior definição espacial, nomeadamente o modelo regional do *Hadley Centre HadRM* (versões 2 e 3). Estimam-se alterações significativas na temperatura e na precipitação, embora com grandes diferenças regionais. Prevê-se, nomeadamente, um aquecimento generalizado a todo o território, mas mais marcado no interior Norte e Centro (fig.3) e um aumento muito significativo dos dias com temperatura superior a 35°C (fig. 4), atingindo, na previsão mais

<sup>5</sup> Neste caso, o IPCC-WG1 (2007) considera apenas o efeito da expansão térmica do oceano; a fusão das calotes glaciares poderá incrementar muito estes valores, embora as incertezas sobre este aspecto sejam muito maiores.

desfavorável, 100 dias por ano no interior do país. Pelo contrário, haverá naturalmente uma acentuada redução dos dias frios de Inverno. A precipitação poderá decrescer de forma acentuada no Centro e Sul do país e aumentar um pouco no Norte; em todo o caso, deverá ocorrer uma maior concentração sazonal da precipitação e poderão multiplicar-se as situações de precipitação extrema.

Os principais impactes estimados para Portugal com implicações directas nas áreas urbanas (tema central deste texto) dizem respeito à saúde humana (Casimiro *et al*, 2006; Calheiros *et al.*, 2006) , aos recursos hídricos (Cunha *et al.* 2006) e às áreas costeiras. No ponto seguinte, sintetizam-se algumas características do clima urbano e, mais à frente, tratar-se-ão os impactes das alterações climáticas em meio urbano e dar-se-ão exemplos de possíveis medidas de adaptação.

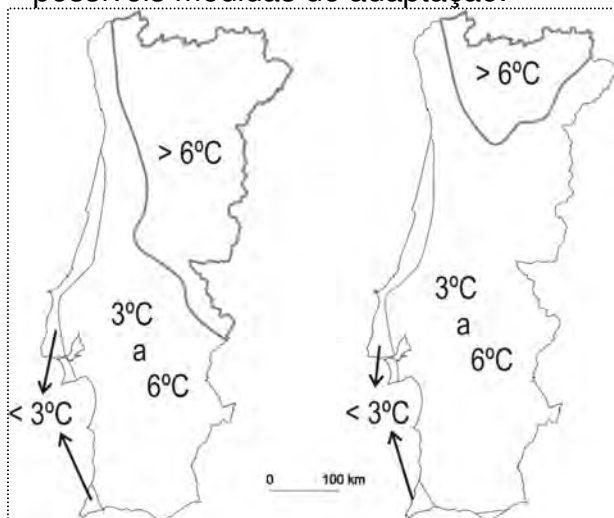


Figura 3 - Aumento da temperatura máxima no Verão nos cenários A<sub>2</sub> (à esquerda) e B<sub>2</sub> (à direita). Adaptado de SIAM II, 2006

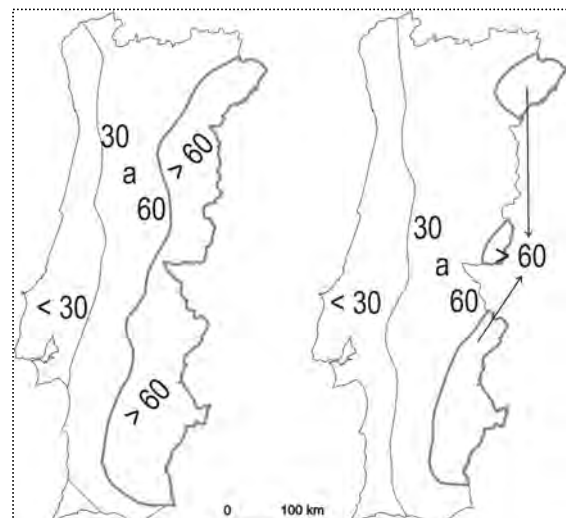


Figura 4 - Número máximo de dias consecutivos com temperatura máxima superior a 35 °C, no cenário A<sub>2</sub> (à esquerda) e B<sub>2</sub> (à direita). Adaptado de SIAM II, 2006

## 2. O clima urbano

O clima de uma cidade depende do seu macroclima, das características regionais, dos aspectos locais e das particularidades do tecido urbano (Lowry, 1977). Assim, Lisboa tem um macroclima de tipo mediterrâneo, no contexto regional do centro-litoral português, modificado localmente pela sua topografia acidentada, proximidade do Oceano Atlântico e pela vizinhança do rio Tejo, a que se juntam as modificações devidas à própria cidade. Para determinar a influência urbana, seria necessário dispor de dados “pré-urbanos”, ou seja, de dados de um observatório meteorológico situado na área hoje urbanizada, mas num período em que o local fosse “rural”, o que permitiria calcular muito facilmente a modificação do clima induzida pela cidade. Na ausência de registos “pré-urbanos”, a influência climática da cidade é avaliada comparando dados de estações meteorológicas urbanas e outras nos arredores próximos não (ou menos) urbanizados. Neste caso, e como é raro que as características do clima local (da cidade e dos arredores próximos) sejam idênticas, é mais difícil isolar o efeito urbano.

O aspecto mais conhecido das modificações climáticas urbanas é o aumento de temperatura na área central das cidades, conhecido por *Ilha de Calor* (IC); outras consequências importantes da urbanização são a redução da velocidade média do vento (Lopes, 2003) e o aumento da poluição do ar (Andrade, 1996), que indirectamente influencia o clima urbano.

## 2.1. A Ilha de calor urbano

A IC é mais frequente durante a noite e tem a sua maior intensidade poucas horas após o pôr-do-sol (Oke, 1987); tipicamente, as condições mais favoráveis à formação e intensificação da IC são situações com vento fraco ou calma e céu limpo ou pouco nublado. Contudo, a IC de Lisboa (Alcoforado 1992; Alcoforado *et al.*, 2007; Andrade, 2003) e de outras cidades portuguesas, como Coimbra (Ganho, 1998), afastam-se deste modelo geral, apresentando a sua intensidade máxima com velocidades moderadas de vento.

A **intensidade da IC** é geralmente calculada como a diferença entre as temperaturas mais elevadas medidas no centro da cidade e as mais baixas na periferia; contudo, é extremamente **difícil a comparação e generalização dos resultados obtidos para diferentes cidades** devido a diferenças nos **processos de medição** (diferentes tipos de estações meteorológicas ou medições de tipo itinerante, etc.), nos **parâmetros térmicos** considerados (temperaturas máximas, médias, mínimas, valores diários, mensais ou anuais) e, em termos gerais, à **falta de uniformidade nos métodos de tratamento e análise dos dados** (Alcoforado e Andrade, 2008). A intensidade da IC em Lisboa situa-se entre 2°C e 3°C, embora possam ocorrer valores muito mais elevados. A configuração típica da IC em diferentes cidades portuguesas é representada na figura 5.

As causas da IC são complexas, resultando da interacção de vários processos a diferentes escalas. Indicam-se a seguir as principais (Oke, 1987; 1997):

- Modificações do balanço radiativo devido à geometria urbana, aos materiais de construção e às cores predominantes;
- Emissão de calor de origem antrópica;
- Acumulação diurna de calor nos edifícios e materiais de construção, o qual é libertado durante a noite;
- Modificações na composição da atmosfera urbana;
- Redução da velocidade média do vento;
- Redução da evapotranspiração devido à escassez de vegetação e ao predomínio de superfícies impermeabilizadas.

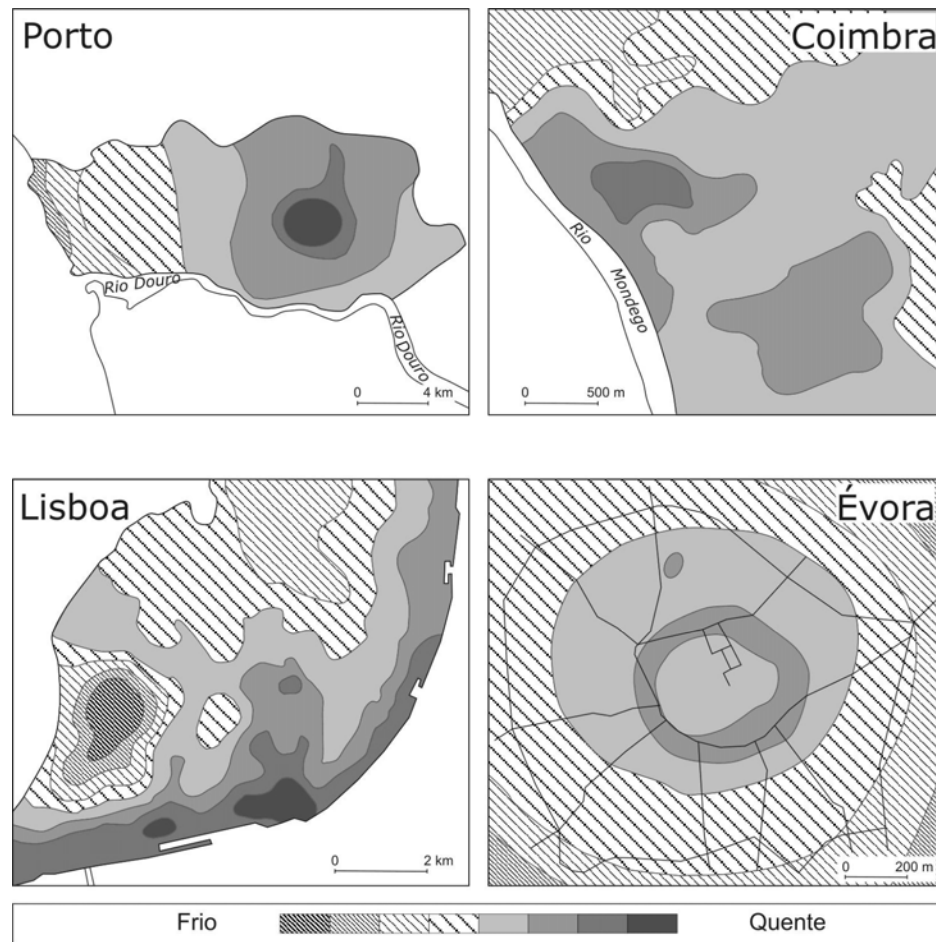


Figura 5 – Ilha de calor em diversas cidades portuguesas.

Adaptado de: Porto (Monteiro, 1993); Coimbra (Ganho, 1998); Lisboa (Alcoforado *et al.*, 2005); Évora (Alcoforado e Tabora, 1996).

## 2.2. O vento

O aumento da rugosidade nas áreas urbanas leva a uma diminuição da velocidade média do vento regional (Oke, 1987). Por exemplo, em Lisboa, devido à expansão urbana na década de 80, ocorreu, no Verão, uma redução na velocidade média do vento de 30% ( $\approx 2$  m/s), abaixo dos 100 m de altura (Lopes, 2003). Essa redução foi, contudo, muito desigual espacialmente; na Baixa, em que se associam o abrigo topográfico (em relação aos ventos dominantes de N e NW) e uma elevada rugosidade, a redução da velocidade do vento terá sido de cerca de 3 m/s; no Norte da cidade, com rugosidade e abrigo muito menores, a diminuição da velocidade do vento foi apenas de 0.5 a 2 m/s. As condições no Norte da cidade poderão vir a modificar-se em função do crescimento urbano que nesta área se observa (Lopes, 2003; Alcoforado *et al.*, 2005).

Podem, contudo, ocorrer acelerações pontuais do vento, em função da morfologia urbana: por exemplo, as ruas podem canalizar o vento, aumentando a sua velocidade e originando situações de desconforto ou mesmo de risco para os peões.



Na figura 6, é ilustrado o efeito da geometria urbana sobre a circulação do ar, no bairro de Telheiras, em Lisboa (Lopes, 2003; Alcoforado *et al.*, no prelo).



Figura 6 – Circulação do vento no bairro lisboeta de Telheiras.  
 Extraído de Alcoforado *et al.* (no prelo)

É possível diferenciar o efeito de diferentes tipologias de construção sobre a circulação do ar; as "tipologias fechadas" provocam recirculação do ar no seu interior, podendo levar à acumulação de detritos, que contribuem para a degradação dos espaços. Nas "tipologias em banda", deverão ser previstas "entradas" e "saídas" de modo a não limitar o escoamento do ar e não aumentar os movimentos turbilhonares. Pelas mesmas razões, dever-se-ão evitar as "tipologias em implantação linear", perpendiculares ao vento dominante, sem passagens laterais para o escoamento do ar (Lopes, 2003).

A circulação do ar sobre a cidade tem consequências sobre a IC (uma outra causa da IC poderá ser o abrigo em relação a ventos frescos, como acontece em Lisboa em relação à Nortada) e sobre a qualidade do ar. Este último aspecto será seguidamente desenvolvido, devido à sua importância ambiental.

### 2.3. A qualidade do ar nas áreas urbanas

As actividades industriais e domésticas e o tráfego automóvel podem gerar importantes emissões de poluentes atmosféricos (gases ou por partículas sólidas ou líquidas). Entre os poluentes gasosos com efeito sobre a saúde humana destacam-se o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), sendo o mais importante o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), diferentes compostos orgânicos voláteis (COV) e, de entre os que são responsáveis pelo efeito de estufa, sobressaem o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, já referidos e ainda os clorofluorcarbonetos (CFC) e os Halofluorcarbonetos (HFC).

É importante distinguir entre os poluentes primários, directamente emitidos para a atmosfera pelas actividades humanas (como o CO ou o CH<sub>4</sub>) e os poluentes secundários, que resultam da modificação de compostos químicos pré-existentes na atmosfera (precursores); o exemplo mais conhecido é o ozono troposférico (O<sub>3</sub>), formado a partir do NO<sub>2</sub>, COV e os nitratos de peróxido-acil (peroxy-acyl nitrates – PAN) através de reacções químicas na atmosfera, na presença de radiação solar. Em condições favoráveis (fortes concentrações de precursores e níveis elevados de radiação solar) pode formar-se o conhecido *smog* (*smoke + fog*) fotoquímico (muito frequente na cidade de Los Angeles, por exemplo), com elevadas concentrações de O<sub>3</sub> e de outros poluentes de origem fotoquímica (Oke, 1987; Stone, 2005 – fig. 7); as temperaturas elevadas contribuem também para o incremento da concentração de O<sub>3</sub> troposférico (Stone, 2007). Além dos poluentes gasosos, as partículas em suspensão na atmosfera têm também efeitos nocivos sobre a saúde (Curtis *et al.*, 2006). Em situações de atmosfera nocturna muito estável (sem vento e sem nebulosidade), a combinação de partículas com outros poluentes na baixa atmosfera urbana pode incrementar a morbilidade e a mortalidade dos habitantes. A poluição mais ligada à actividade industrial (nomeadamente compostos de enxofre e determinados tipos de partículas) tem vindo a ser reduzida nas áreas urbanas dos países desenvolvidos, sobretudo devido às transformações económicas e ao progresso tecnológico; nos países menos desenvolvidos, contudo, essa evolução tem sido muito mais lenta. A poluição associada às emissões do tráfego (NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, diferentes tipos de partículas) tem tido uma redução muito mais lenta, sendo menores as dissimetrias regionais. Contudo, também a este nível, e de uma maneira geral, se têm verificado progressos; (fig. 8 - Baldasano *et al.*, 2003).

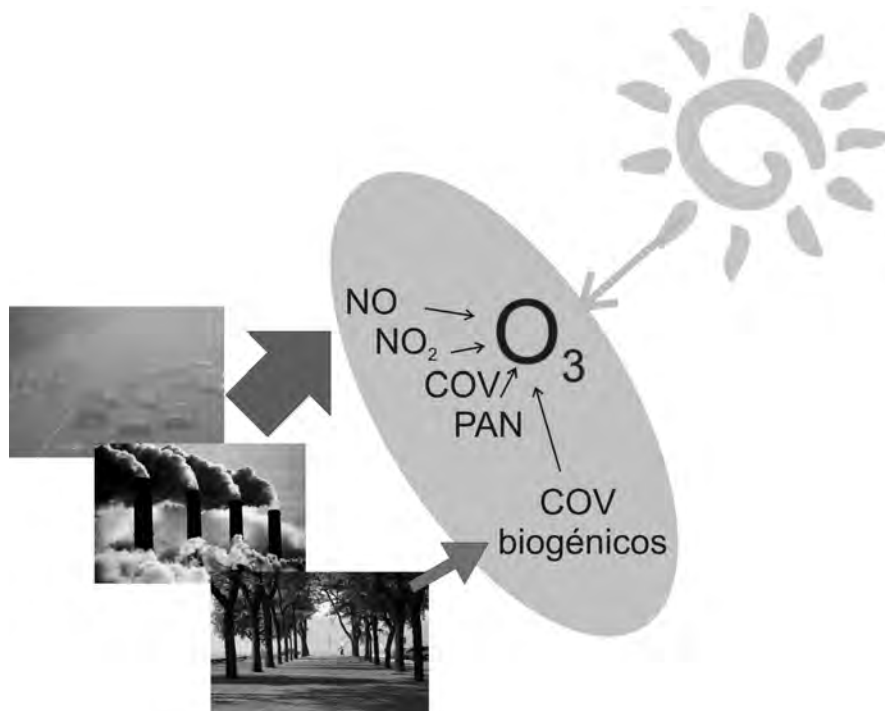


Figura 7 – Condições de formação do O<sub>3</sub> troposférico; principais precursores e suas fontes



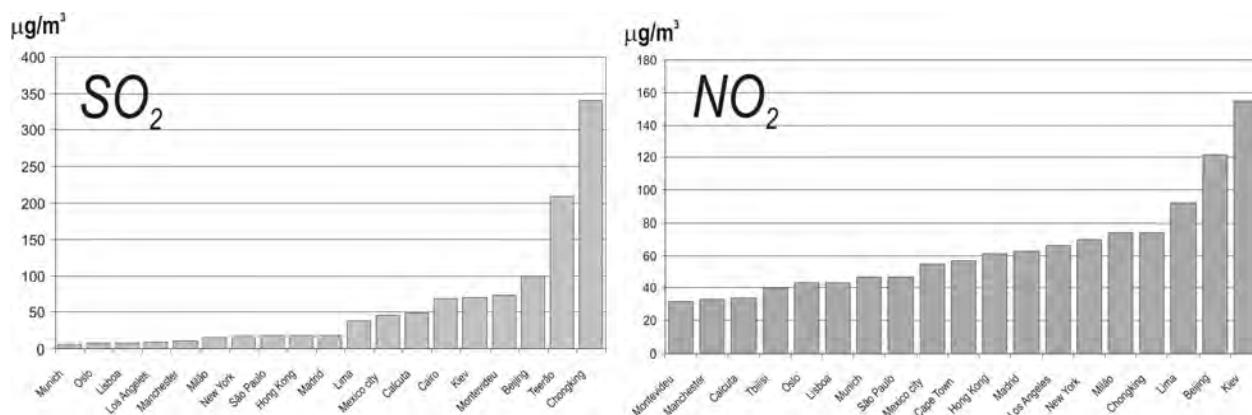


Figura 8 - Concentração média anual de SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> (valores referentes a diferentes anos entre 1993 e 2000, dependendo das cidades). Fonte: Baldasano *et al.* (2003)

### III – Mudanças climáticas globais<sup>6</sup> e urbanas

#### 1. Ilha de calor e aquecimento global

Poucos estudos têm sido dedicados às relações entre aquecimento urbano e aquecimento global. Contribuem para isso a falta de uma base teórica conceptual para estabelecer as relações entre os dois fenómenos, as diferenças nas escalas espaciais e temporais, as diversas metodologias de estudo e o tipo de dados utilizados no seu estudo. A influência do aquecimento global (AG) sobre o clima urbano é mal conhecida e muitas vezes abordada de forma demasiado simplista. Por outro lado, a tomada de medidas de mitigação eficazes implica o conhecimento do papel desempenhado pelas áreas urbanas no AG.

#### 2. A influência do Aquecimento Global na Ilha de Calor

Embora muitas vezes se conclua que o aquecimento do planeta dará lugar a um incremento das IC, tal poderá também não ocorrer. A IC é calculada como a diferença de temperatura centro-periferia e essas diferenças podem permanecer constantes (Oke, 1997). A intensidade da IC pode mesmo decrescer, se ocorrer um incremento da instabilidade vertical da atmosfera, associado a temperaturas mais elevadas (Brázdil e Budíková, 1999). A evolução da IC dependerá igualmente das mudanças na frequência dos diferentes tipos de tempo que a condicionam (Oke, 1987; Morris e Simmons, 2000). Por exemplo, em Praga, Beranová e Huth, (2005) associaram a variação da intensidade da IC com os tipos de tempo, concluindo que a IC se intensificou, significativamente, no período 1961-90, em todas as estações do ano excepto no Inverno. Os maiores incrementos foram observados com tipos de tempo anticiclónicos e fluxos de S a SW e de N a NE (+2.2°C 100yr<sup>-1</sup>).

<sup>6</sup> Embora, na primeira parte, já se tenha referido que, de facto, as alterações climáticas são fortemente dependentes dos locais e períodos considerados, continuaremos aqui a utilizar a expressão mudanças globais, generalizada em vários trabalhos científicos, no sentido de variações médias planetárias.

As técnicas de *downscaling* (estatístico ou dinâmico - Wilby e Wigley, 1997; Patz *et al.*, 2005; Lamptey, 2005) permitem estabelecer previsões da evolução do clima local, para diferentes cenários de emissões. Estas técnicas têm ainda algumas limitações, sobretudo quando aplicadas a áreas urbanas, nomeadamente as dificuldades de representação detalhada do espaço urbano e as incertezas sobre diferentes sistemas de retroacção positiva ou negativa nas cidades; por exemplo, relativamente às mudanças no consumo de energia nas diferentes estações do ano e suas repercussões na própria IC (Auliciems, 1997). Em Londres, técnicas de *downscaling* estatístico foram utilizadas para estabelecer previsões da intensidade da IC ( $A_2$  e  $B_2$  – fig. 9, LCCP, 2002).

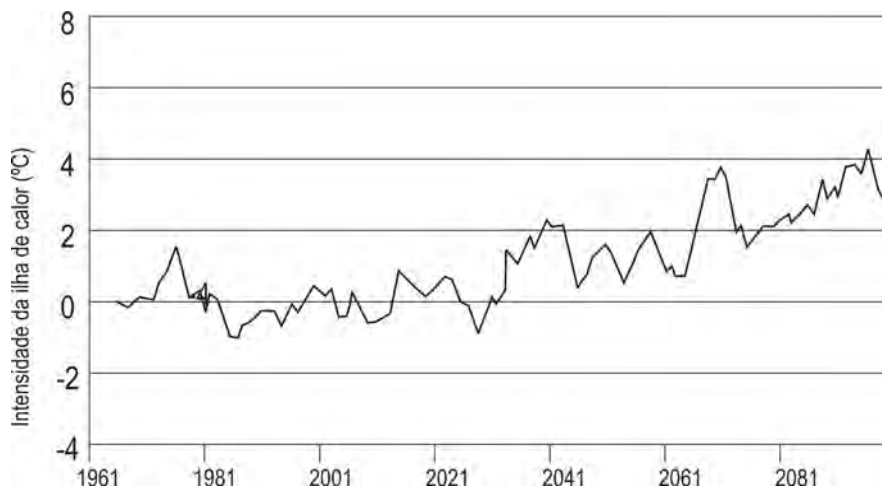


Figura 9 - Previsão da evolução da IC de Londres. Adaptado de LCCP, 2002

Para além disso, as actuais tendências de evolução dos espaços urbanos não levam necessariamente à intensificação da IC, embora possam incrementar o aquecimento das áreas urbanas, no seu conjunto. Pode ocorrer uma diminuição da intensidade da IC e simultaneamente uma expansão das áreas afectadas pelo aquecimento urbano, devido ao alastramento de áreas urbanas. Na Europa e na América do Norte, a maior densificação do tecido urbano e crescimento das cidades teve lugar no século passado. Actualmente, em muitas regiões, verifica-se uma dispersão da população urbana (*urban sprawling*), o que implica também a expansão da influência climática urbana (Grimmond, 2006). Por exemplo, Tereshchenko e Filonov (2001) previram a diminuição da intensidade da IC em Guadalajara (México), mas o incremento da área urbanizada. Rosenzweig *et al.* (2005) prevêem que a IC não se intensifique no futuro, mas que as áreas suburbanas se tornem mais quentes. Isto leva a considerar que o “conceito histórico” de Ilha de Calor urbano deverá ser substituído por um conceito mais geral de “aquecimento urbano”.

### 3. A influência urbana no Aquecimento Global

#### Impacto directo no aquecimento do planeta

O aquecimento do planeta é muito fracamente afectado pelo calor urbano, dado que as cidades cobrem apenas cerca de 1% das terras emersas. A influência urbana directa estende-se, no máximo, poucos quilómetros para sotavento (Oke, 1987). Além disso, a energia emitida pelas actividades

humanas é cerca de 10 000 vezes inferior à que é enviada pelo Sol para a Terra (Crutzen, 2004).

### **Impactes indirectos através das emissões de poluentes**

Devido ao incremento no gasto de energia (para uso doméstico, transportes, para fins industriais, entre muitos outros), ditados por uma constante necessidade de reduzir as distâncias e elevar o nível de vida (Kahn, 2006), as cidades são as fontes mais importantes de GEE, contribuindo com cerca de 85% para as emissões totais de CO<sub>2</sub>, CFCs e O<sub>3</sub> troposférico. (Oke, 1997). A elevada densidade de poluentes na pluma urbana afecta a química da atmosfera e o clima em larga escala (Crutzen, 2004). Segundo alguns autores, o incremento da convecção, como resultado do aquecimento sobre as áreas urbanas, poderá contribuir para o transporte de água e de poluentes para a média e alta troposfera, com potenciais consequências a nível regional e global (Crutzen, 2004; Sherwood, 2002).

### **A influência urbana nas séries de dados e nas tendências globais de temperatura**

Muitas das estações meteorológicas, cujas séries têm sido utilizadas para detectar as tendências térmicas nas últimas décadas, localizam-se em áreas urbanas ou na sua periferia. Se a área urbanizada aumentar ou se o tecido urbano se densificar, a série de temperatura de uma estação meteorológica urbana (ou sub-urbana, ou “recentemente” urbana) irá, naturalmente, registar um aquecimento, devido aos factores urbanos locais. O efeito das cidades poderá, portanto introduzir uma distorção no comportamento da série de dados, impedindo a correcta identificação da tendência.

As diferentes perspectivas sobre a influência do efeito urbano na identificação de tendências globais são discutidas em Alcoforado e Andrade (2008), apresentando-se aqui apenas as principais posições defendidas.

**a. “O aquecimento global não é urbano”** - Este é o título do artigo de Parker (2004). Vários autores ligados ao IPCC (2001) consideram que a localização (rural/urbana) das estações não influencia de forma significativa as tendências de temperatura observadas para o período 1980-1998; esta posição é defendida nomeadamente por Parker (2004), Parker *et al.* (2006), Peterson (2003) e Founda *et al.* (2004), os quais chegaram a estas conclusões por métodos diferentes. Algumas observações e reservas relativamente às conclusões destes autores (vistas do “interior” da climatologia urbana) são colocadas em Alcoforado e Andrade (2008) e também, relativamente a Parker (2004), por Pielke e Matsui (2005).

**b. “O aquecimento a larga escala (global) é também urbano”** – Perante tendências de aquecimento observadas em estações urbanas ou peri-urbanas (sendo aqui a extensão da influência urbana uma questão fundamental), vários autores tentam distinguir as componentes urbana e global. Dois métodos principais têm sido seguidos: a) Estimção do efeito urbano a partir da população (Jones *et al.*, 1989); b) Comparação entre séries urbanas e séries seguramente não afectadas pelo efeito das cidades (podendo estas últimas ser constituídas por valores medidos (inclusivamente no solo, em profundidade, como em Changnon, 1999) ou valores estimados – como os valores obtidos pelas reanálises do NCEP-NCAR, processo seguido em Kalnay e Cai (2003) e Zhou *et al.* (2004). Os resultados obtidos pelos diversos autores

são diferentes e mesmo, em muito casos, contraditórios, o que se poderá dever às diferenças nos métodos, escala de análise, períodos estudados e natureza dos dados e mesmo dos conceitos utilizados (Brázdil e Budíková, 1999; Beranová e Huth, 2005). Por exemplo, a utilização da população como critério para estimar o efeito térmico urbano tem levantado muita controvérsia, dado que o efeito urbano não depende apenas da população, mas também, em grande parte, de factores socio-económicos (Brázdil e Budíková, 1999; Chen *et al.*, 2003); actualmente, as áreas centrais de muitas cidades tendem a despovoar-se, o que não significa – longe disso – uma redução da IC (Alcoforado e Andrade, 2008). Outro problema na utilização da população é a unidade espacial a que esta diz respeito (Oke, 1997); por exemplo, em Portugal, a estação meteorológica de Sintra/Granja (a NW da AML, claramente fora da influência urbana, sobretudo com os ventos dominantes de NW e N) e Lisboa/Geofísico (no centro da cidade de Lisboa) estão ambos associados na base de dados do NCDC à população da área metropolitana de Lisboa (1 100 000 habitantes); este tipo de problemas é, evidentemente, incontornável à escala global, podendo levar a sérias distorções na análise da relação entre urbanização e temperatura.

## **IV - Impactes e medidas de adaptação**

### **1. Principais impactes**

Nas áreas urbanas, a combinação dos aspectos climáticos específicos descritos anteriormente com as alterações climáticas globais e regionais, podem originar impactes particularmente graves. Além disso, as cidades apresentam factores de vulnerabilidade acrescida, devido à concentração de populações e infra-estruturas e outras características, como a extensão de superfícies impermeabilizadas (Patz *et al.*, 2005; Lindley *et al.*, 2006).

Os diferentes aspectos do clima urbano afectam a vida dos cidadãos, os ecossistemas e as infra-estruturas urbanas. Os principais impactes do clima urbano estão esquematizados na figura 10.

A intensidade dos impactes do AG será tanto maior quanto maior for a velocidade dessas mudanças: é possível distinguir, por um lado, as mudanças graduais (aquecimento/subida do nível do mar/mudança climática zonal e a nível da vegetação), permitindo uma adaptação gradual dos sistemas naturais e humanos e, por outro lado, mudanças na frequência e intensidade dos fenómenos extremos, com impactes mais drásticos (Viehhauser, 2005). Em qualquer caso, o ordenamento urbano é o factor chave para reduzir os efeitos negativos e potenciar os efeitos positivos das alterações climáticas (fig. 11). As medidas de adaptação podem ser tomadas a muitos níveis, desde o pessoal ao governamental (Viehhauser, 2005). A adopção dessas medidas é, contudo, dificultada pela necessidade de compatibilizar as perspectivas temporais, muito diferentes das decisões políticas, pela duração das infra-estruturas e pelos cenários de alterações climáticas (Lindley *et al.*, 2006; Viehhauser, 2005). É importante que os desenvolvimentos futuros de ocupação do solo não agravem o grau de risco, através da influência sobre os factores de perigo ou através da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa do sistema urbano.

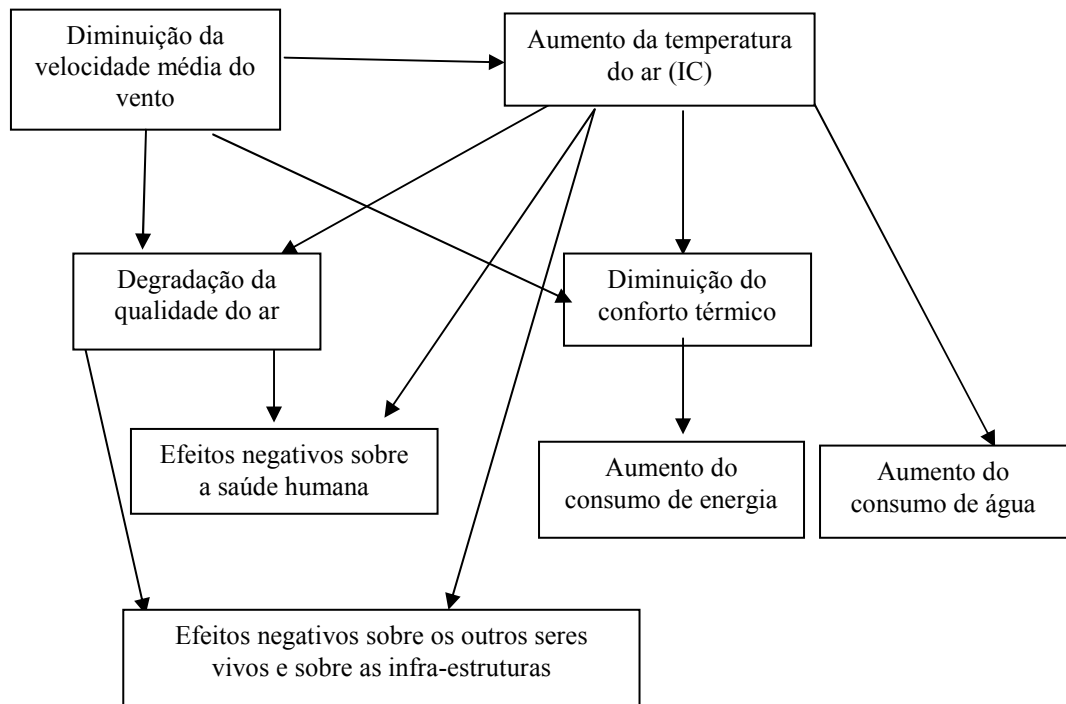


Figura 10 - Algumas consequências da IC e da redução da velocidade do vento na cidade

A intensidade dos impactes do AG será tanto maior quanto maior for a velocidade dessas mudanças: é possível distinguir, por um lado, as mudanças graduais (aquecimento/subida do nível do mar/mudança climática zonal e a nível da vegetação), permitindo uma adaptação gradual dos sistemas naturais e humanos e, por outro lado, mudanças na frequência e intensidade dos fenómenos extremos, com impactes mais drásticos (Viehhauser, 2005). Em qualquer caso, o ordenamento urbano é o factor chave para reduzir os efeitos negativos e potenciar os efeitos positivos das alterações climáticas (fig. 11). As medidas de adaptação podem ser tomadas a muitos níveis, desde o pessoal ao governamental (Viehhauser, 2005). A adopção dessas medidas é, contudo, dificultada pela necessidade de compatibilizar as perspectivas temporais, muito diferentes das decisões políticas, pela duração das infra-estruturas e pelos cenários de alterações climáticas (Lindley *et al.*, 2006; Viehhauser, 2005). É importante que os desenvolvimentos futuros de ocupação do solo não agravem o grau de risco, através da influência sobre os factores de perigo ou através da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa do sistema urbano.

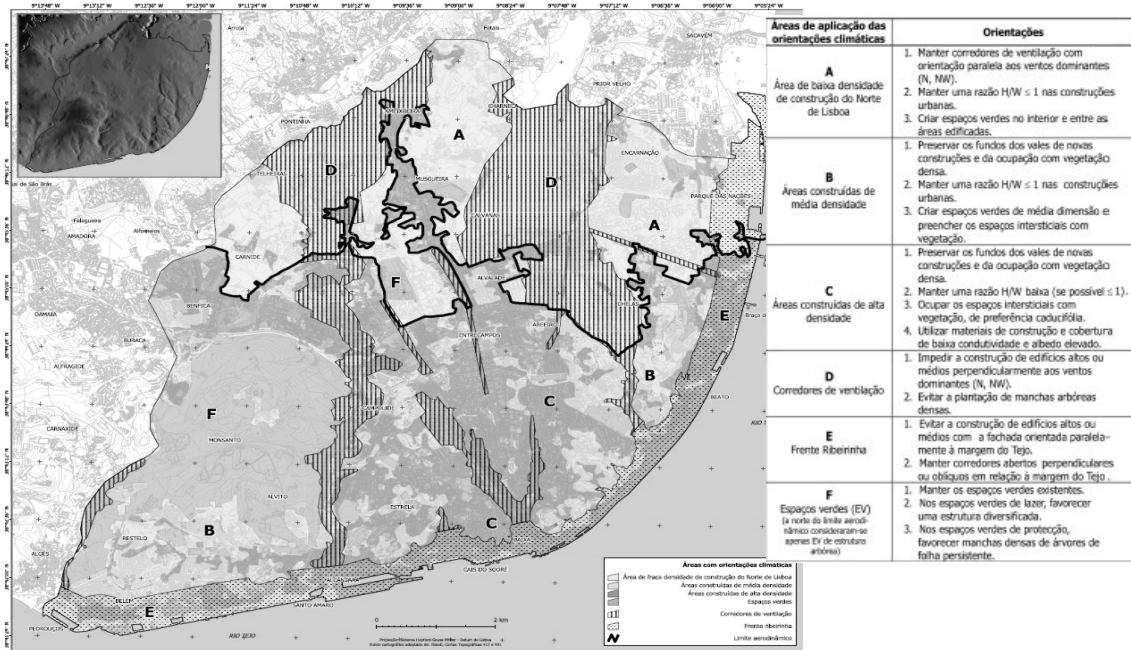


Figura 11 – Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa, que foram incluídas em anexo no Plano Director Municipal (PDM) de Lisboa. Fonte: Alcoforado *et al.* (2005) [http://pdm.cm-lisboa.pt/pdf/RPDMlisboa\\_avaliacao\\_climatica.pdf](http://pdm.cm-lisboa.pt/pdf/RPDMlisboa_avaliacao_climatica.pdf)

Subsistem, evidentemente, muitas incertezas, quanto ao tipo e severidade das consequências espaciais e quanto às variações locais e regionais dos impactes. Carter (2001) considera que existe uma “hierarquia de incertezas”, em função de a) factores socio-económicos e tecnológicos associados às mudanças climáticas; b) futuras emissões de GEE e aerossóis c) futura composição da atmosfera d) futuro balanço radiativo do sistema. Associado a cada um destes níveis, deve ser considerado um factor de incerteza, que poderá ser ampliado por incorrecções dos dados e dos modelos. De acordo com Dessai (2002), a incerteza é um factor crucial na avaliação dos impactes do clima na saúde.

Contudo, parece estabelecer-se actualmente um consenso, a nível científico, sobre a necessidade de agir, independentemente do nível de incerteza que ainda possa existir. Por outro lado, muitas das medidas de mitigação e adaptação contribuirão também para a melhoria da qualidade ambiental e poderão ter ainda outros efeitos positivos, a nível socio-económico, o que vem reforçar a ideia de que é necessário pensar o espaço urbano tendo em consideração os desafios das mudanças climáticas. Foi já referido que, mesmo na hipótese (irrealista) de as emissões estabilizarem imediatamente ao nível do ano 2000, a temperatura do planeta continuará mesmo assim a subir. Portanto, independentemente da necessidade de serem tomadas medidas de mitigação das emissões de GEE, a adopção paralela de medidas de adaptação às mudanças revela-se indispensável. Por outro lado, nas áreas urbanas, a aplicação de medidas de mitigação da IC (e de outros aspectos negativos do clima urbano) deverá necessariamente associar-se às medidas relativas ao AG.

Os principais factores de risco devidos às alterações climáticas estão relacionados com o aumento de temperatura, com o aumento da frequência de fenómenos extremos (como as precipitações intensas e as ondas de calor),

com a degradação dos recursos hídricos e com as cheias e inundações nas áreas ribeirinhas e costeiras. Os impactes destes riscos podem fazer-se sentir sobre a saúde humana, sobre a biodiversidade e os ecossistemas (naturais e artificiais), sobre as infra-estruturas e as actividades económicas (LCCP, 2002, 2006; IPCC, 2007). Olhando sobretudo para a realidade portuguesa, serão aqui abordados os seguintes tópicos, considerando quer os impactes esperados, quer as potenciais medidas de adaptação que podem ser adoptadas:

- A saúde;
- Os recursos hídricos;
- As cheias e inundações nas áreas costeiras e ribeirinhas.

### 1.1. Impactes sobre a saúde

No quadro II sintetizam-se os principais impactes esperados sobre a saúde humana; os efeitos do aumento de temperatura podem ser directos (afectando directamente o organismo humano) ou indirectos (resultando das influências sobre outros sistemas bioquímicos, agentes patogénicos, poluentes, etc. – IPCC, 2001). Os principais impactes indirectos poderão resultar do incremento da produção de O<sub>3</sub> (devida às temperaturas mais elevadas - Stone, 2005) e aero-alergenos (associados ao aumento de temperatura e ao enriquecimento da atmosfera em CO<sub>2</sub> - Epstein e Rogers, 2004; McMichael *et al.*, 2006), e o incremento das infecções transmitidas por insectos (Epstein e Rogers, 2004; McMichael *et al.*, 2006; Casimiro *et al.*, 2006). As sinergias entre diferentes factores de agressão (altas temperaturas, poluentes, alergenos) tornam o perigo particularmente grave.

Quadro II- Factores de vulnerabilidade e de risco em relação aos impactes das alterações climáticas na saúde

Factores de vulnerabilidade	Factores de perigo	Principais impactes
- Elevada densidade populacional	Aumento da frequência e intensidade das vagas de calor	Aumento da morbilidade
	Poluição atmosférica e aero-alergenos	
- Populações idosas	Transmissão de doenças por insectos e roedores	Aumento da mortalidade
- Baixo nível socio-económico	Degradação da qualidade da água e dos alimentos	

Os factores que acentuam a vulnerabilidade de algumas áreas urbanas são também indicados no quadro II: as áreas mais vulneráveis são aquelas que possuem populações mais idosas e com nível socio-económico mais baixo (Kalkstein, 1997; Lindley *et al.*, 2006; Casimiro *et al.* (2006).

Note-se, contudo, que o AG pode também ter impactes positivos sobre a saúde, nomeadamente os que se associam à diminuição da mortalidade e morbilidade no período invernal (LCCP, 2002; McMichael *et al.*, 2006; Lindley *et al.*, 2006). Existem muitas incertezas sobre o balanço entre o incremento da mortalidade devido a vagas de calor e a sua possível diminuição no Inverno: segundo Kalkstein e Green (1997), até 2050 haverá um aumento de mortalidade estival de 70% a 100%, nas grandes cidades americanas. Contudo, Davis *et al.* (2003) consideram que o incremento da mortalidade com futuras vagas de calor terá valores consideravelmente mais baixos, devido à adaptação das populações a temperaturas mais elevadas; a possibilidade de



adaptação (fisiológica e comportamental) é assim um dos aspectos mais controversos (Kalkstein e Green, 1997; Donaldson *et al.*, 2002; Dessai, 2002; McMichael *et al.*, 2006). Alguns autores prevêem que, nas cidades de latitudes médias e altas, o aumento de mortalidade estival será compensado pela diminuição no Inverno (Martens, 1997, com base na análise de várias cidades com diferentes tipos de clima; Keatinge *et al.*, 2000, para a Europa; Donaldson *et al.*, 2001, para Londres). Em Lisboa, segundo Dessai (2002) a mortalidade devida ao calor aumentará entre 5.8 e 15.1 por 100 000 habitantes, dependendo dos diferentes cenários e modelos considerados; a aclimação poderá reduzir o impacto da mudança climática na mortalidade em 1.7 a 4.6 vezes.

## 1.2. Impactes sobre os recursos hídricos

As áreas urbanas são grandes consumidoras de água, dependendo quase exclusivamente de recursos externos. A sua vulnerabilidade às mudanças climáticas neste aspecto é, portanto, notória. Note-se que, de acordo com Cunha *et al.* (2006), se prevê uma diminuição dos recursos hídricos, sobretudo no centro e Sul do país (fig. 6) devido, por um lado, à redução da precipitação e ao aumento da sua concentração sazonal e, por outro lado, ao aumento da evapotranspiração e à diminuição no nível freático dos aquíferos. Poderá ainda verificar-se uma degradação da qualidade da água e, associada à subida do nível do mar, um aumento da contaminação dos aquíferos costeiros por água salgada (intrusão salina). Os problemas específicos das áreas urbanas neste domínio são indicados no quadro III. A conjugação do AG com o aquecimento urbano é, também neste caso, um factor agravante, incrementando as necessidades de água para diferentes fins.

Quadro III – Factores de risco e principais impactes hidrológicos das alterações climáticas

	Factores de vulnerabilidade	Principais impactes
Recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade populacional</li> <li>- Eficiência no uso da água</li> <li>- Dependência de recursos externos</li> <li>- Qualidade da água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento do consumo de água</li> <li>Redução da disponibilidade de água (diminuição da precipitação; diminuição dos escoamentos)</li> </ul>

## 1.3. Cheias e inundações urbanas

Muitas das cidades portuguesas situam-se em áreas litorais ou ribeirinhas ou são atravessadas por cursos de água. A previsível subida do nível do mar, e, simultaneamente, o aumento da concentração das precipitações, pode levar ao incremento da frequência de cheias e inundações, ao agravamento das tempestades e ao acentuar da erosão costeira, pondo em perigo pessoas, infraestruturas e ecossistemas. A intensidade dos impactes irá depender da capacidade adaptativa de cada área costeira, sendo necessário agir de forma atempada para proteger as estruturas costeiras e evitar danos irreversíveis, para além das medidas que devem ser tomadas para reforçar a alimentação das praias e a fixação de dunas para, desta forma, reduzir a erosão costeira (Bloomfield *et al.*, 1999) .



A impermeabilização dos solos urbanos, a artificialização da rede de drenagem (e a sua insuficiência para lidar com situações extremas) e a localização desadequada de habitações e infraestruturas, são importantes factores de vulnerabilidade das áreas urbanas em relação aos problemas das cheias. Será necessário proceder a alterações no sistema de drenagem (com adaptações a maiores quantitativos de precipitação) e procurar soluções alternativas para captar a água da chuva, que se prevê mais concentrada, para evitar perdas materiais e humanas e, simultaneamente, salvaguardar a possibilidade de acumular e reutilizar a água, respondendo às dificuldades em relação à disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Quadro III – Factores de risco e principais impactes das alterações climáticas relativamente a cheias, inundações e tempestades

	Factores de vulnerabilidade	Principais impactes
Cheias, inundações e tempestades	- Localização em áreas litorais, estuarinas e ribeirinhas	Destruição de infra-estruturas e património
	- Impermeabilização das superfícies	Perturbações nos sistemas de transportes
	- Redes de drenagem desajustadas	Destruição de ecossistemas naturais
	- Construção em leitos de cheia	Deslocação de populações
		Degradação da qualidade da água
		Riscos para a saúde

## 2. Medidas de adaptação ao Aquecimento Global e mitigação da Ilha de Calor

Nem todas as medidas de adaptação às mudanças climáticas têm implicações directas ao nível do ordenamento do território; por exemplo, o aumento da frequência e intensidade das vagas de calor torna necessária a adequação do sistema de saúde e da informação ao público; da mesma forma, são indispensáveis medidas que promovam o uso eficiente da água. Serão aqui abordados apenas os aspectos que têm a ver com o planeamento do território.

As medidas de adaptação a temperaturas mais elevadas têm, nas áreas urbanas, de ser conjugadas com medidas de mitigação da IC (fig. 12 e quadro IV). Note-se que grande parte das iniciativas necessárias nesse sentido têm efeitos, simultaneamente nesses dois níveis sendo também, em alguns casos, positivas do ponto de vista da mitigação das emissões de GEE e tendo ainda consequências desejáveis em diferentes aspectos biofísicos, em termos socio-económicos, culturais, etc. Por exemplo, uma redução do tráfego automóvel pode ter efeitos positivos em termos de aquecimento no meio urbano, mas também na redução das emissões de GEE e de outros poluentes e, quando bem planeado, ter ainda efeitos adicionais ao nível social e cultural (favorecendo o lazer e convívio ao ar livre, em certas áreas da cidade).

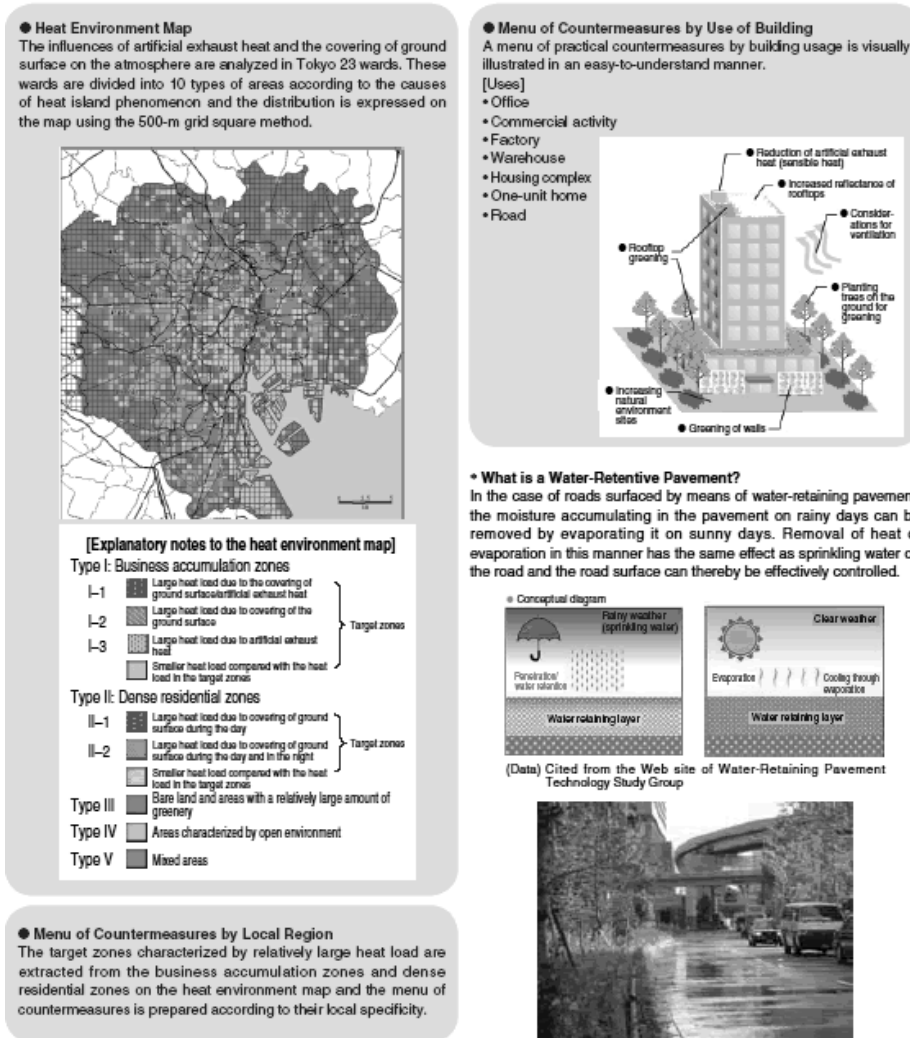


Figura 12 -Orientações para a mitigação da ilha de calor na cidade de Tóquio, Japão

Nos últimos 100 anos, a temperatura média anual em Tóquio aumentou cerca de 3°C. Algumas das orientações apresentadas para a cidade foram um mapa de temperatura ambiente (calor), uma lista de medidas por região e medidas a adoptar nos edifícios e infra-estruturas.

Fonte: [http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kouhou/env/eng\\_2006/environment07.html](http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kouhou/env/eng_2006/environment07.html) (site visitado em Abril de 2008)

Quadro IV- Medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas nas áreas urbanas

		Medidas	Outros benefícios	
			Biofísicos	Socio-económicos
Adaptação ao AG	Mitigação da IC	Aumentar a superfície ocupada por vegetação (sobretudo arbórea) (fig. 13)	Biodiversidade Redução da poluição	Redução do consumo de energia Criação de espaços de convívio/lazer Benefícios estéticos e culturais Utilização turística
		Aumentar o albedo das superfícies urbanas		Redução do consumo de energia
		Utilizar materiais de construção de baixa condutividade		Redução do consumo de energia
		Adequar a geometria urbana às necessidades de arrefecimento e ventilação		Redução do consumo de energia
		Reduzir o tráfego automóvel	Redução da poluição	Melhoria da qualidade dos espaços urbanos exteriores
		Aumentar as superfícies permeáveis (fig. 12)	Aumento da infiltração	Redução dos danos potenciais causados por cheias e dos custos associados à recuperação
		Aumentar e melhorar os espaços públicos abertos		Criação de espaços de convívio/lazer Benefícios estéticos e culturais
		Criar sistemas de armazenamento de água (fig. 14)	Biodiversidade	Criação de espaços de convívio/lazer/benefícios estéticos e culturais Utilização turística
		Adequar os sistemas de escoamento a fenómenos hidrológicos extremos (fig. 15)	Biodiversidade	Criação de espaços de convívio/lazer/benefícios estéticos e culturais Utilização turística
		Renaturalizar os rios para melhorar retenção de água e evitar cheias (fig. 16)	Biodiversidade	Criação de espaços de convívio/lazer/benefícios estéticos e culturais
		Adequar a ocupação do solo e as infra-estruturas a fenómenos hidrológicos extremos (fig. 17)		Redução dos danos potenciais causados por cheias e dos custos associados à recuperação
		Adaptar as estruturas costeiras, através do reforço das estruturas existentes, da construção de infra-estruturas mais elevadas e da construção de barreiras adequadas (fig. 18).		Prevenção dos danos causados pelas tempestades e pela subida do nível do mar nas estruturas costeiras. Redução dos custos associados à recuperação.

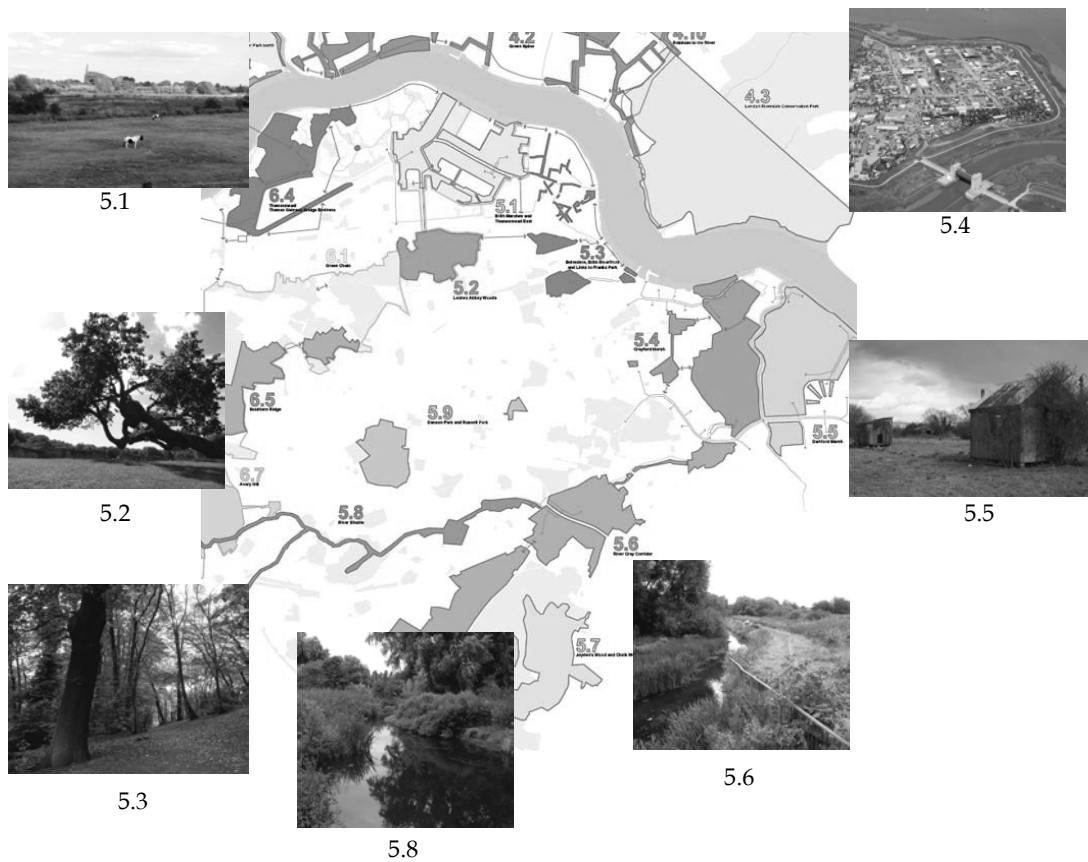


Figura 13 - Projecto da *East London Green Grid* para a área de intervenção 5 – Bexley, River Cray e Southern Marshes, Londres, Reino Unido.  
Este projecto engloba a Criação e ampliação de corredores verdes na estrutura urbana.  
Fonte: <http://www.designforlondon.gov.uk/ELGG/ELGGarea5.pdf> (site visitado em Abril de 2008)



Figura 14 - Uma das bacias de retenção criadas pelo Homem, após a estação de crescimento da vegetação, em Staten Island, Nova Iorque, EUA  
Fonte: [http://www.stormcon.com/sw\\_0106\\_staten.html](http://www.stormcon.com/sw_0106_staten.html) (site visitado em Abril de 2008)

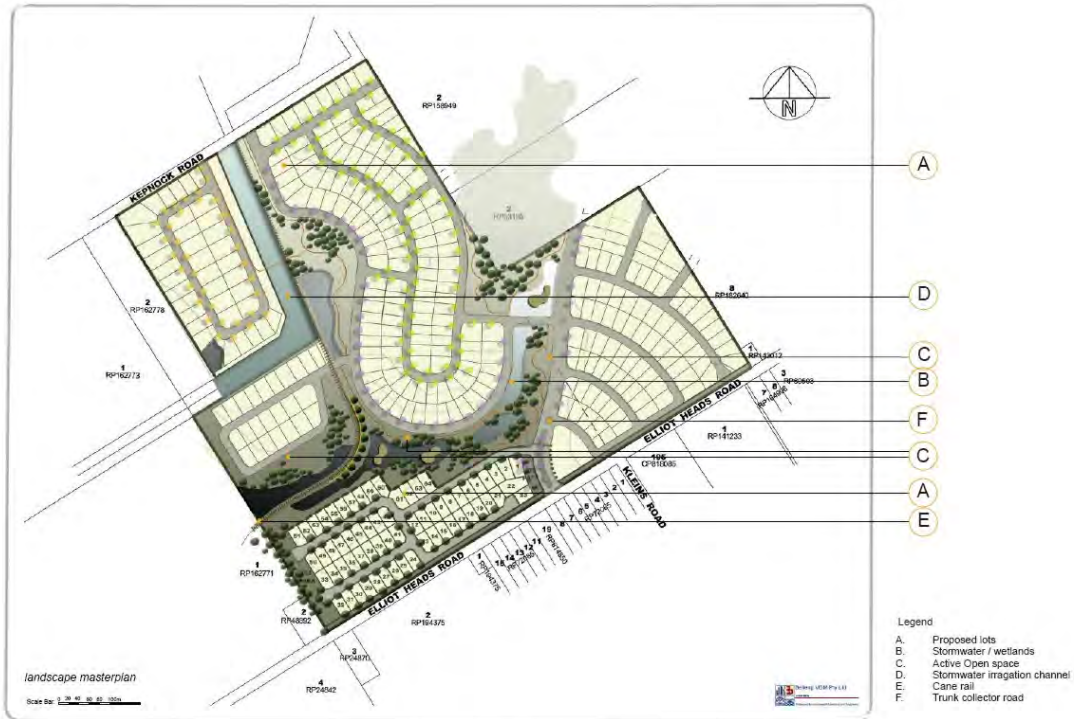


Figura 15 – Projecto de urbanização em Bundaberg, na Austrália

O projecto inclui corredores de drenagem superficial e sistemas de retenção da água, os quais, além de terem funções de protecção contra cheias urbanas, podem ser, simultaneamente, importantes para a conservação da biodiversidade e desempenhar funções culturais e recreativas.

Fonte: <http://www.belleng.com.au/landscape/Website2/Bundy.pdf>

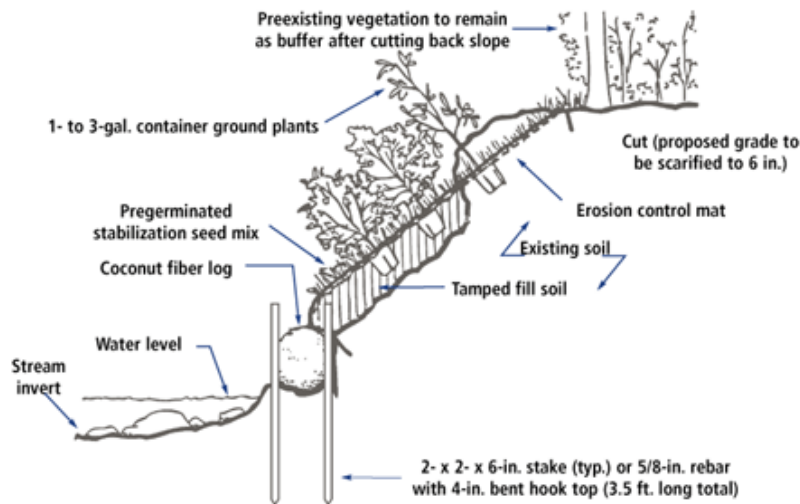


Figura 16 - \_Representação esquemática do processo de estabilização das margens do rio em Staten Island, Nova Iorque, EUA, para prevenção de cheias.

Fonte: [http://www.stormcon.com/sw\\_0106\\_staten.html](http://www.stormcon.com/sw_0106_staten.html) (site visitado em Março de 2008)

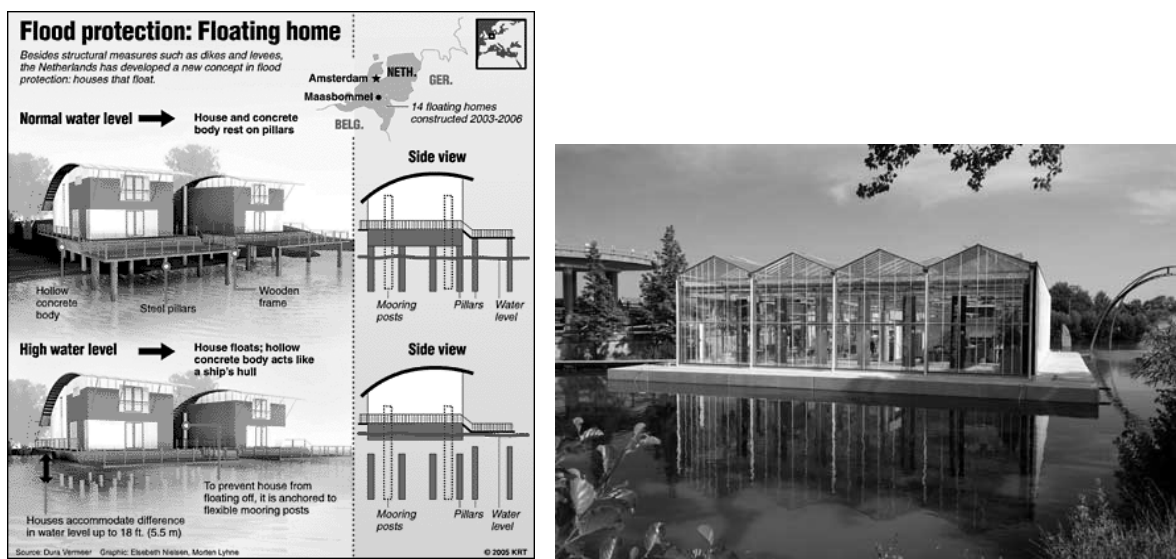


Figura 17 – Projecto e modelo demonstrativo de casa flutuante em Naaldwijk, Países Baixos

Consiste numa estufa construída numa plataforma flutuante, permitindo a criação de reservatórios de água e protecção contra cheias em simultâneo com a produção de horticultura.

Fonte: [http://www.duravermeerbusinessdevelopment.nl/uk/project\\_info.asp?id=578&show=2&projectfoto\\_id=665](http://www.duravermeerbusinessdevelopment.nl/uk/project_info.asp?id=578&show=2&projectfoto_id=665) (site visitado em Abril de 2008).



Figura 18 - Um dos bairros residenciais programados para HafenCity, junto ao porto de Baakenhafen, em Hamburgo, Alemanha.

No centro de Hamburgo está a ser desenvolvida uma área de expansão junto ao litoral, no qual as construções serão elevadas cerca de 7 a 8 metros em relação à linha de costa, com excepção dos passeios marginais, para enfrentar a eventual subida do nível do mar e o aumento da intensidade e frequência de tempestades devido às alterações climáticas.

Fonte: [http://www.hafencity.com/index.php?set\\_language=en&cccpage=projekte\\_artikel&show=artikel&item=45](http://www.hafencity.com/index.php?set_language=en&cccpage=projekte_artikel&show=artikel&item=45) (site visitado em Abril de 2008)

## V. Conclusão

Os diferentes cenários dão origem a previsões distintas em relação ao comportamento do sistema climático e às consequências potenciais das alterações que daí resultem. Existe sempre um determinado grau de incerteza, que não deve, contudo, justificar a inacção, para além de que o conhecimento científico hoje existente sobre esta temática é já suficiente para afirmar que as actividades humanas influenciam as alterações climáticas. Para além disso, sabe-se que as cidades, sendo áreas onde se concentram população e infra-estruturas, onde existe um agravamento dos factores de vulnerabilidade e onde as características climáticas têm um dinamismo próprio, são locais particularmente vulneráveis às mudanças no funcionamento do sistema climático. É necessário e possível actuar desde já, não só para evitar os inúmeros impactes potenciais das AC previstos, mas também para garantir a indispensável preservação dos recursos naturais e a qualidade ambiental nos espaços urbanos.

Este estudo está integrado no projecto “URBKIM: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos” (POCI/GEO/61148/2004), co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pelo FEDER.

## Bibliografia

- Aguiar, R. (2006) - Cenários Socio-económicos, *in* F. D. Santos e P. Miranda (eds) "Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação", Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa: 481-492
- Alcoforado, M.J.; Andrade, H. (2008) – Global Warming and urban heat island, *In* Marzluff, J.M. *et al.*, ed, *Urban Ecology*, Springer: 249- 262.
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Lopes, A. (2008) - Clima e ordenamento urbano na escala microclimática: o exemplo do bairro de Telheiras em Lisboa (“Climate and urban planning at the microclimatic scale: the example of Telheiras (Lisbon) city district.”). *In* Clima e Recursos Naturais. Conferências Científicas de Homenagem ao Prof. Doutor Dionísio Afonso Gonçalves. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, no prelo.
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Oliveira, S. (2007) – A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. *Geophilia*, Centro de Estudos Geográficos: 593-612.
- Alcoforado, M. J.; Lopes, A., Andrade, H., Vasconcelos, J., Vieira, R. (2005) - Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa. Relatório da Área de Geo-Ecologia, nº 4, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa. [http://pdm.cm-lisboa.pt/rev\\_est2.html](http://pdm.cm-lisboa.pt/rev_est2.html).
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2006) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 151-159.
- Alcoforado, M. J.; Nunes, M. F.; Garcia, J. C.; Taborda, J. P. (2000) – Temperature and Precipitation Reconstruction in southern Portugal during the Late Maunder Minimum (1675-1715). *The Holocene*, 10 (3): 333-340.
- Alcoforado, M. J. (1992) - *O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, Lisboa: 347 p.
- Alcoforado, M. J. (1986) – Contribution to the study of Lisbon's heat island, Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, 26, Freiburg: 165-176.



- Andrade, H. (2005) – O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XL(80): 67-91.
- Andrade, H. (2003) – *Bioclima Humano e temperatura do ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa: 435 p.
- Auliciems, A. (1997) - Human Bioclimatology: An Introduction. In: Auliciems, A. (ed.) *Advances In Bioclimatology: 5. Human Bioclimatology*. Springer, Queensland (Australia): 1-6.
- Baldasano, J. M.; Valera, E; Jimenez, P. (2003) - Air quality data from large cities. *The Science of the Total Environment*, 307: 141-165
- Beranová, R.; Huth, R. (2005) – Long-term changes in the heat island of Prague under different synoptic conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 82 (1-2): 113-118.
- Bloomfield, J.; Smith, M.; Thompson, N. (1999) - *Hot nights in the City: Global warming, Sea-Level Rise and the New York Metropolitan Region*. Environmental Defense Fund, New York: 36p.
- Brázdil, R.; Budíková, M. (1999) - An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech Republic. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25): 4211-4217.
- Brázdil, R.; Pfister, C.; Wanner, H. von; Storch, H.; Luterbacher, J. (2005) - Historical Climatology in Europe - the state of the art. *Climatic Change*, 70 (3): 363-430.
- Calheiros, J. M.; Casimiro, E.; Almeida, A. P. G; Alves-Pires, C.; Pereira, M. C.; Cardoso, M.; Santos-Silva, M.; Afonso, M. O.; Sousa, R. (2006) - Saúde humana e implicações para o turismo, in F. D. Santos e P. Miranda (eds) "Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação", Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa 233-270,
- Carter, T. R. (2001) – Uncertainties in climate change scenarios and impact studies. In: *Proceedings of the conference Climate Change and the Kyoto Protocol*, University of Évora: 17-18.
- Casimiro, E.; Calheiros, J.; Santos, F. D.; Kovats S. (2006) - National Assessment of Human Health Effects of Climate Change in Portugal: Approach and Key Findings. *Environmental health perspectives*, 114 (12): 1950-1956.
- Changnon, S. A. (1999) – A Rare Long Record of Deep Soil Temperatures Defines Temporal Temperature Changes and an Urban Heat Island. *Climatic Change*, 42 (3): 531-538.
- Chen, L.; Zhu, W.; Zhou, X.; Zhou, Z. (2003) - Characteristics of the Heat Island Effect in Shanghai and its Possible Mechanism, *Advances in Atmospheric Sciences*, 20 (6): 991-1001.
- Crutzen, P.J. (2004) - New Directions: The growing urban heat and pollution “island” effect - impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38 (21): 3539–3540.
- Cunha, L. V.; Ribeiro, L.; Oliveira, R.; Nascimento, J. (2006) - Recursos hídricos, in F. D. Santos e P. Miranda (eds) "Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação", Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa: 115-168
- Curtis, L.; Rea, W.; Smith-Willis, P.; Fenyves, E.; Pan, Y. (2006) - Adverse health effects of outdoor air pollutants, *Environment International*, 32: 815-830.
- Dessai, S. (2002) - Heat stress and mortality in Lisbon Part I. Model construction and validation. *International Journal of Biometeorology*, 47 (1): 6-12.
- Donaldson, G.; Kovats, R. S.; Keatinge, W. R.; McMichael, A. J. (2001) - Heat- and cold-related mortality and morbidity and climate change. In: *Health Effects of Climate Change in the UK*. Department of Health, London: 70-80.
- Epstein, P.; Rogers, C. (eds.) (2004) - Inside the Greenhouse the Impacts of CO<sub>2</sub> and Climate Change on Public Health in the Inner City. *Report from the Center for Health and the Global Environment*. Harvard Medical School: 28.
- Founda, D.; Papadopoulos, K. H.; Petrakis, M.; Giannakopoulos, C.; Good, P. (2004) - Analysis of mean, maximum, and minimum temperature in Athens from 1897 to



- 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events. *Global and Planetary Change*, 44 (1-4): 27-38.
- Ganho, N. (1998) O clima urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano. Dissertação de Doutoramento, Instituto de Estudos Geográficos, Universidade de Coimbra.
- Grimmond, C. S. B. (2006) - Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 3-22.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) - *Climate Change 2007: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge: 996p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) - *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge: 881p.
- Jones, P. D.; Kelly, P. M.; Goodess, C. M. (1989) – The Effect of Urban Warming on the Northern Hemisphere Temperature Average. *Journal of Climate*, 2 (3): 285-290.
- Kahn, M. E. (2006) – *Green Cities. Urban Growth and the Environment*. Brookings Institution Press, Washington, D.C: 160 p.
- Kalkstein, L. S. (1997) – Climate and Human Mortality: Relationships and Mitigating Measures. In: Auliciems, A. (ed.) *Advances In Bioclimatology: 5. Human Bioclimatology*. Springer, Queensland (Australia): 161-177.
- Kalnay, E.; Cai, M. (2003) - Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423 (6939): 528-531.
- Kamp, I. Van; Leidelmeijer, K.; Marsman, G.; Hollander, A. de (2003) - Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning*, 65 (1-2): 5-18.
- Katzchner, L.; Reinhold, M.; Gonçalves, D. A; Ferreira, T. A. (1999) - The use of urban climatological data for aspects of town planning in northeast Portugal. *15<sup>o</sup> International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, Macquarke University, Sydney – Australia, ed. CD.
- Keatinge, W. R.; Donaldson, G. C.; Cordioli, E.; Martinelli, M.; Kunst, A. E.; Mackenbach, J. P.; Nayha, S.; Vuori, I. (2000) - Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *British Medical Journal*, 321: 670-673.
- Krass, F. (2008) Megacities as global risk areas, In Marzluff, J.M. *et al.*, ed, *Urban Ecology*, Springer: 583-595.
- Lamptey, B. L.; Barron, E. J.; Pollard, D. (2005) - Impacts of agriculture and urbanization on the climate of the Northeastern United States. *Global and Planetary Change*, 49 (3-4): 203- 221.
- Lindley, S. J.; Handley, J. F.; Theuray, N.; Peet, E.; Mcevoy, D. (2006) - Adaptation strategies for climate change in the urban environment: assessing climate change related risk in UK urban areas. *Journal of Risk Research*, 9 (5): 543-568.
- London Climate Change Partnership (LCCP) (2002) - *A climate change impacts in London evaluation study*. Final Technical Report, Entec UK Ltd: 293 p.
- London Climate Change Partnership (LCCP) (2006) - *Adapting to climate change: Lessons for London*. Greater London Authority, London: 161 p.
- Lopes, A. (2003) - *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, 375p.
- Lowry, W. P. (1977) - Empirical estimation of urban effects on climate: A problem Analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16 (2): 129-135.
- Martens, W. J. M. (1997) - Climate change, thermal stress and mortality changes. *Social Science and Medicine*, 46 (3): 331-344.

- McMichael, A. J.; Woodruff, R. E.; Hales, S. (2006) - Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, 367 (9513): 859-869.
- Mills, G. (2006) - Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3): 69-76.
- Miranda, P. Valente, A., Tomé, A.R., Trigo, R., Coelho, F., Aguiar, A., Azevedo, F. (2006) - O clima em Portugal nos Séculos XX e XXI, in F. D. Santos e P. Miranda (eds) "Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação", p. 45-113 Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa
- Monteiro, A. (1993) – O Clima urbano do Porto. Contribuição para as definições das estratégias de planeamento e ordenamento do Território. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Universidade do Porto, 436p.
- Morris, C. J. G.; Simmonds, I. (2000) - Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. *International Journal of Climatology*, 20 (15): 1931-1954.
- Newman, P.W.G. (1999) - Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44 (4): 219-226.
- Oke, T. R. (1987) - *Boundary layer climates*. 2<sup>nd</sup> ed. London, Routledge, 435p.
- Oke, T. R. (1988) - The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12 (4): 471-508.
- Oke, T. R. (1997) Urban climates and global change. In: Perry, A.; Thompson, R. (eds) *Applied Climatology: Principles and Practice*. London: Routledge: 273–287.
- Parker, D.E. (2004) - Large-scale warming is not urban. *Nature*, 432 (7015): 290.
- Parker, D.E. (2006) - A demonstration that large-scale warming is not urban, *Journal of Climate*, 19 (12): 2882-2895.
- Patz, J. A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T.; Foley, J. A. (2005) - Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438 (7066): 310-317.
- Peltonen, L.; Haanpää, S.; Lehtonen, S. (2005) - The challenge of climate change adaptation in urban planning, *Finish Environmental Institute Mimeo-graphs*, 343, FINADAPT, Paper 13, Helsinki.
- Peterson, T. C. (2003) - Assessment of Urban Versus Rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No Difference Found. *Journal of Climate*, 16 (18): 2941–2959.
- Pielke, R. A.; Matsui, T. (2005) - Should light wind and windy nights have the same temperature trends at individual levels even if the boundary layer averaged heat content change is the same? *Geophysical Research Letters*, 32: L21813.
- Pinho, O. S.; Orgaz, M. D. M. (2000) - The urban heat island in a small city in coastal Portugal. *International Journal of Biometeorology*, 44: 198-203.
- Rosenzweig, C.; Solecki, W. D.; Parshall, L.; Chopping, M.; Pope, G.; Goldberg, R. (2005) - Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environmental Hazards*, 6 (1): 51–62.
- Santos, F.D.; Miranda, P. eds., (2006) - Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação, Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa.
- Sherwood, S. (2002) – A microphysical Connection Among Biomass Burning, Cumulus Clouds, and Stratospheric Moisture. *Science*, 295 (5558): 1272-1275.
- Stone, B. Jr. (2005) - Urban Heat and Air Pollution. An Emerging Role for planners in the Climate Change Debate. *Journal of the American Planning Association*, 71 (1): 13-25.
- Taborda, J. P.; Alcoforado, M. J.; Garcia, J. C. (2004) – O clima no Sul de Portugal no século XVIII. Reconstituição a partir de fontes descritivas e instrumentais. Área de Investigação de Geo-Ecologia, 2, CEG, Lisboa, 211p.
- Tereshchenko, I. E.; Filonov, A. E. (2001) - Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology*, 21 (4): 483-494.

- Viehhauser, M. (2005) - Urban Planning Adapting to Climate Change. In *International Conference for Integrating Urban Knowledge & Practice Gothenburg, Sweden*. May 29 - June 3, 2005.
- Wilby, R. L.; Wigley, T. M. L. (1997) - Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geograph*, 21 (4): 530-548.
- Zhou, L.; Dickinson, R. E.; Tian, Y.; Fang, J.; Li, Q.; Kaufmann, R. K.; Tucker, C. J.; Myneni, R. B. (2004) - Evidence for a significant urbanization effect on climate in China, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 101 (26): 9540–9544.



## THERMAL BIOCLIMATIC MAPS FOR PORTUGAL

Andreas Matzarakis, Henrique Andrade, Maria João Alcoforado

**Abstract** - Thermal bioclimatic indexes can be used for several purposes in applied climatology and biometeorology, since they allow the assessment of the combined effect of all the atmospheric variables significant to the human energy balance. In the present study, thermal comfort and heat stress (using the thermal index physiologically equivalent temperature - PET) are analysed in order to quantify the monthly bioclimatic conditions in Portugal. The maps produced can be used as a basis to assess suitability to tourism activity throughout the year in different regions. Furthermore, the analysis of the PET can deliver information which can assist decision making on various levels, including health and regional planning.

**Resumo** – Mapas bioclimáticos de Portugal continental.

Os índices referentes ao bioclima térmico podem ser utilizados para diversos fins em climatologia aplicada e biometeorologia, uma vez que permitem a avaliação dos efeitos combinados de todas as variáveis atmosféricas significativas para o balanço energético do ser humano. No presente estudo, o conforto térmico e o stress devido ao calor são analisados (utilizando o índice “temperatura fisiológica equivalente”, PET) para quantificar as condições bioclimáticas médias mensais em Portugal. Os mapas produzidos podem ser utilizados como base para a avaliação das potencialidades para a actividade turística em diferentes regiões, ao longo do ano e pode apoiar a tomada de decisão a vários níveis, incluindo na saúde e no planeamento regional.

### 1. Introduction

For the bioclimatic evaluation of a specific location or area, several meteorological parameters are required since a complex evaluation of the effects of climate conditions and thermo-physiological values is needed, in order to describe the effects of the thermal environment on humans. Several models and indices were developed to calculate the extent of thermal stress during the last decades. The earlier bioclimatic indices (Discomfort Index, Windchill, thermohygrometric index-THI) consider only some and simple meteorological parameters (Thom, 1959; Steadman, 1971; Unger, 1999; Matzarakis *et al.*, 2004). New models, based on the human energy balance equation, produced the so-called comfort indices - for example Predicted Mean Vote (PMV), Physiological Equivalent Temperature (PET), Outdoor Standard Effective Temperature (OUT\_SET\*) to evaluate the thermal stress on the human body (Fanger, 1972; Jendritzky *et al.*, 1990; Höppe, 1993, 1999; VDI, 1998; Matzarakis *et al.*, 1999; Spagnolo and de Dear, 2003). These indices can be applied in different time and spatial resolutions (Jendritzky *et al.*, 1990; Matzarakis *et al.*, 1999; Koch *et al.*, 2005). For example, describing a small area (e.g. surroundings of a building, part of a street), with fine resolution can be useful for architects and urban designers (Matzarakis, 2001; Mayer and

Matzarakis, 1998; Andrade and Alcoforado, 2007). Micro-scale studies (e.g. bioclimatological description of a town) provide data for urban planning (Unger *et al.*, 2005). Examining even larger areas (e.g. a whole region or country) has not only scientific value: the results of these studies can be the basis of planning regional recreation and tourism development (Mayer and Matzarakis, 1997; Matzarakis *et al.*, 1999; Matzarakis *et al.*, 2004).

The aim of this study is to present a bioclimatic analysis of Portugal by means of bioclimatic mapping with the aid of geo-statistical methods. At this scale, application to tourism is particularly useful, considering that tourism is a very important activity in Portugal and that there is a lack of climatic information for that purpose (Alcoforado and Andrade, 2004; Andrade *et al.*, 2008).

The present study links geographical information (Hastings *et al.*, 1999) with climatological data (New *et al.*, 1999, 2000, 2002) in order to generate a spatial distribution of PET values of a region. The calculation of PET is performed with the aid of the RayMan Model, which calculates the thermal indices mentioned above (Matzarakis *et al.*, 2000, 2007).

## 2. Study area and methods

### 2.1. Study Area

Portugal is located in the western part of the Iberian Peninsula, between 37 ° and 42°09' latitude N and 9°30 and 6°11' longitude W. Maximum altitude reaches circa 2000 m, in Serra da Estrela (fig. 1); main mountainous areas are in the Northern part of the country and in the inner centre.



Figure 1 – locaton map

Although it lies near the Atlantic, its climate is considered “Mediterranean”, as the dry season occurs in the warm half year. This feature is

a stress factor for vegetation, but it is regarded as an advantage by tourists, particularly by those seeking seaside leisure activities. Tourism activity represents 4.6 % of Portuguese GDP and 7.8 % of employment (INE, 2007).

Although the dimensions of the country are limited, there are very large climate variations due to latitude, and, to a greater extent, to altitude and distance from the Ocean (Ribeiro *et al.*, 1987; Alcoforado and Dias, 2002).

Total annual rainfall exceeds 2500mm on the NW Sierras and the “Cordilheira Central”, where frontal activity is increased by altitude. In most of southern Portugal, annual precipitation is comprised between 500 and 700 mm, with minimum values in the Algarve and inner southern Alentejo (fig. 1). Although southern Portugal is dry, very heavy showers can occur, mostly due to deep surface depressions and altitude cut-off lows and cold air advections.

The limit between the more humid and drier areas follows roughly the Portuguese course of the Tagus River. Global radiation decreases gradually from the NW to the SE. There are great thermal contrasts in Portugal, due to the distance from the western coast and the altitude. In the summer, average maximum temperature ranges from circa 20°C (near the western coast to the North of Lisbon and on the main mountain ranges) to more than 32°C in the inner parts of the country, exacerbated in valley floors, such as the Douro valley. On the contrary, average minimum winter temperature is highest (circa 6°C; Ribeiro *et al.*, 1987) at the Atlantic shore from the Algarve to circa 39° latitude North and it decreases to the East and on the Mountains (reaching values under 1°C).

Wind direction varies a lot along the year. In winter, the main wind directions are W, SW and NE, while in the summer wind blows mostly from the N and the NW, being particularly strong and constant on the coastal areas.

## 2.2. Applied bioclimatic index

In this study one of the most widely used bioclimatic indexes, the PET, is used as an indicator of thermal stress and thermal comfort. PET evaluates the thermal conditions in a physiologically significant manner (Höppe, 1999; Matzarakis *et al.*, 1999). It is defined as the air temperature at which the human energy budget for the assumed indoor conditions is balanced by the same skin temperature and sweat rate as under complex outdoor conditions to be assessed. PET enables various users to compare the integral effects of complex thermal conditions outside with their own experience indoors (Table 1). In addition, PET can be used for the whole year and in different climates (e.g. Höppe, 1999; Mayer and Matzarakis, 1997). Meteorological parameters influencing the human energy balance, such as air temperature, air humidity, wind speed and short- and longwave radiation, are also represented in PET values. *PET* also considers the heat transfer resistance of clothing and the internal heat production. As it is expressed in a widely known unit (°C), the results are easily understandable and comprehensible for potential users. This is especially the case for planners, decision-makers, and even the public who might be not familiar with modern human-biometeorological terminology.

*Table 1* - Physiologically Equivalent Temperature (PET) for different grades of thermal sensation and physiological stress on human beings (during standard conditions: heat transfer resistance of clothing: 0.9 clo; internal heat production: 80 W) (Matzarakis and Mayer, 1996)

PET (°C)	Thermal sensation	Physiological stress level
4	very cold .....	extreme cold stress .....
8	cold .....	strong cold stress .....
13	cool .....	moderate cold stress .....
18	slightly cool .....	slight cold stress .....
23	comfortable .....	no thermal stress .....
29	slightly warm .....	slight heat stress .....
35	warm .....	moderate heat stress .....
41	hot .....	strong heat stress .....
	very hot	extreme heat stress

### 2.3. RayMan model

RayMan, one of the recently used models of radiation and bioclimate, is well-suited to calculate radiation fluxes (e.g. Mayer and Höpfe, 1987; Matzarakis, 2002; VDI, 1998), and thus, all our calculations for  $T_{mrt}$  and PET were performed using this model. The RayMan model, developed according to the Guideline 3787 of the German Engineering Society (VDI, 1998) calculates the radiation flux in simple and complex environments on the basis of various parameters, such as air temperature, air humidity, degree of cloud cover, time of the day and year, albedo of the surrounding surfaces and their solid-angle proportions.

### 2.4. Data

The climatic data used for this analysis was provided by the data collection program at the Climatic Research Unit (UK, New *et al.*, 1999, 2000, 2002). The required data for the thermal bioclimatic analysis, namely air temperature, relative humidity, sunshine and wind speed, are available on a monthly resolution for the climate period 1961 to 1990 and on a ten minute resolution for the specific area. The calculated PET grid values have been used as dependent variable. They have been recalculated into a higher spatial resolution (1 km) through the use of geo-statistical methods (independent variables were latitude, longitude and elevation). For this purpose the digital elevation data of the GLOBE data set (Hastings *et al.*, 1999) was used.



### 3. Results and discussion

The monthly spatial distribution of PET in Portugal is shown on figures 2 to 13. On the coldest month (most frequently January – fig. 2) PET values ranges from -6 to + 12°C in the investigated area, being very dependent from latitude and altitude. The lower values (under -6°C) were found on the mountains of the North and Centre. Milder winter conditions (mean January PET near 11°C) occurs in the southern coast (Algarve, fig.1). The mean PET in January remains above 8°C also along the central Western coast of the country (from the Algarve to the north of Lisbon), as a result of the effect of the Atlantic Ocean on the attenuation of extremes values, not only of temperature (Daveau *et al.*, 1985) but also of PET.

However, patterns of PET are greatly different from these of air temperature ( $T_a$ ). Winter PET values are usually lower than  $T_a$ . The differences are very strong on the mountains, where PET values go down to under -6°C, while mean  $T_a$  values never drop below 0°C. For example, in the 1510 m high meteorological station of Penhas da Saúde (Serra da Estrela, fig.1), the mean air temperature in January is 1.3°C (average 1975/85; Mora, 2006). These strong differences in mountainous areas are due to strong wind speed and low solar radiation. In low altitude areas, differences between PET and  $T_a$  are usually weaker, with PET 1°C to 2°C below the air temperature values; in Algarve, sunny and partly sheltered from the prevailing North winds, mean PET and  $T_a$  are very similar. This region concentrates the larger part of the tourist activity of Portugal during winter time, mainly with British tourists.

During springtime, the first area reaching PET values above 18°C is the eastern Algarve, in May; during this month, PET values varied between 15°C and 18°C in southern Portugal and on the central and northern coastal areas; lower values were observed on the mountainous areas (under 7°C). In June, PET values above 18°C were generalized to almost the entire country, with the exception of the highlands of northern and central Portugal.

The summer is the main tourist period, all over the country. The hottest months are July and August (figures 7 and 8), with PET values ranging between circa 18°C and 30°C. During this season, the main geographical controls are proximity from the ocean and altitude. Along the western coast, PET values range between 22°C and 26°C, with a slight increase to the south. In Algarve, values are higher (26°C to 30°C) mainly in August and in the eastern part of the region, because of the shelter from the prevailing N and NW winds, that cools the western coast (Alcoforado and Dias, 2002). The inner south has usually very hot days, but relatively cool nights. The resultant mean PET values (26°C to 28°C) are therefore lower than in Algarve, where night time is usually hotter and day time cooler. As referred before, altitude is an important climatic factor, with lower PET values (under 20°C) being recorded in the northern and central mountains.

Autumn cooling is fast: in October (fig. 11), almost the whole southern Portugal still registers PET values above 18°C (20°C in the Algarve), while in the highlands of the north and centre of the country the values have already dropped below 15°C. However, in November, in all the territory but the Algarve (where PET reaches 15°C), values were below 14°C, dropping to near 0°C in the mountains.

Figures 2 to 13 - Mean monthly spatial distribution of PET (period: 1961-1990)

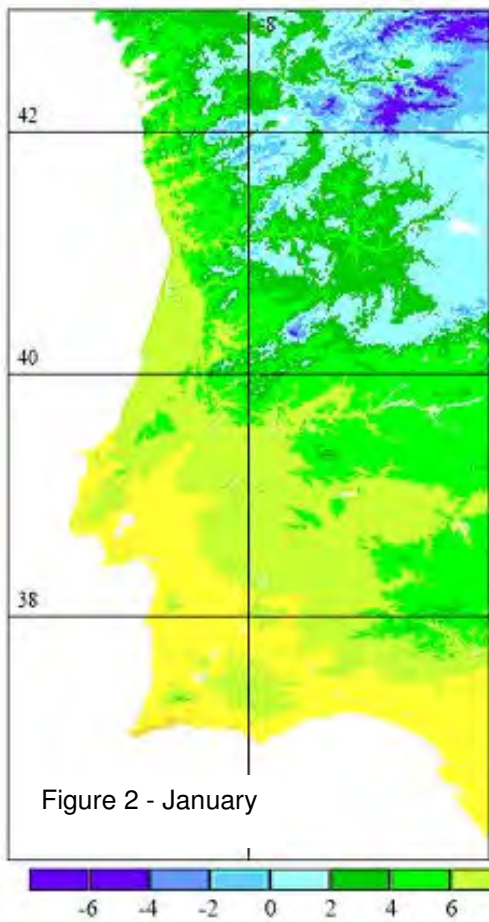


Figure 2 - January

Figure 3 - February

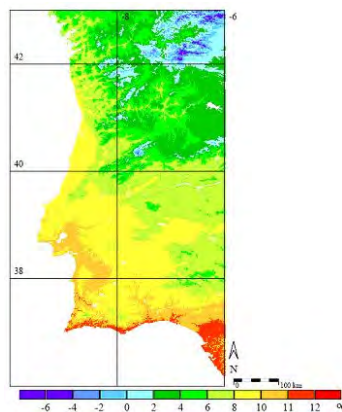


Figure 4 - March

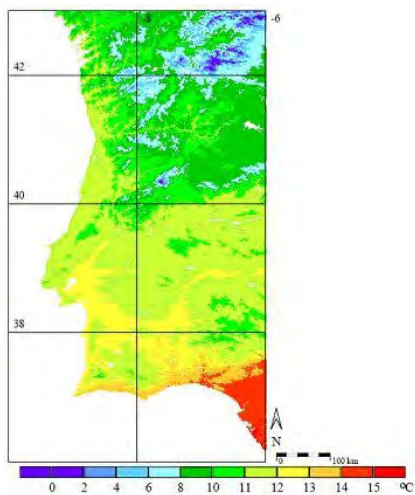
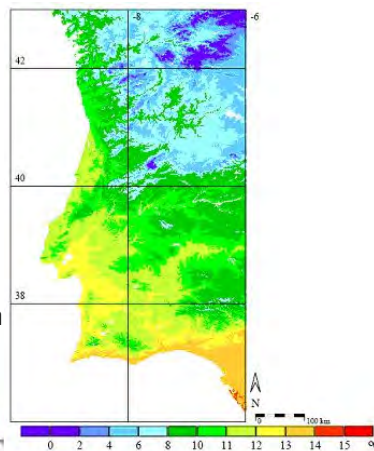


Figure 5 - April

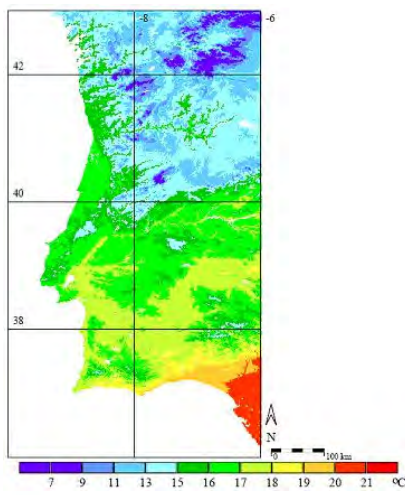


Figure 6 - May

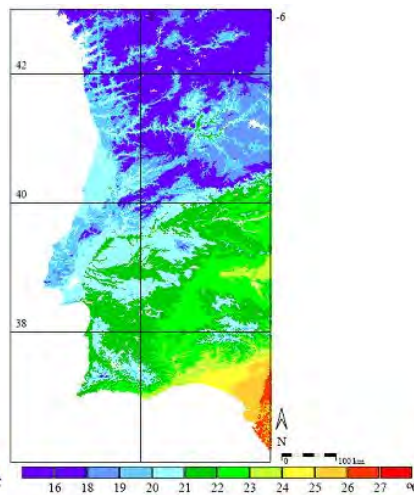


Figure 7- June

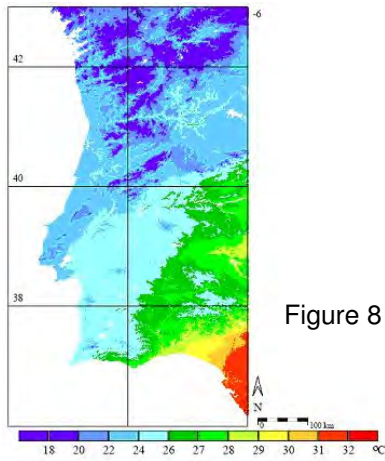


Figure 8 - July

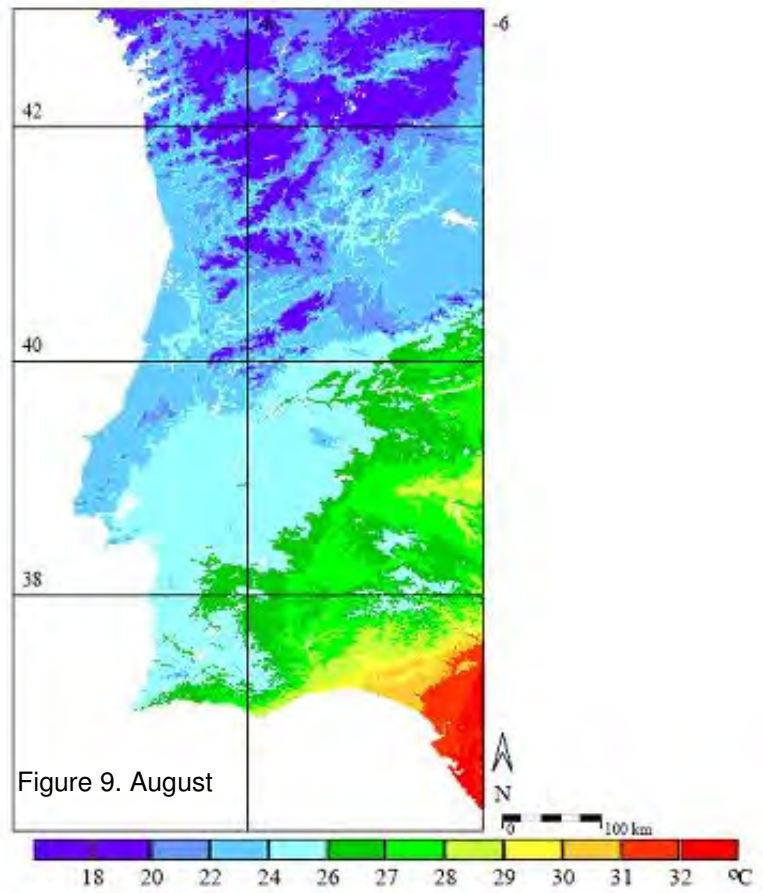


Figure 9. August

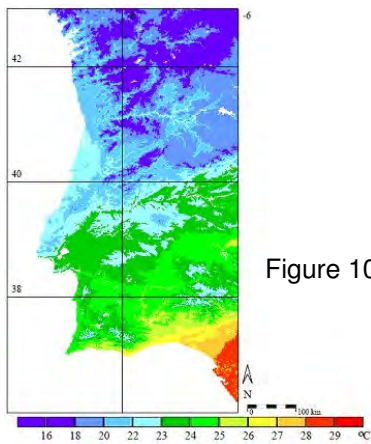


Figure 10 - September

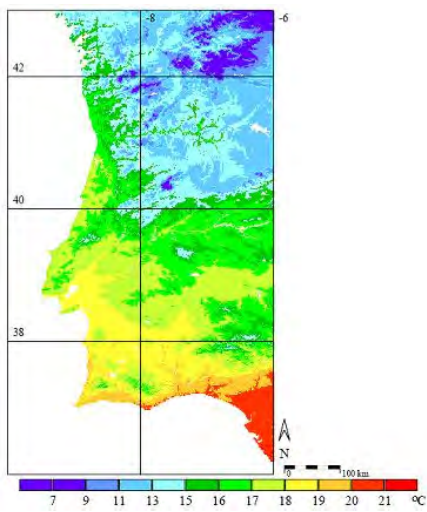


Figure 11 - October

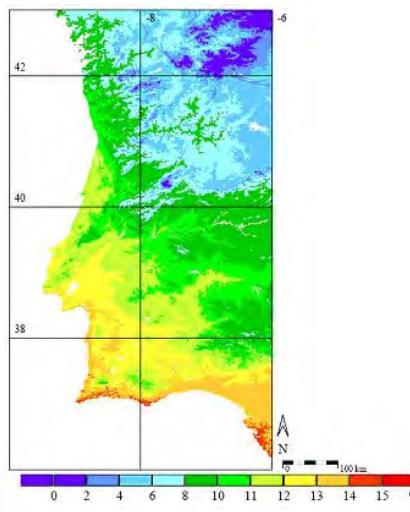


Figure12 - November

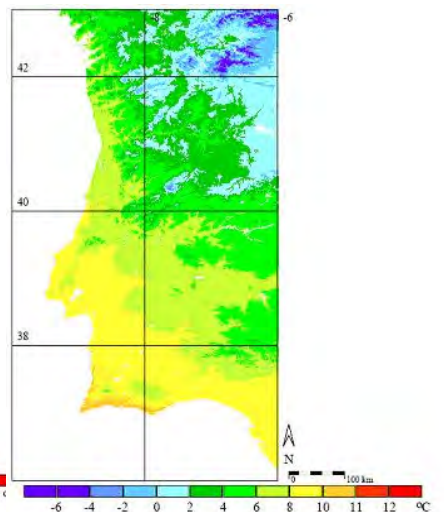


Figure 13 - December



## Conclusions

The analysis of the PET, when applied to the present climate conditions, can deliver information which can assist decision making on various levels, including health, tourism and regional planning.

The results presented in this paper have to be considered as preliminary. Additional analyses, based on daily data from other regional models, will permit to describe with greater detail the climate conditions and predict extreme events. Sensible and vulnerable areas can be detected and mapped. This cartography may be helpful in the development of adaptation strategies for tourism planning and protection of tourism facilities in relation to climate change issues. Additional information can be strategic to the detection of spatial development of extreme events, i.e., heat waves in order to develop adaptation strategies to tackle climate change at the regional and urban planning level.

## References

- Alcoforado, M. J.; Dias, M. H. (2002) – *Climatic maps from Lisbon's region and enquadramento in the climatic diversity of Continental Portugal*. (Coloured maps and a short text in Portuguese) Centro de Estudos Geográficos, Lisboa (CD edition).
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Paulo, M. J. (2004) - Weather and recreation at the Atlantic shore near Lisbon, Portugal. A study on applied climatology. In A. Matzarakis, DeFreitas, C.R. e Scott, D. (ed), *Advances in Tourism Climatology*, Número especial de *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*, 12: 38-48.
- Andrade, H.; Alcoforado, M.J. (2007) – Microclimatic variation of thermal comfort in a city-district of Lisbon (Telheiras). Night-time period. *Theoretical and Applied Climatology, on line first*.
- Daveau, S. et al. (1985) – *Climatic Maps from Portugal: Thermal contrasts and Fog and Nebulosity* (in Portuguese, with an extended English Summary). Memórias do Centro de Estudos Geográficos, vol. 7; CEG, Lisboa (+ two coloured maps, 1: 250 000).
- Fanger P. O. (1972) *Thermal comfort*. New York, Mc Graw–Hill.
- Hastings, D. A.; Dunbar, P. K.; Elphinstone, G. M.; Bootz, M.; Murakami, H.; Maruyama, H.; Masaharu, H.; Holland, P.; Payne, J.; Bryant, N. A.; Logan, T.; Muller, J.-P.; Schreier, G.; MacDonald, J. S., (eds.), (1999) - *The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0*. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S.A. Digital data base on the World Wide Web (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>).
- Höppe, P. R. (1993) - Heat balance modelling. *Experientia*, 49: 741-745.
- Höppe P. R. (1999) - The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol*, 43: 71–75.
- INE (Instituto Nacional de Estatística) (2007) *Estatísticas do turismo 2006*, INE, Lisboa.
- Jendritzky, G.; Menz, H.; Schirmer, H.; Schmidt-Kessen W, (1990) - Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan. No. 114.
- Koch, E.; Marktl, W.; Matzarakis, A.; Nefzger, H.; Rudel, E.; Schunder-Tatzber, S.; Zygmuntowski, M. (2005) - Klimatherapie in Österreich. Broschüre zu den Potentialen der Klimatherapie in Österreich. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.

- Matzarakis, A. (2001) - Die thermische Komponente des Stadtklimas. *Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg*, Nr. 6.
- Matzarakis, A. (2002) - Validation of modelled mean radiant temperature within urban structures. *AMS Symposium on Urban Environment*, Norfolk, 7.3.
- Matzarakis, A.; de Freitas, C.; Scott, D., (eds.) (2004) - *Advances in tourism climatology*. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg Nr. 12.
- Matzarakis, A.; Mayer, H. (1996) - Another kind of environmental stress: Thermal stress *NEWSLETTERS* No. 18, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control: 7-10.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.; Iziomon, M. (1999) - Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43: 76-84.
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H. (2000) - Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In de Dear RJ, Kalma JD, Oke TR, Auliciems A.eds. *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium*. Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, Sydney 2000: 273-278.
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H. (2007) - Modelling Radiation fluxes in easy and complex environments – Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51: 323-334.
- Mayer, H.; Höppe, P., (1987) - Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38: 43-49.
- Mayer, H.; Matzarakis, A. (1997) - The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. *Proceed. Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island*, Fujisawa, Japan: 84-95.
- Mayer, H.; Matzarakis, A., (1998) - Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. *Proceedings of the Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island*. Fujisawa, Japan: 155-168.
- New, M.; Hulme, M.; Jones, P. (1999) - Representing twentiethcentury space-time climate variability. Part I: Development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology. *J Climate*, 12: 829-856.
- New, M.; Hulme, M.; Jones, P. (2000) - Representing twentiethcentury space-time climate variability. Part II: Development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J Climate*, 13: 2217-2238.
- New, M.; Lister, D.; Hulme, M.; Makin, I. (2002) - A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21: 1-25.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H.; Daveau, S. (1988) – *Geografia de Portugal, vol.II – O ritmo climático e a paisagem*. João Sá da Costa, Lisboa.
- Spagnolo, J.; de Dear, R. (2003) - A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*, 38: 721-738.
- Steadman, R. G., (1971) - Indices of windchill of clothed person. *J. Appl. Meteorology*, 10: 674-683.
- Thom, E. C., (1959) - The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12: 57-60.
- Unger, J. (1999) - Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology*, 43: 139-144.
- VDI (1998) - *Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning*. – Part I: Climate. VDI guideline 3787. Beuth, Berlin.
- WMO (1996) *Climatological normals (CLINO) for the period 1961-1990*. WMO/OMM-No. 847, Geneva.



## CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS E UTILIZAÇÃO DO JARDIM BRAANCAMP FREIRE (CAMPO DOS MÁRTIRES DA PÁTRIA); RESULTADOS PRELIMINARES

Sandra Oliveira; Henrique Andrade; Maria João Alcoforado

**Resumo** - Os espaços verdes em meio urbano cumprem um papel fundamental na melhoria do ambiente, ao nível das condições microclimáticas, do conforto térmico e do comportamento hidrológico; contribuem também para o aumento da biodiversidade e têm diferentes benefícios sociais, económicos e culturais.

Na cidade de Lisboa, existem inúmeros espaços verdes de pequena dimensão e de características variáveis. Apesar da dimensão reduzida, estes espaços verdes têm efeitos positivos nas condições microclimáticas da área envolvente, para além de constituírem espaços de lazer privilegiados para uma parte da população citadina.

As características dos espaços verdes, como por exemplo, a estrutura e a existência de equipamentos, o tipo de vegetação e a acessibilidade, influenciam a utilização destas áreas.

No ano de 2007, no âmbito do projecto UrbKlim, foi efectuado um estudo no Jardim Braancamp Freire, no Campo dos Mártires da Pátria, sobre as características do espaço verde, as condições microclimáticas no seu interior e na área envolvente, em relação com as características e preferências dos frequentadores deste espaço. Foram feitas medições itinerantes de variáveis meteorológicas, em simultâneo com inquéritos aos utilizadores do jardim, no Inverno e no Verão. Constatou-se que a maioria dos utilizadores é reformado e a faixa etária predominante é a de mais de 65 anos. A distância a que utilizadores residem do jardim é um factor importante, tendo-se verificado que a maioria dos utilizadores fazem deslocações até 20 minutos de distância a pé da sua residência. Verificaram-se também diferenças nas opções dos utilizadores em relação aos locais preferidos no interior do jardim e aos dias de utilização, consoante a estação do ano em que se realizou o inquérito. No Verão, o número de utilizadores que prefere locais à sombra aumenta, assim como os que preferem utilizar o jardim durante a tarde e ao fim-de-semana.

Este estudo permitiu analisar as opções de utilização deste espaço verde pela população e as características tanto do jardim como dos utilizadores, as quais devem ser incluídas no processo de planeamento de espaços verdes em meios urbanos, de forma a melhorar as condições destes espaços.

## Abstract

Green spaces in urban areas play a major role on the improvement of the urban environment, in terms of the microclimatic conditions, thermal comfort and hydrological performance; they also contribute to increase the biodiversity and they promote several social, economic and cultural benefits.

In the city of Lisbon, there are many small green spaces, with varied characteristics. In spite of the small dimension, these green spaces have positive effects on the microclimatic conditions of the neighbouring area, besides the fact that they represent important leisure areas for a part of the urban dwellers.

The characteristics of the green spaces, such as their structure and the existence of equipments, the type of vegetation and the accessibility, influence the use of these areas.

During the year 2007, in the framework of the Urbklím project, a study was carried out in the Garden Braancamp Freire, a green area located in the Campo dos Mártires da Pátria, about the characteristics of this green space, the microclimatic conditions inside the garden and in the neighbouring area, in relation to the characteristics and preferences of the users of this green space. Measurements of meteorological parameters and interviews to the users were carried out simultaneously, in winter and in summer time. It was found that the majority of the users are already retired from their job and the dominant age group is the one above 65 years old. The distance to their residence is an important factor and it was found that most users walk up to 20 minutes from their houses to arrive at the garden. It was also found that there are differences in the choices of the users, in relation to the days they usually go to the garden and their preferred places inside this green space, depending on the season the interview was made. In summer, the number of people that prefer shaded places increases, as well as those who prefer to use the garden in the afternoon and on weekends.

This study allowed analysing the options of the population who use this green area and the characteristics of the garden and its users, which must be included in the planning process of green areas in the urban environment, in order to improve the conditions of these places.

## 1. Introdução

Os espaços verdes nas cidades desempenham um papel muito importante na melhoria do ambiente urbano e na mitigação de potenciais características climáticas negativas (Shimoda, 2003; Andrade e Vieira, 2005; Solecky *et al.*, 2005). Os espaços verdes ajudam a regular o clima urbano e a minimizar a ilha de calor, para além de contribuírem para a redução do ruído e da poluição (Oke, 1989; Georgi & Zafiriadis, 2006; Jauregui, 1990; Andrade e Vieira, 2005). A melhoria das condições microclimáticas como resultado da existência de espaços verdes promove a diminuição do consumo de água e de energia, para além de favorecer as condições de conforto aos utilizadores dos espaços verdes e das áreas envolventes.

A influência dos espaços verdes no ambiente urbano depende de diversos factores, tais como a dimensão, a hora do dia, a ocultação do céu no espaço verde e na área envolvente, das condições climáticas regionais, entre



outros (Upmanis *et al.*, 1998). Os efeitos térmicos dos espaços verdes de grande dimensão foram alvo de vários estudos (p. ex., Jauregui, 1990; Spronken-Smith e Oke, 1998; Eliasson e Upmanis, 2000) e têm sido também desenvolvidos estudos sobre a influência de espaços verdes de pequena dimensão (Alcoforado, 1996; Shashua-Bar and Hoffman, 2000; Andrade e Vieira, 2005), os quais permitiram verificar a influência destes espaços sobre diversos parâmetros climáticos (temperatura, humidade e radiação solar e infravermelha) e a sua contribuição positiva no conforto fisiológico dos seus frequentadores, embora com pouca expressão nos bairros limítrofes.

Neste estudo, pretende-se averiguar a percepção do espaço pelos seus frequentadores habituais, incluindo obviamente as condições microclimáticas.

Escolheu-se, como caso de estudo um espaço verde de pequena dimensão (o jardim Braancamp Freire, no Campo dos Mártires da Pátria), integrado na estrutura verde secundária da cidade (Telles, 1997).

Para tal, foram feitas medições itinerantes e inquéritos aos utilizadores do jardim, para além de medições fixas através de termohigrómetros colocados em varandas em redor dos jardins, em duas estações do ano diferenciadas (Inverno e Verão), e cujos resultados são aqui apresentados.

Este estudo insere-se na tarefa II do projecto, na qual se pretende estudar a percepção do conforto bioclimático em diferentes espaços públicos da cidade, no âmbito do projecto UrbKlim: “Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos” (POCI/GEO/61148/2004).

## **2. Localização e descrição geral**

O Jardim Braancamp Freire localiza-se no Campo dos Mártires da Pátria (popularmente conhecido como Campo de Santana), na área central de Lisboa, na freguesia de Pena e no concelho de Lisboa (fig. 1). Este espaço verde situa-se no interflúvio entre os vales da avenida da Liberdade, a oeste, e da Av. Almirante Reis, a este, ocupando 22.600 m<sup>2</sup> (Moreira, 1998). Estende-se de norte para sul, numa configuração irregular, sendo atravessado transversalmente pela Alameda dos Capuchos. Está rodeado de edifícios com alturas variáveis (entre 10 e 20 m), com funções residenciais, comerciais, sociais e educativas, de formas, cores e materiais variados (fig. 1). É um espaço que inclui diferentes tipos de equipamento (nomeadamente campos desportivos e um restaurante) e é utilizado por uma população diversificada.



0 Jardim Braancamp Freire, Campo dos Mártires da Pátria, Lisboa

Figura 1- Localização do Jardim Braancamp Freire e enquadramento na cidade de Lisboa.  
Fontes: Google Earth, 2006 e Câmara Municipal de Lisboa (lisboainteractiva.cm-lisboa.pt, site visitado em Fevereiro de 2007).

### 3. Metodologia

Foram realizadas sessões no jardim em 2 estações do ano de 2007: no Inverno (Fevereiro) e no Verão (Julho/Agosto).

#### 3.1. Colocação de registadores fixos

Para o estudo das condições climáticas locais, foram colocados termohigrómetros *Tinytag Extra TGX-3580* (da *Geminy data loggers*) dentro de um abrigo, em varandas localizadas no primeiro andar de prédios em redor do espaço verde, a uma altura aproximada de 3 metros e com exposição dos pontos cardeais. Foi também colocado um termohigrómetro na periferia do jardim, num poste de iluminação, sensivelmente à mesma altura (fig. 2).

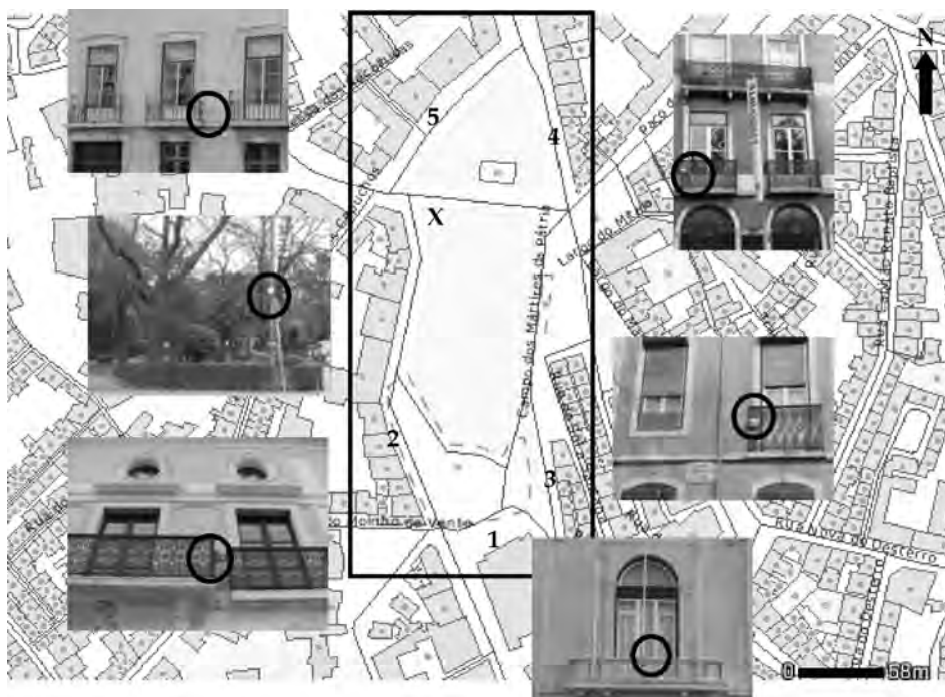


Figura 2 – Localização dos termohigrómetros colocados em redor do jardim e junto ao jardim

- |   |   |
|---|---|
| 1. Faculdade de Ciências Médicas<br>Campo Mártires da Pátria, 130 | 4. Associação Maumaus<br>Campo Mártires da Pátria, 100                    |
| 2. Goethe Institut<br>Campo Mártires da Pátria, 124               | 5. Associação Protectora Florinhas da Rua<br>Campo Mártires da Pátria, 67 |
| 3. Maria Manuela T. S. Brazette<br>Campo Mártires da Pátria, 37   | X - Poste junto ao jardim   |

### 3.2 Inquéritos aos utilizadores do jardim

Os inquéritos foram realizados a utilizadores do Jardim, em 2 dias de Inverno (5 e 14 de Fevereiro de 2007), entre as 14h e as 18h; não foi possível realizar os inquéritos em dias consecutivos devido às condições meteorológicas. No Verão, os inquéritos foram realizados em 2 dias consecutivos (30 e 31 de Julho de 2007), no mesmo período da tarde. Em simultâneo com os inquéritos, e junto ao local onde estes eram feitos, foram realizadas medições itinerantes de temperatura, humidade relativa e velocidade do vento, a cerca de 1,5 m do solo, utilizando um aparelho Testo 454 e sensores da Testo: a temperatura foi medida com um termóstato NTC com uma precisão de 0.2°C e a velocidade do vento foi medida com um anemómetro térmico de bolbo quente, com uma precisão de 0.3m/s a 22°C e um tempo de resposta de 4 segundos.

A radiação solar e a radiação de grande comprimento de onda foram medidas com um piranómetro CM21 Kipp & Zonen e um pirgeómetro CGI Kipp & Zonen, respectivamente. As medições foram efectuadas com cerca de 30 minutos de intervalo, utilizando o procedimento descrito em Jendritzky e Nübler (1981) e VDI (1998): o piranómetro e o pirgeómetro foram colocados num tripé rotativo e portátil; Foram feitas quatro observações na direcção dos pontos cardeais, rodando os aparelhos no seu eixo vertical, e mais duas observações na direcção do céu e do solo, rodando os aparelhos no eixo horizontal. Estas

medições permitem o cálculo da temperatura radiativa média, que pode ser considerada como uma síntese de todos os fluxos radiativos.

Para além disso, foram tiradas fotografias do interior do espaço verde para analisar a evolução no número e tipo de utilizadores ao longo das sessões de trabalho e observar comportamentos indicativos de adaptação climática.


Os inquéritos foram feitos a pessoas com mais de 18 anos, sentadas nos bancos do jardim ou a caminhar pelo jardim, seleccionadas aleatoriamente.

O inquérito (anexo 1) era composto por questões relacionadas com as características pessoais dos indivíduos (questões 1 a 13 e 19.1 a 19.2), com a percepção do conforto climático (questões 19.3 e 20) e as restantes questões estavam relacionadas com a utilização do jardim (14 a 18 e 21 a 22). Em relação ao inquérito utilizado no Inverno (apresentado no anexo 1), o de Verão apresenta ligeiras diferenças na classificação da percepção dos parâmetros meteorológicos na questão nº 20, tendo em consideração as diferenças sazonais do clima, e na questão nº 5 relacionada com o vestuário.

## 4. Características do Jardim Braancamp Freire

### 4.1. Espécies vegetais

As espécies arbóreas predominam no jardim, especialmente as árvores perenifólias (76%). Apresenta-se seguidamente uma lista das principais espécies de árvores e arbustos existentes:

- |                                   |   |                                |                          |
|-----------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|
| - <i>Acer negundo</i>             |   | - <i>Metrosiderus excelsea</i> |                          |
| - <i>Acer opalum</i>              |   | - <i>Nerium Oleander</i>       |                          |
| - <i>Araucaria heterophylla</i>   |  | - <i>Phytolacca dioica</i>     |                          |
| - <i>Casuarina cunninghamiana</i> |   | - <i>Picea pungens</i>         |                          |
| - <i>Chorisea speciosa</i>        |   | - <i>Pinus pinea</i>           |                          |
| - <i>Cedrus deodara</i>           |   | - <i>Populus alba</i>          |                          |
| - <i>Ficus benjamina</i>          |   | - <i>Sophora japonica</i>      |                          |
| - <i>Gingko biloba</i>            |   | - <i>Taxodium distichum</i>    |                          |
| - <i>Grevillea robusta</i>        |   | - <i>Taxus baccata</i>         |                          |
| - <i>Howea forsteriana</i>        |   | - <i>Tília plathyphyllos</i>   |                          |
| - <i>Magnólia grandifolia</i>     |   | - <i>Tília tormentosa</i>      |                          |
| - <i>Acer negundo</i>             |   | - <i>Metrosiderus excelsea</i> |                          |
| - <i>Acer opalum</i>              |   |                                | - <i>Nerium Oleander</i> |

(para uma listagem completa do elenco florístico do jardim, consultar Moreira ; 1998).

A espécie arbórea mais frequente é a *Sophora japónica* (*Acácia do Japão*), com 20 exemplares. A predominância de espécies perenifólias confere ao jardim uma taxa de cobertura vegetal elevada, que varia entre 60% no Inverno e 80% no Verão. As árvores encontram-se dispersas pelos canteiros e relvados do jardim, e apresentam copas desenvolvidas, em maior grau se

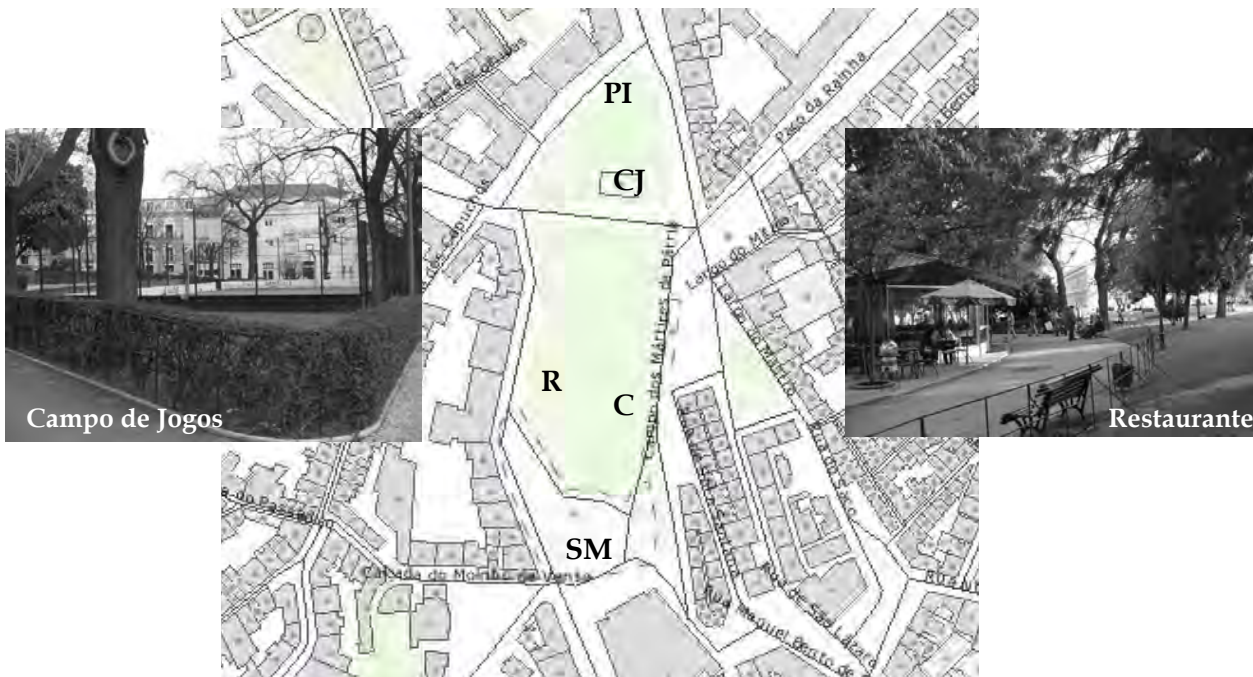
estiverem isoladas. Algumas destas árvores são centenárias e/ou de interesse público, como os *Metrosiderus excelsea*, *Ficus benjamina* e *Cedrus deodar*.

## 4.2. Equipamentos

O jardim possui equipamentos ajustados a diferentes actividades (fig. 3). No lado norte, separado do restante pela Alameda dos Capuchos, há um campo de jogos e um parque infantil. A oeste do jardim há um restaurante e esplanada e a casa de apoio aos jardineiros localiza-se no lado oriental do jardim.

Dispersos por todo o espaço verde encontram-se bancos, orientados para diferentes direcções. Existem também vários bebedouros e receptáculos de lixo.

Em termos de estatuária, existe um busto do índio *Garcilaso de la Vega*, a noroeste do jardim, e uma placa comemorativa em memória do General Gomes Freire e seus partidários. A sul, em frente à Faculdade de Ciências Médicas, há uma pequena praça onde a estátua do Dr. Sousa Martins, conhecido essencialmente pelos seus feitos espirituais, se assume como figura central. A estátua está rodeada de placas de agradecimento esculpidas em mármore. Ao redor da praça localizam-se vários bancos (figs. 4 a 7).



- PI – Parque infantil
- CR – Campo de jogos
- R – Restaurante
- C – Casa de apoio aos jardineiros
- SM – Estátua do Dr. Sousa Martins

Figura 4 – Localização dos equipamentos no Jardim Braancamp Freire

Fonte: Câmara Municipal de Lisboa (lisboainteractiva.cm-lisboa.pt, site visitado em Fevereiro de 2007, escala aproximada 1/58 m).





Figura 5 – Vista do jardim a partir de norte (a) e de sul (b)



Figura 6 – Vista do jardim a partir de este (a) e de oeste (b), com o lago como fundo

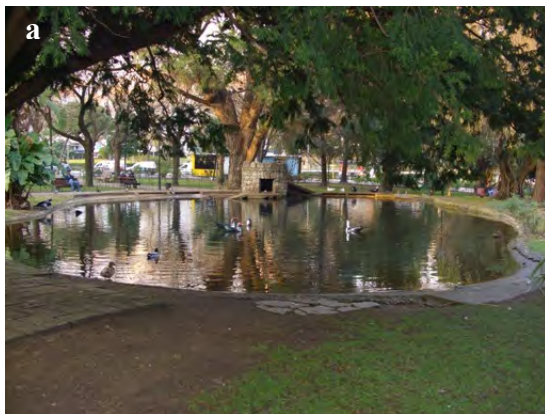


Figura 7 – Vista do lago e dos animais que habitam no jardim

### **4.3. Critérios de conforto humano**

#### **4.3.1. Acessibilidade e ligações**

O local é acessível por diversos meios de transporte (a pé, autocarro, viatura particular ou táxi). Existem lugares de estacionamento demarcados em torno do jardim e um parque de estacionamento subterrâneo (fig. 8). O jardim é visível a uma certa distância, a partir das ruas transversais; o seu interior é visível a partir de fora, porque as árvores perenifólias que o delimitam estão dispersas no espaço.

Há uma boa ligação entre o jardim e as ruas adjacentes; não há paredes cegas, todas as ruas estão ocupadas com residências e estabelecimentos comerciais, estes últimos geralmente no rés-do-chão dos edifícios. Existem também outros tipos de serviços, nomeadamente associações de carácter social e a Faculdade de Ciências Médicas.

#### **4.3.2. Conforto, Imagem e mobiliário urbano**

O espaço cria uma primeira impressão agradável, com a ressalva de se observar alguma sujidade causada pelos pombos. Há bancos de madeira castanha, com estrutura em metal de cor cinzenta, em todo o espaço verde, virados para as diferentes direcções, para o interior e exterior do Jardim, à sombra e ao sol. Existem inúmeros receptáculos de lixo em todo o espaço estudado, de cores discretas mas perfeitamente visíveis. Há também vários pontos de água (bebedouros) (figura 8), mas não existem casas-de-banho disponíveis ao público.

O jardim possui alguns equipamentos que permitem a realização de actividades diversas. Tem apenas 2 conjuntos de mesas e cadeiras (), localizadas num canto relativamente escondido (fig. 9), dois lagos, um campo de jogos e um parque infantil. Em redor do Jardim, há alguns restaurantes e cafés.

Vários jardineiros, empregados da Junta de Freguesia da Pena (responsável pela manutenção), tratam do jardim, a horas variáveis. Durante o dia, não se verificam casos de insegurança. Durante a noite, não foi possível verificar, mas a insegurança nocturna é uma das queixas feitas pelos inquiridos.

#### **4.3.3. Usos e Actividades Desenvolvidas e sociabilidade**

O espaço é utilizado por pessoas de diferentes faixas etárias, mas predomina o grupo dos idosos. No entanto, vêem-se também, em menor número, crianças com seus pais ou amas, pessoas em idade activa e empregadas que passam o seu tempo de descanso no espaço verde, normalmente à hora de almoço.

Há um certo ambiente familiar no jardim. Os utilizadores frequentes conhecem-se e cumprimentam-se. É um local de encontro entre amigos, de conversas animadas enquanto descansam sentadas num banco. Vêem-se casais (marido e mulher) e grupos de amigos, principalmente. Há igualmente homens e mulheres sozinhos nos bancos ou a passear pelo jardim. Não se encontraram turistas no período de estudo, apenas utilizadores frequentes ou pessoas de passagem para outro lugar.



Figura 8 – Entrada de peões para o parque de estacionamento subterrâneo. Junto à entrada existe um bebedouro

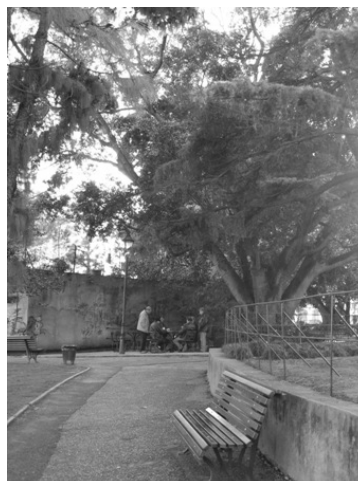


Figura 9 – Uma das mesas existentes no jardim, onde alguns homens jogam cartas

## 5. Resultados

### 5.1. Condições climáticas locais

#### 5.1.1 – Inverno

Os aparelhos *Tinytag* foram colocados no dia 2 de Fevereiro de 2007 e retirados no dia 21 de Fevereiro de 2007. As condições de tempo durante este período não foram as ideais para a realização de estudos de clima urbano, uma vez que ocorreram frequentemente situações perturbadas (chuva, vento forte e céu muito nublado). A temperatura máxima média foi de 15.8°C e a temperatura mínima média foi de 10°C. A precipitação chegou aos 95.1 mm (Informação Climática de Fevereiro 2007, Relatório do Instituto de Meteorologia, em [http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim\\_rc\\_02\\_07.pdf](http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim_rc_02_07.pdf)). Os resultados que se apresentam de seguida reflectem estas condições.

Não se registaram diferenças significativas nos valores de temperatura e humidade relativa nos vários aparelhos colocados em redor do jardim (fig.10); no entanto, o aparelho X apresentou valores mais baixos de temperatura máxima, cerca de 4°C em relação aos locais 3, 4 e 5, seguido do aparelho do local 1, com uma diferença de 2°C em relação aos mesmos aparelhos. Os valores apresentados correspondem a médias dos 20 dias (de 2 a 21 de Fevereiro) em que os instrumentos estiveram colocados.

Em relação à humidade relativa, verificaram-se algumas dificuldades no registo de dados, uma vez que os aparelhos utilizados, quando atingem a saturação), voltam seguidamente ao valor de zero, o que impossibilita a obtenção de médias fiáveis. Foi feita uma correcção aos dados, retirando os dados referentes às situações mencionadas. Os locais 2 e X apresentam médias de humidade relativa mais elevadas e os locais 3 e 5 os valores mais baixos. A humidade relativa atingiu os 100% em todos os locais por diversas vezes; a mínima mais baixa foi registada no local 2 e a mais elevada, no local X (jardim) (fig. 11).



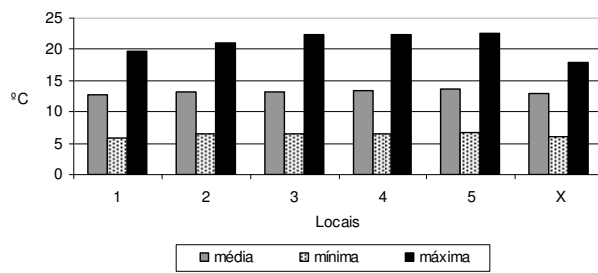


Figura 10 – Temperatura média, mínima e máxima nos vários locais em redor do jardim

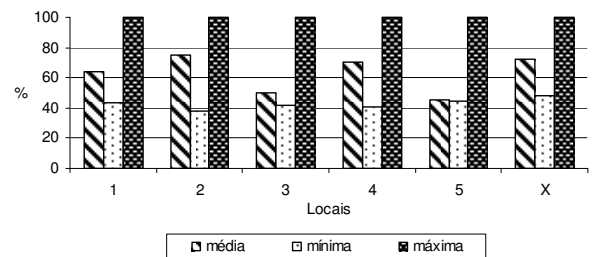


Figura 11 – Humidade relativa média, mínima e máxima nos vários locais em redor do jardim.

### 5.1.2 – Verão

Os aparelhos *Tinytag* foram colocados no dia 26 de Julho, com excepção do aparelho do local X (jardim), que por questões logísticas só foi colocado no dia 29 de Julho e foram retirados no dia 20 de Setembro de 2007.

As condições de tempo em Agosto caracterizaram-se, no geral, por temperaturas máximas ligeiramente mais baixas e temperaturas mínimas ligeiramente mais elevadas do que a média (6 dias com temperaturas mínimas acima de 20°C, em relação à média 1961-90 de 3,2 dias). A temperatura máxima variou entre 23.4 e 36.1°C (média de 28.3°C) e a mínima variou entre 15.4 e 21.6°C (média de 17.7°C). A precipitação do mês foi de 3 mm, ocorrendo um máximo diário de 2 mm no dia 26 de Agosto (Informação Climática de Agosto 2007, Relatório do Instituto de Meteorologia, em [http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim\\_rc\\_08\\_07.pdf](http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim_rc_08_07.pdf)). O mês de Setembro foi, no geral, mais quente que o normal, tendo-se inclusive verificado uma onda de calor que durou 6 dias nalgumas regiões do País, incluindo na Região do Vale do Tejo. Entre os dias 6 e 22, verificaram-se períodos com muita nebulosidade, chuva e aguaceiros pontualmente fortes, por vezes acompanhados de trovoadas, nas regiões do Centro e do Sul, incluindo Lisboa. Na estação de Lisboa Gago Coutinho, os valores de temperatura máxima variaram entre os 21.1 e os 34.1°C (média de 27.4°C) e os valores de temperatura mínima entre os 14.6 e os 22.1°C (média de 17.8°C). A precipitação acumulada foi elevada (40 mm) mas ocorreu na sua maior parte nos últimos dias do mês, já depois dos registos no Campo Mártires da Pátria (Informação Climática de Setembro 2007, Relatório do Instituto de Meteorologia, em [http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim\\_rc\\_09\\_07.pdf](http://www.meteo.pt/resources/im/pdfs/clim_rc_09_07.pdf)).

Em relação à temperatura, verificou-se que o local X apresentou valores médios e máximos mais baixos que os restantes locais. Os locais 4 e 5 apresentaram as temperaturas máximas mais elevadas, com 44.2°C e 42.4 °C, respectivamente. A diferença nos valores da temperatura máxima entre o local mais fresco (X) e o local mais quente (4) foi de 8°C (fig. 12). Os valores apresentados correspondem a médias dos 57 dias (de 26 de Julho a 20 de Setembro) em que os aparelhos estiveram colocados.

Em relação à humidade relativa, todos os aparelhos registaram um máximo entre 98% e 100%, durante a noite e/ou madrugada. O local X apresentou a média mais elevada em relação aos restantes locais.

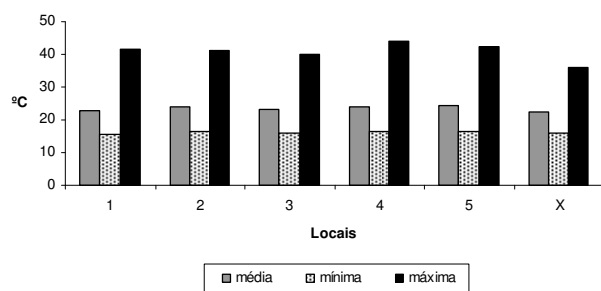


Figura 12 – Temperatura média, mínima e máxima nos vários locais em redor do jardim

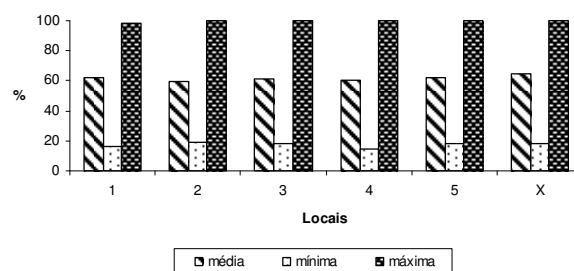


Figura 13 – Humidade relativa média, mínima e máxima nos vários locais em redor do jardim

## 5.2. Condições meteorológicas nos dias das entrevistas (temperatura)

### 5.2.1 – Inverno

Em relação aos dias das medições itinerantes e das entrevistas de Inverno, dias 5 e 14 de Fevereiro, respectivamente, verificou-se que nos locais 1 e X a temperatura mantiveram-se mais baixa que nos restantes locais, especialmente entre as 11h e as 16h. No dia 14 de Fevereiro registou-se uma variação maior entre os diversos locais, a qual é mais visível entre as 9h e as 17h; nas restantes horas, a tendência é semelhante em todos os locais.

### 5.2.2 – Verão

Em relação aos dias das medições itinerantes e das entrevistas de Verão, dias 30 e 31 de Julho, verificou-se que o dia 30 apresentou temperaturas mais elevadas do que no dia 31. O local X foi o mais fresco, principalmente entre as 10h e as 15h, enquanto os locais 2 e 5 apresentaram as temperaturas mais elevadas, acima de 40°C.

No dia 31, as temperaturas foram mais baixas, não chegando a atingir 35°C. Entre a meia-noite e as 7h, os vários locais apresentaram registos semelhantes; a partir dessa hora, a temperatura dos locais 2 e 5 foi mais elevada que nos restantes, até às 16h. O local 4 apresentou valores mais elevados que os restantes locais entre as 16h e as 22h.

## 5.3. Sessões de trabalho (inquéritos)

Durante as sessões de trabalho, foram realizadas medições itinerantes de temperatura, humidade relativa e velocidade do vento, conforme explicado no ponto 2 deste relatório. Estas medições itinerantes foram realizadas próximo dos locais onde as pessoas respondiam aos inquéritos, de forma a obter uma leitura o mais precisa possível do ambiente microclimático em que os inquiridos se encontravam. Os dados foram registados à sombra e ao sol, consoante a exposição dos inquiridos no momento, embora predominando a sombra. Note-se que as variações observadas ao longo do período de registo podem dever-se tanto à natural variabilidade temporal dos elementos climáticos (visível

sobretudo na velocidade do vento), como à mudança o local onde os registos ocorreram, uma vez que o aparelho era colocado relativamente próximo dos inquiridos que se encontravam dispersos pelo espaço estudado.

### 5.3.1- Inverno

A sessão de trabalho de 5 Fevereiro decorreu entre as 14h40 e as 17h, e a sessão de 14 de Fevereiro prolongou-se entre as 14h40 e as 17h30. O dia 14 Fevereiro foi mais quente do que dia 5 Fevereiro, ao longo de toda a sessão de trabalho, variando a temperatura entre os 26°C e os 18°C, com tendência para diminuir progressivamente. Entre as 15h40 e as 15h55 verificou-se um aumento de temperatura da ordem dos 3°C, o que pode ser reflexo da exposição do aparelho ao sol durante esse período para acompanhar a exposição solar dos inquiridos.

No dia 5 de Fevereiro, a temperatura variou entre 18°C e 15°C, com ligeiras variações ao longo da sessão de trabalho (fig. 14).

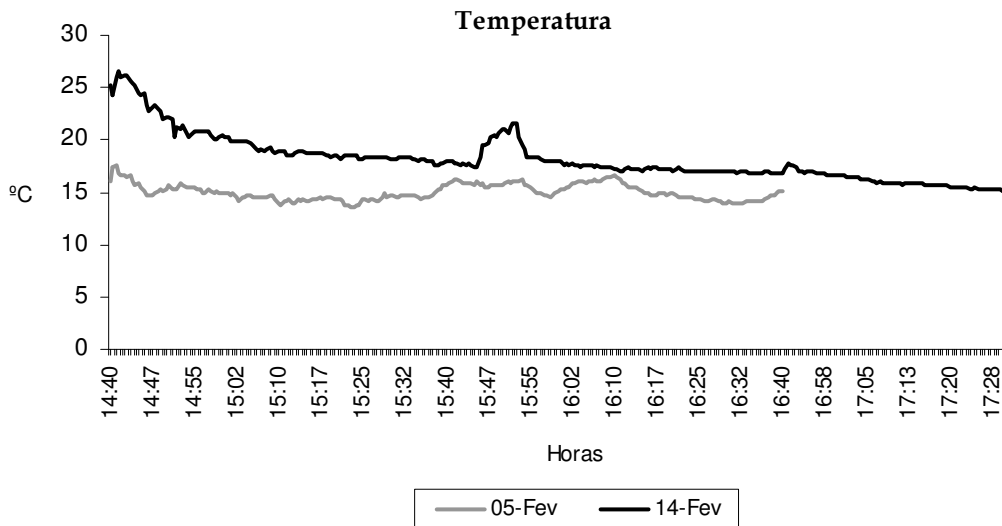


Figura 14- Variação da temperatura ao longo das sessões de trabalho nos dias 5 e 14 de Fevereiro

A humidade relativa apresentou valores mais elevados no dia 5 de Fevereiro em relação ao dia 14 de Fevereiro, com tendência para aumentar ao longo do tempo, embora ligeiramente, em ambos os dias. A humidade relativa variou entre 48 e 68% no dia 5 de Fevereiro e entre os 34 e os 64% no dia 14 de Fevereiro (fig. 15).

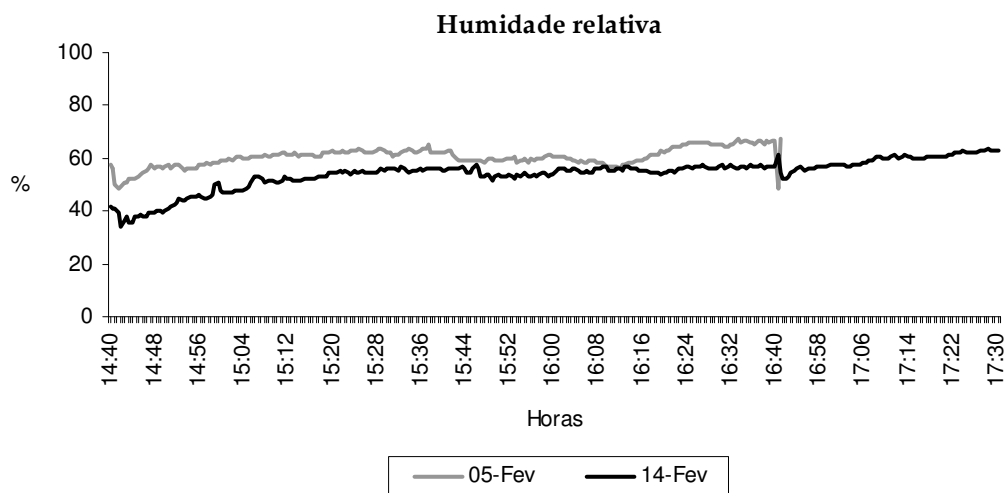


Figura 15 - Variação da humidade relativa ao longo das sessões de trabalho nos dias 5 e 14 de Fevereiro

A velocidade do vento variou de forma acentuada; no dia 5 de Fevereiro, oscilou entre 0.01 m/s (praticamente sem vento) e 4.12 m/s, enquanto que no dia 14 de Fevereiro variou entre os 0.06m/s e os 5.26 m/s, com as velocidades mais elevadas logo nos primeiros minutos; repetiu-se um aumento significativo da velocidade do vento por volta das 16h40m, diminuindo logo de seguida (fig. 16).

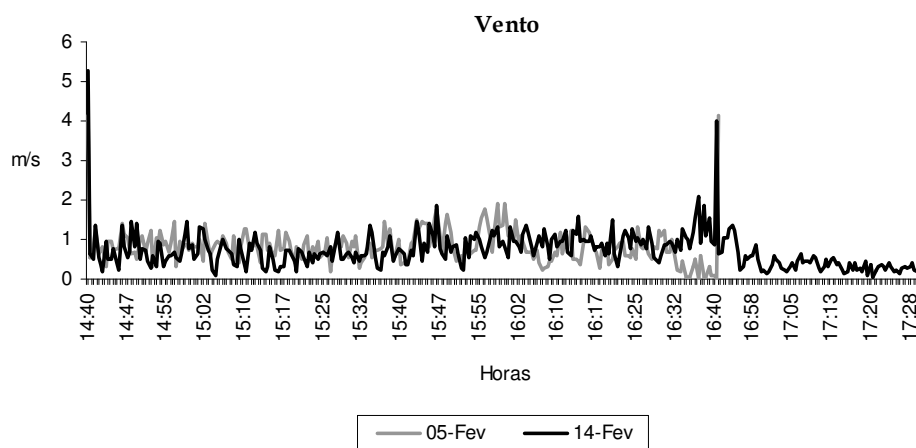


Figura 16 - Variação da velocidade do vento ao longo das sessões de trabalho nos dias 5 e 14 de Fevereiro

### 5.3.2- Verão

A sessão de trabalho de 30 de Julho decorreu entre as 14h55 e as 16h55, e a de 31 de Julho entre as 14h47 e as 16h47. No dia 30 de Julho, a temperatura foi mais elevada do que no dia seguinte, ao longo de toda a sessão de trabalho, variando entre os 35°C e os 39,2°C, enquanto no dia 31 a temperatura variou entre os 26.1°C e os 28.3°C. Em ambos os dias, a temperatura manteve-se relativamente constante durante o período de trabalho, o que significa que não houve diferenças térmicas significativas de

temperatura no interior do jardim, com excepção do dia 30, por volta das 16h41m, que apresenta um ligeiro aumento (fig. 17).

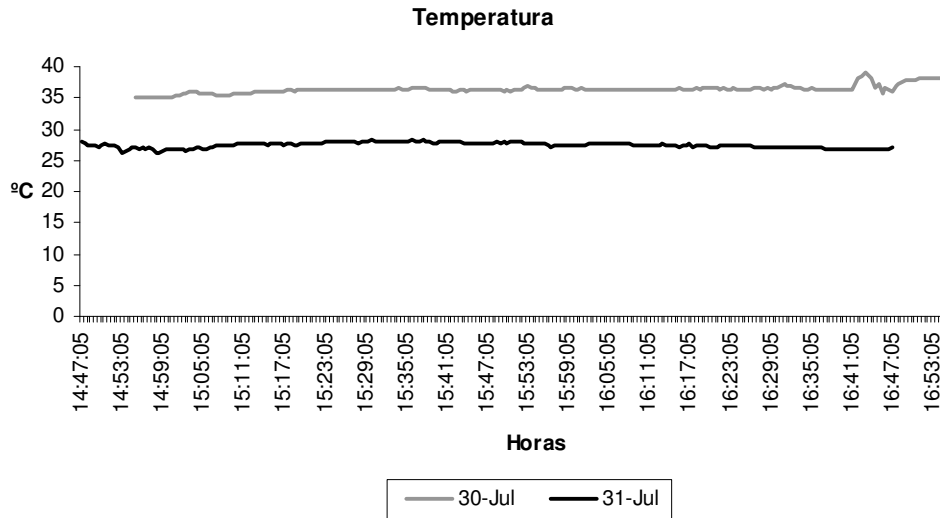


Figura 17- Variação da temperatura ao longo das sessões de trabalho nos dias 30 e 31 de Julho

A humidade relativa apresentou valores mais elevados no dia 31 de Julho (sempre acima dos 50%) em relação ao anterior; neste último caso manteve-se praticamente durante toda a sessão abaixo dos 30% (fig. 18).

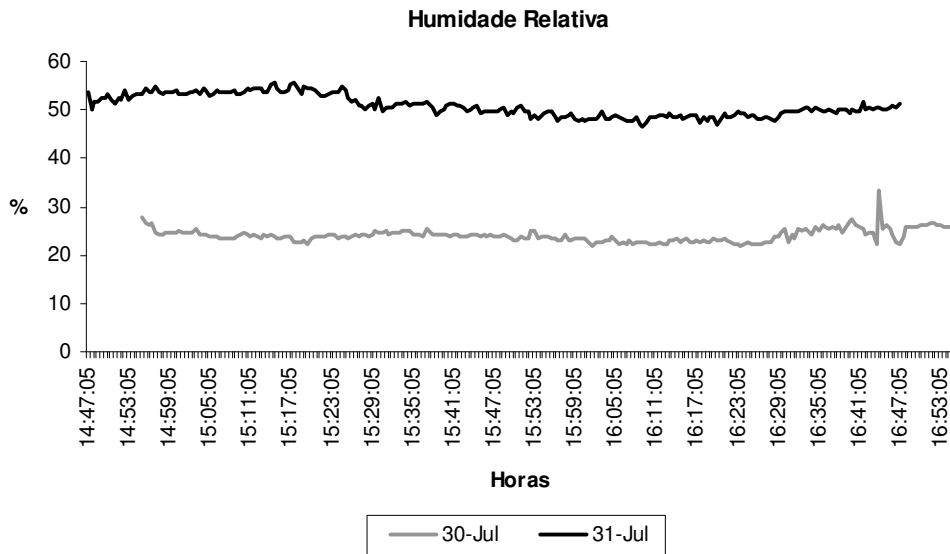


Figura 18 - Variação da humidade relativa ao longo das sessões de trabalho nos dias 30 e 31 de Julho

Verifica-se uma variação acentuada da velocidade do vento ao longo das sessões de trabalho; no dia 30 de Julho, a velocidade do vento variou entre os 0.14 m/s (praticamente sem vento) e os 4.14 m/s no dia seguinte entre os 0.25 m/s e os 6.99 m/s, com as velocidades mais elevadas (logo nos primeiros minutos), diminuindo logo de seguida (fig. 19).

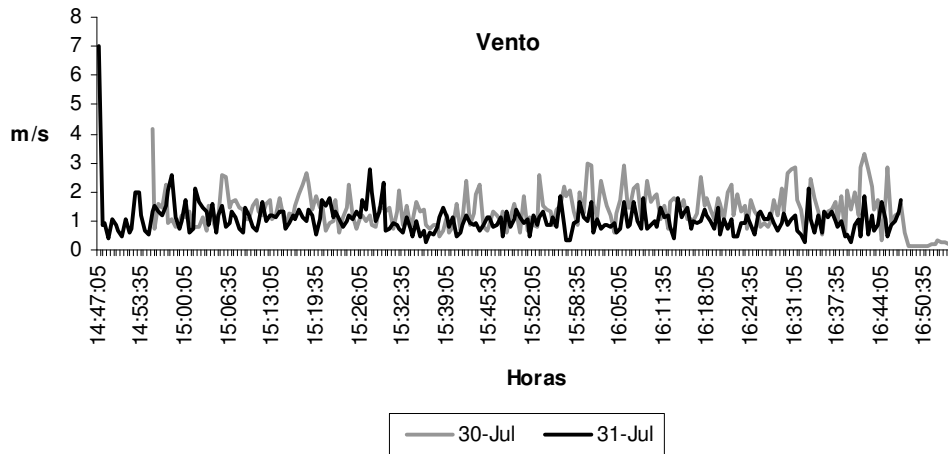


Figura 19 - Variação velocidade do vento ao longo das sessões de trabalho nos dias 30 e 31 de Julho

## 6. Caracterização dos inquiridos

### 6.1- Sexo e idade

#### *No Inverno*

No total de 41 inquiridos, 65.8% foram homens e 34.2% mulheres. A média de idades foi de 62 anos, variando entre 22 e 89 anos. O grupo etário predominante foi o de +65 anos, com 63% do total de inquiridos. O grupo etário dos 25-34 anos representou apenas 2.4% do total e o grupo etário dos 17-24 apenas 4.9% (fig. 20). Notam-se algumas diferenças em relação ao sexo dos inquiridos, sendo o sexo masculino predominante em todos os grupos etários, com excepção do grupo etário dos 17-24.

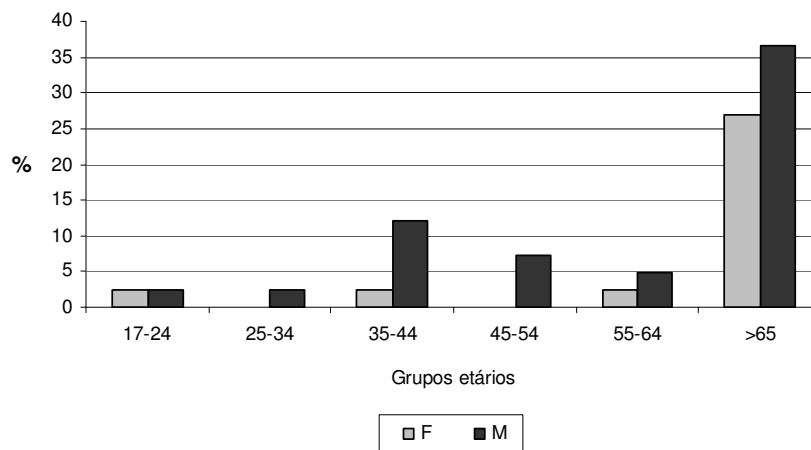


Figura 20 - Percentagem de inquiridos nos diferentes grupos etários

#### *No Verão*

No total de 43 inquiridos, 62.8% são homens e 37.2% mulheres. A média de idades foi de 59 anos, com a idade mais baixa 26 anos e a mais elevada 82 anos. Tal como no Inverno, o grupo etário de +65 anos (49% do total de inquiridos), seguido do grupo etário dos 55-64 anos, com 21%. Os

grupos etários dos 25-34 anos e dos 45-54 anos representam cada um 9% do total e o grupo etário dos 17-24 não tem representação (fig. 21). O sexo masculino foi mais frequente em todos os grupos etários, com exceção dos 45-54 que teve o mesmo número de inquiridos de ambos os sexos.

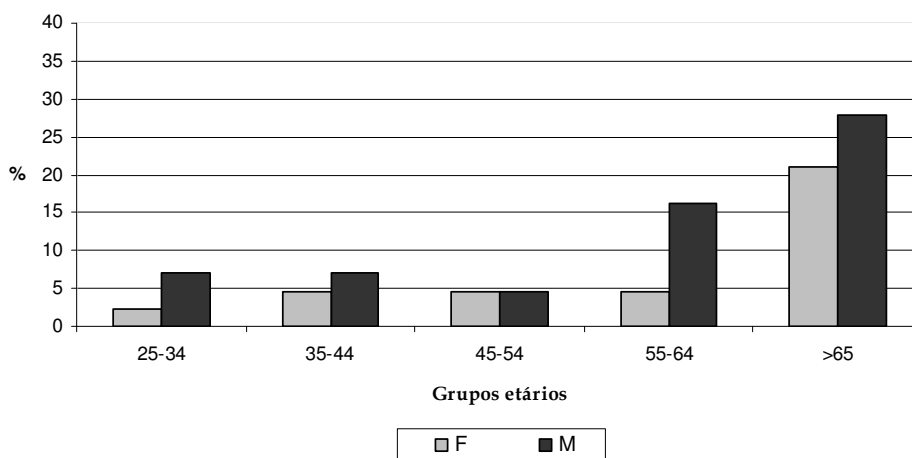


Fig. 21 - Percentagem de inquiridos nos diferentes grupos etários

## 6.2. Naturalidade e residência

Relativamente ao local onde nasceram, 85% dos inquiridos no Inverno e 77% no Verão são portugueses, 9,7% no Inverno e 18,6 % no Verão são originários dos PALOP e do Brasil. Os restantes 4,6% nasceram noutros países, nomeadamente Espanha, Japão, Paquistão e Índia.

Cerca de 83% dos inquiridos no Inverno e 65 % no Verão residiam no concelho de Lisboa, 12% no Inverno (30 % no Verão) em concelhos da Área Metropolitana de Lisboa (AML) e apenas 4.8% vivem noutros concelhos (figuras 22a e 22b).

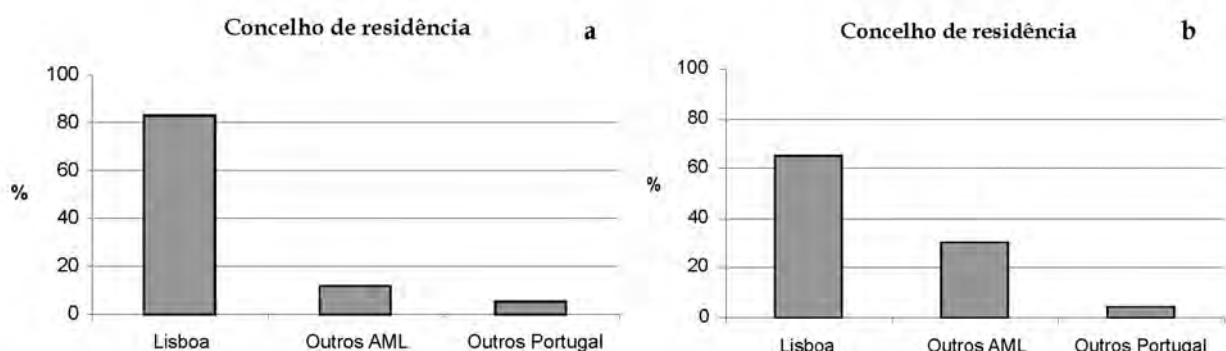


Figura 22 - Percentagem de inquiridos por concelho de residência, no Inverno (a) e no Verão (b)

## 6.3. Profissão e escolaridade

No Inverno, cerca de 66% dos inquiridos eram reformados e no Verão cerca de 37%. Dos indivíduos inquiridos, 58,6% estavam acompanhados e

41.4% sozinhos. Havia uma maior percentagem de mulheres acompanhadas (64.2%) do que homens (55.6%). No Verão, 76.7% dos indivíduos inquiridos estavam sozinhos e 23.3% acompanhados. No Inverno, 52% dos inquiridos tinham até à escolaridade primária e no Verão eram 44%.

#### 6.4. Razões para frequentar o jardim

As principais razões apontadas para a ida ao jardim em ambas as estações do ano foram o descanso, o encontro com amigos, apanhar ar e distrair-se. No Verão, foi também mencionado o jardim como ponto de passagem.

Em ambas as estações do ano, 32% dos inquiridos disseram frequentar o espaço verde uma vez por dia. No Inverno, 17% disseram frequentar o jardim mais do que uma vez por dia, enquanto que no Verão foram 12% dos inquiridos. Os que frequentam o espaço estudado 2 ou 3 vezes por semana corresponderam a 17% (Inverno) e a 19% (Verão) (fig. 23 a e b).

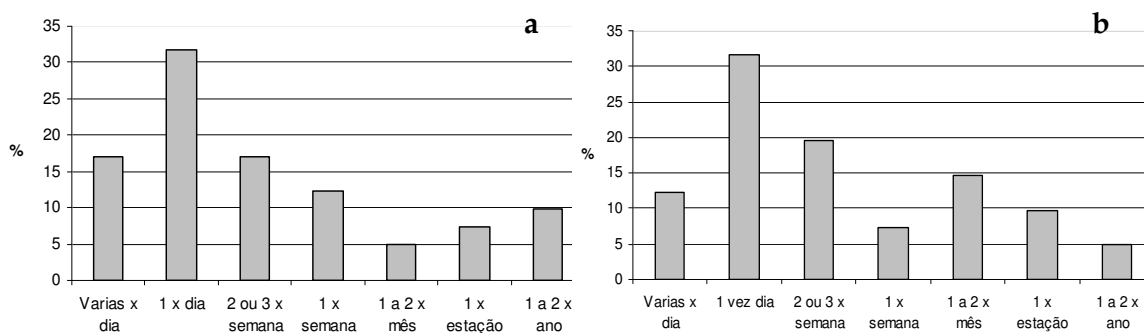


Figura 23 - Frequência de utilização do jardim pelos inquiridos, no Inverno (a) e no Verão (b)

#### 6.5. Distância à residência

No Inverno, verificou-se que a maioria dos indivíduos (63.4%) vivia até 20 minutos de distância a pé do jardim. Dentro destes, 12.2% residiam até 5 minutos de distância a pé e 34.1% até 10 minutos de distância. Os indivíduos que utilizavam o carro ou transportes públicos (autocarro) para chegar ao jardim corresponderam a cerca de 34% do total de inquiridos.

No Verão, cerca de 48.8% dos indivíduos vivia até 20 minutos de distância a pé da sua residência. Dentro destes, 11.6% residiam até 5 minutos de distância a pé e 30.2% até 10 minutos de distância. Os indivíduos que utilizavam o carro ou transportes públicos (autocarro) para chegar ao jardim corresponderam a cerca de 47% do total.

#### 6.6. Preferências de utilização no tempo

No Inverno, cerca de 34% dos inquiridos disseram preferir utilizar o jardim na Primavera, 11% no Verão, 16% na Primavera e no Verão e 17% referem todas as estações (sem preferência). No Verão, a maioria dos inquiridos referiu preferir utilizar o espaço verde no Verão (53%); 26% referem todas as estações (fig. 24, a e b).



Em relação à preferência por dia da semana, 43% referiram não ter preferência por qualquer dia da semana, tanto no Inverno como no Verão. Os que referiram que utilizam o jardim apenas em dias úteis corresponderam a 41% no Inverno e a 29% no Verão. Apenas 6% dos inquiridos preferiam o fim-de-semana no Inverno e a 14% no Verão. No Inverno, 8% dos inquiridos referiram que depende da sua disponibilidade e do estado do tempo, enquanto que no Verão 14% disseram não ter preferência (fig. 25, a e b).

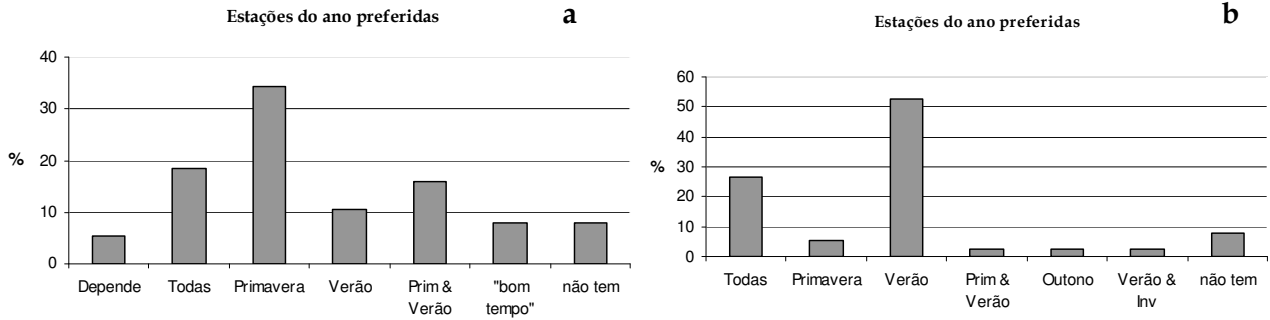


Figura 24 - Preferência de utilização do jardim por estação do ano, segundo os inquiridos no Inverno (a) e no Verão (b)

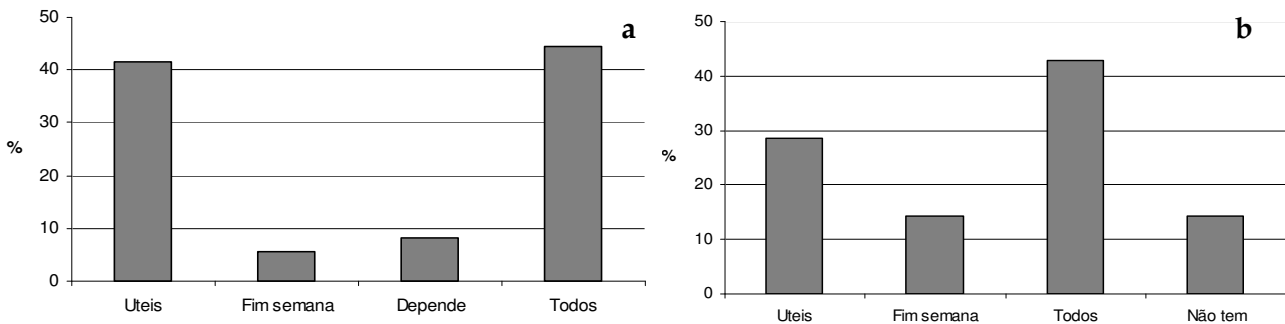


Figura 25 - Preferência de utilização do jardim por dia da semana, de acordo com os inquiridos no Inverno (a) e no Verão (b)

Relativamente à preferência por horas do dia, 55% dos inquiridos no Inverno responderam preferir a tarde e 11% de manhã, 19% referiram utilizar o jardim tanto de manhã como de tarde. No Verão, 69% responderam preferir a tarde e 5% de manhã, enquanto 18% são frequentadores tanto de manhã como de tarde. Nesta questão, notou-se uma certa confusão entre a preferência e a possibilidade ou hábito de utilização do espaço verde (fig. 26, a e b).

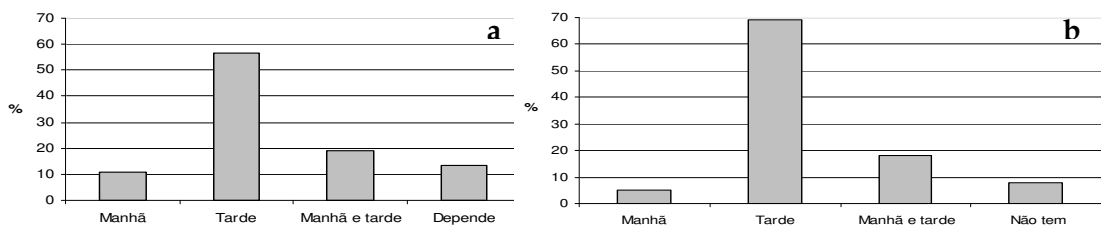


Figura 26 - Preferência de utilização do jardim por hora do dia, segundo os inquiridos no Inverno (a) e no Verão (b)

## 6.7. Preferências de utilização no espaço

Em relação aos locais dentro do jardim que mais agradam aos inquiridos, verificou-se uma diferenciação das opções de locais consoante a estação do ano; 42% dos inquiridos no Inverno declararam preferir os bancos à sombra, porque “não gosta do sol” e “o sol faz mal”, enquanto nos inquiridos de Verão foram 57%. Foram referidos locais específicos à sombra (ex: junto à esplanada) porque “é mais sossegado” e porque “é local de encontro”. 16% dos inquiridos no Inverno e 4% no Verão referiram o Largo da Estátua do Dr. Sousa Martins, por causa da “espiritualidade”, por gostar da estátua e porque tem mais sol do que dentro do jardim. No Inverno, 8% de inquiridos e no Verão 27% referiram o lago porque “tem uma vista bonita” e por causa dos animais que habitam as suas margens (fig. 27).

Alguns indivíduos fizeram distinção entre estações do ano (à sombra no Verão e ao sol no Inverno). O hábito é também uma razão que justifica a preferência (foi observado que as pessoas tendem a sentar-se quase sempre no mesmo local).

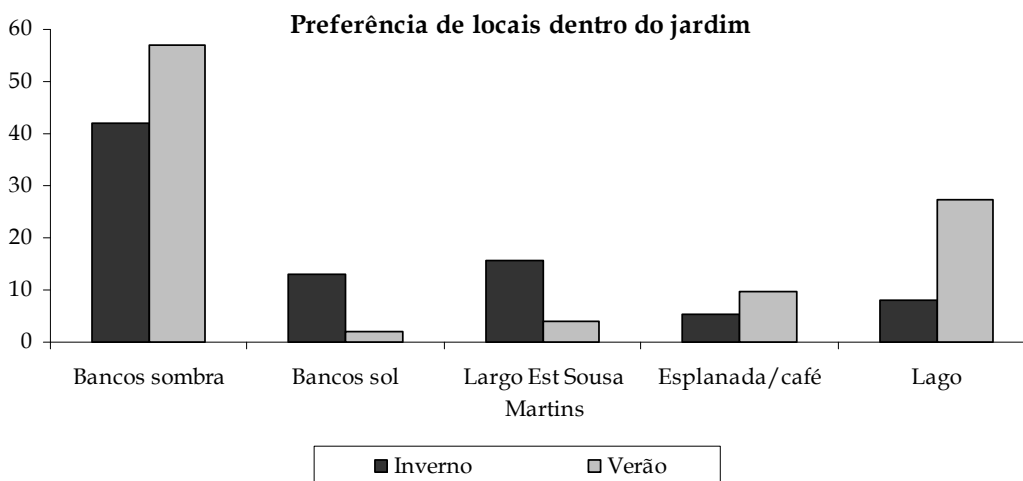


Fig. 27 - Locais dentro do jardim que mais agradam aos inquiridos

## 6.8. Estados de tempo

Em relação aos estados de tempo *versus* utilização do Jardim, 50% dos inquiridos no Inverno e 21% no Verão disse utilizar o jardim em todas as situações excepto quando chove. Nos inquiridos de Inverno, 32% disseram utilizar apenas quando está “ameno” e 12% quando está ameno ou calor, enquanto no Verão foram 39% os que disseram utilizar quando está “ameno” ou “calor”. Utilizam o espaço verde em qualquer situação 18% dos inquiridos no Inverno e 14% no Verão, optando por locais diferentes consoante o estado de tempo (ex: quando chove ficam dentro do café e quando está muito frio optam por caminhar em vez de ficarem sentados). As relações entre os estados de tempo e a utilização do espaço verde estão a ser alvo de uma análise mais aprofundada.

## 7. Considerações finais

A utilização dos espaços verdes depende não só da sua acessibilidade e da estrutura, mas também das condições de tempo e da estação do ano. No jardim Braancamp Freire, verificou-se uma diferenciação nas opções dos utilizadores que frequentam o jardim no Inverno ou no Verão, em relação aos locais preferidos, às estações do ano e aos dias de utilização. No Verão, há mais utilizadores a preferirem locais à sombra dentro do jardim e a preferir frequentar o espaço durante a tarde e aos fins-de-semana.

Verificou-se também que a média de idades dos utilizadores é muito elevada e que a maioria dos utilizadores deste espaço são reformados, principalmente no Inverno, sendo que no Verão há pessoas a exercer uma profissão que aproveitam as horas livres (almoço) para ir ao jardim.

As características deste espaço verde, as condições microclimáticas e o perfil dos seus utilizadores estão a ser estudadas em maior pormenor, tendo em consideração que o planeamento dos espaços verdes em meio urbano deve incluir estes parâmetros, de forma a melhorar as condições oferecidas e criar espaços de lazer adequados à população que os utiliza.

Este estudo está integrado no projecto “URBKIM: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos” (POCI/GEO/61148/2004), co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pelo FEDER.

## Bibliografia

- Alcoforado, M. J. (1996) Comparaison des ambiances bioclimatiques estivales d'espaces verts de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9: 273-280.
- Andrade, H.; Vieira, R. (2005) - *Estudo climático de um espaço verde de Lisboa: o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian*. Área de Investigação de Geo-Ecologia, Relatório n.º 5, CEG, Lisboa.
- Eliasson I.; Upmanis, H. (2000) – Nocturnal outflow from urban parks – implications for the city ventilation. *Theoretical and Applied Climatology*, 66: 95-107.
- Georgi, N. J.; Zafiriadis, K. (2006) – The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*, 9: 195-209
- Jauregui, E. (1990) – Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, 15-16: 457-463
- Jendritzky, G., Nübler, W. (1981) - A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Arch. Met. Geoph. Biokl.*, ser. B. 29, 31: 313-326.
- Moreira, M.E. (1998) - *Estudo fitogeográfico do jardim Braancamp Freire (Lisboa)*. *Finisterra*, Revista Portuguesa de Geografia, vol. XXXIII (66): 7-24.
- Oke, T.R. (1989) – The microclimatology of the urban forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 324: 335-349
- Shashua-Bar, L.; Hoffman, M. E. (2000) – Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31: 221-235
- Shimoda, Y. (2003) - Adaptation Measures for Climate Change and the Urban Heat Island in Japan's Built Environment. *Building Research and Information*, 31 (3-4): 222-230.
- Solecki, W.D.; Rosenzweig, C.; Parshall, L.; Pope, G.; Clark, M.; Cox, J.; Wiencke, M. (2005) - Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards*, 6 (1): 39-49.

- Spronken-Smith, R. A; Oke, T. R. (1998) – The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2085-2104.
- Upmanis, H.; Eliasson, I.; Lindqvist, S. (1998) – The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18: 681-700
- VDI (1998) - *Environmental meteorology, methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level*. Dusseldorf, VDI-Verlag.





## VENTO FORTE E QUEDA DE ÁRVORES EM LISBOA. AVALIAÇÃO E PRIMEIROS RESULTADOS

António Lopes, Sandra Oliveira, Marcelo Fragoso

**Resumo** - As árvores em meio urbano oferecem inúmeros benefícios ambientais, económicos e sociais. No entanto, em situações de vento forte, as árvores podem também ser a causa de danos materiais e humanos, devido à queda de ramos, pernadas ou da própria árvore (designado, neste trabalho, por “ocorrências”). Na cidade de Lisboa este tipo de situações é relativamente frequente, dependendo da estação do ano e das condições meteorológicas. Nesta investigação apresenta-se uma metodologia com vista à análise dos danos causados às árvores pelo vento forte (> 7 m/s), as potenciais causas das “quedas” e os primeiros resultados das frequências de ocorrência na cidade de Lisboa. O Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL) é responsável pelo registo das ocorrências, pela limpeza da área onde ocorre a queda e pela notificação da entidade responsável pela manutenção das árvores. Os dados foram obtidos a partir dos arquivos do RSBL e relacionados com a direcção e a velocidade do vento. Foi analisado um período de 17 anos, entre 1990 e 2006. Concluiu-se que a maior percentagem de quedas se verificou nos últimos 7 anos e que existem variações sazonais do número de ocorrências. A maior parte ocorre no Outono e no Inverno com ventos de sul e sudoeste (63%). No Verão, a nortada é responsável por mais de 70% dos casos ocorridos nesta estação do ano. Existe uma maior tendência para as quedas ocorrerem ao longo dos eixos Campo Grande/Baixa, Campolide/Alcântara, Encarnação/Chelas e em Benfica. A metodologia apresentada pretende contribuir para a elaboração de cartografia de risco de queda de árvores devido a ventos fortes em meio urbano.

Palavras-chave: Vento forte; queda de árvores; ambiente urbano.

**Abstract** - Strong winds and fall of trees in lisbon. Assessment and first results  
Trees in urban areas provide several benefits, either environmental, economical or social. However, during strong winds events, trees can also cause human and material damages, due to the fall of branches, boughs or the uprooting of the tree (these falls are denominated in this paper as “occurrences”). In the city of Lisbon, this type of event is relatively frequent, depending on the season and on the meteorological conditions. In this research, it is presented a methodology with the purpose of analysing the damages caused by the strong wind (> 7 m/s) to trees, the potential causes of tree falls and the first results of the frequencies of occurrences in the city of Lisbon. The Lisbon Fire Brigade and Rescue Services (RSBL) are responsible for registering the occurrences, for cleaning the area and by notifying the entity responsible for tree maintenance. Data was obtained from the archives of the RSBL and related to wind speed and direction. A period of 17 years, between 1990 and 2006, was analysed. It was concluded that the highest percentage of falls occurred in the last 7 years and that there are evident seasonal variations in the number of occurrences. The majority of the falls occur during autumn and winter with winds from south and

southwest (63%). In summer, north winds (“nortada”) are responsible for over 70% of the cases that happen during this season. There is a greater tendency for the occurrences to be located along the axes Campo Grande/Baixa, Campolide/Alcântara, Encarnação/Chelas and in Benfica. The methodology presented intends to contribute to the elaboration of the risk cartography for trees’ falls due to strong winds in the urban environment.

Keywords: Strong winds; fall of trees; urban environment

## Introdução

As árvores trazem diversos benefícios para as cidades (Fabião, 1996; Jim e Liu, 1997; Nilsson *et al.*, 2000; Saebe *et al.*, 2003; Soares e Castel-Branco, 2007, Lopes *et al.*, 2007). Promovem a melhoria da qualidade do ambiente urbano, reduzindo o efeito de “ilha de calor” (Alcoforado, 1992), servindo como barreira à canalização de ventos fortes (Lopes, 2003) e capturando poluentes (Freer-Smith *et al.*, 2004). Para além disso, as árvores protegem as superfícies urbanas da incidência directa da luz solar e do impacto da precipitação (McPherson e Muchnick, 2005). As suas raízes controlam a erosão e removem substâncias que podem contaminar a água, melhorando assim as condições hidrológicas dos solos urbanos. As árvores são também um meio de sequestro de carbono, com vantagens acrescidas para a mitigação das alterações climáticas, assim como permitem a melhoria do microclima urbano. A plantação de árvores em meio urbano propicia ainda habitats para aves e pequenos mamíferos, aumentando a biodiversidade (Clergeau, 1996). Promove também o bem-estar dos habitantes, influenciando o conforto térmico e mecânico e disponibilizando espaços de lazer e arruamentos mais atractivos. Desde que as áreas verdes sejam bem cuidadas contribuem, nalguns países, para a valorização dos espaços urbanos envolventes, atingindo os preços das habitações um valor mais elevado do que noutras áreas “menos verdes”.

No entanto, as árvores podem também ser a causa de danos materiais e humanos na cidade: por um lado, devido a conflitos entre as árvores e as infra-estruturas humanas, como por exemplo o levantamento dos passeios devido ao crescimento das raízes (Randrup *et al.*, 2003) e por outro, devido à queda de ramos, pernadas ou da própria árvore, em situações de vento forte, por vezes associados a níveis de precipitação elevados. As ocorrências de queda de árvores ou de partes de árvores constituem uma das principais causas de ferimentos em pessoas (por vezes até a morte) durante eventos extremos (Saraiva, 1983 e CRED<sup>7</sup>).

Pretende-se com este estudo analisar a ocorrência de queda de árvores, pernadas e ramos<sup>8</sup>, com o intuito de produzir mapas das áreas mais vulneráveis na cidade de Lisboa e compreender as situações meteorológicas que causam ventos fortes, de forma a contribuir para um possível “sistema de alerta” que permita minimizar os danos causados. Para tal, é fundamental

<sup>7</sup> Center for Research on the Epidemiology of Disasters (<http://www.cred.be/>).

<sup>8</sup>Neste texto é usado o termo “ocorrência” para designar qualquer tipo de “queda de árvore”, “pernada”, ou “ramo”. Estamos conscientes que esta generalização tem implicações, quer na análise, quer nas consequências das quedas e portanto na perigosidade final. No entanto o RSBL, não define, nem sistematiza o tipo de queda no registo que efectua, pelo que é impossível, neste momento, separar as ocorrências por tipos. No futuro tentar-se-á proceder ao estudo dos tipos de ocorrências, tendo já sido proposto uma melhor definição quando o registo é efectuado na base de dados ao RSBL.



identificar as causas destas ocorrências, com base nas características climáticas e meteorológicas (direcção e velocidade do vento, precipitação), biofísicas (espécie e características das árvores, condições fitossanitárias) e dos locais (geometria urbana, topografia). Este estudo está inserido no projecto “URBKIM: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos”, do Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, estando a ser desenvolvido em colaboração com o Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a Universidade de Évora e o Instituto Superior de Agronomia.

A investigação sobre este assunto é ainda incipiente em Portugal, havendo todavia estudos avançados noutros países onde este fenómeno assume maiores proporções. Por essa razão, o primeiro passo consistiu em criar procedimentos metodológicos que possibilitem o melhoramento e actualização da base de dados (apresentada com mais pormenor adiante) e o levantamento dos principais problemas que se levantam.

Este trabalho apresenta os principais constrangimentos e estratégias adaptativas das árvores em meio urbano e as características do clima e das árvores de rua da cidade de Lisboa. Será explicada a metodologia utilizada para recolher e analisar os dados e serão também apresentados os primeiros resultados obtidos.

### **Estratégias de adaptação das árvores e potenciais efeitos do vento forte**

O vento é o causador da maior pressão que as árvores têm que suportar (James, 2003). Contudo, os danos causados às árvores em meio urbano dependem de variados factores, nomeadamente das características das espécies (dimensão típica, densidade da folhagem, largura do fuste, densidade da madeira, idade limite, etc.), das suas condições físicas e fitossanitárias (que são modificadas pelo ambiente urbano) e da severidade das situações meteorológicas. Cada indivíduo, de determinada espécie, apresenta assim nível de resistência diferente à força do vento, o que dificulta a generalização de resultados. Para James (2003), a força de cada membro estrutural depende do tamanho e da forma da secção transversal do tronco e da flexibilidade da madeira (as árvores mais jovens são mais flexíveis). Para além disso, as árvores apresentam adaptações à força do vento, traduzidas, por exemplo, na variação da espessura dos anéis de crescimento, na forma dos ramos e na morfologia da própria árvore.

Duryea (1997) verificou que, após a passagem de 2 furacões na Florida, Estados Unidos da América, durante o ano de 1995, as espécies de maior dimensão tinham tendência a provocar mais estragos materiais do que as espécies de menor dimensão, identificando as espécies com maior probabilidade de causar estragos. Nesse trabalho foi reconhecida a maior capacidade de resistência das espécies autóctones aos furacões, ao contrário do que acontece com algumas espécies introduzidas, que são menos resistentes e mais vulneráveis a doenças após a ocorrência de fenómenos meteorológicos extremos.

## Condições físicas adversas do ambiente urbano

A luminosidade, as condições do solo, a qualidade do ar e o clima em meio urbano são menos favoráveis para o desenvolvimento da maior parte das espécies arbóreas do que o ambiente natural ou os espaços rurais. Nas cidades, as árvores têm de suportar, no geral, níveis de insolação mais baixos e temperaturas mais elevadas devido ao efeito da ilha de calor. Dentro das áreas urbanas, estas condições são mais restritivas para as árvores plantadas em áreas pavimentadas do que para as árvores localizadas em jardins, uma vez que as primeiras estão expostas a níveis mais elevados de stress, o que lhes reduz o tempo de vida (Fabião, 1996; Nilsson *et al.*, 2000). Para além disso, o número de espécies plantadas nas áreas pavimentadas é geralmente bastante mais reduzido do que nos outros espaços urbanos, nomeadamente em parques. Nas ruas de Lisboa, cerca de 55% das árvores plantadas estão representadas apenas por 5 géneros (Soares e Castel-Branco, 2007). Os solos urbanos têm, geralmente, um fraco teor de nutrientes e pouco volume disponível para a expansão das raízes, restringindo a capacidade de captação de água e de ar pelas raízes das plantas. A poluição do ar, sobretudo gerada pelos automóveis, também tem efeitos negativos, podendo até provocar o envenenamento das plantas por sais, gases e óleos. Para além disso, procedimentos inadequados aplicados durante a plantação e manutenção das árvores e os impactes físicos causados por carros, insectos e doenças constituem ainda factores de adversidade que afectam as condições fitossanitárias das árvores em meio urbano.

## As árvores em Lisboa

A criação de espaços verdes públicos em Lisboa data do século XIX (Soares e Castel-Branco, 2007). Até meados do séc. XX, a expansão da cidade seguiu um modelo baseado em ruas arborizadas e quarteirões regulares, sendo cada bairro configurado a partir de um plano específico. Esta óptica de planeamento urbano integrava espaços verdes no traçado das avenidas largas destinadas à circulação motorizada. Durante a primeira metade do séc. XX Duarte Pacheco pôs em prática a ideia de arborizar a colina de Monsanto, cumprindo objectivos de fornecimento de lenha e madeira mas também de melhoria do clima e da saúde pública, dando origem a um “pulmão verde” na cidade, (Lopes, 2003 e Soares e Castel-Branco, 2007).

A introdução de espécies alóctones na cidade deu-se inicialmente à expansão marítima, que permitiu a obtenção de novas espécies para ornamentação e estudo. Hoje em dia, os espaços verdes contêm uma grande variedade de espécies tanto adaptadas originalmente às condições climáticas de Lisboa, como também espécies exóticas e de climas frios (Moreira, 1998).

Com base nos inventários de espécies arbóreas que se realizaram oficialmente a partir de 1929, as espécies com maior representação nos arruamentos de Lisboa são o lodão-bastardo (*Celtis australis* L.), o plátano (*Platanus hybrida* Brot.), várias espécies de tília (*Tilia* spp.), o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D. Don.), o ácer-negundo (*Acer negundo* L.) e diferentes espécies de choupo (*Populus alba* L., *Populus nigra* L. e *Populus x canescens*), (Soares e Castel-Branco, 2007), (fig. 1). A abundância das diferentes espécies varia ao longo do tempo, provavelmente em virtude das preferências individuais

dos responsáveis pelo planeamento das ruas arborizadas, das tendências da época e das características das próprias espécies, que as tornam mais ou menos resistentes às pragas e doenças. O Ulmeiro (*Ulmus* spp.), por exemplo, que correspondia a 14% das árvores das ruas de Lisboa em 1929, foi praticamente dizimado pela grafiose, doença identificada em Portugal pela primeira vez na década de 30. O lódão, por outro lado, é um caso de sucesso devido às suas características intrínsecas, como as raízes robustas e a resistência aos insectos.

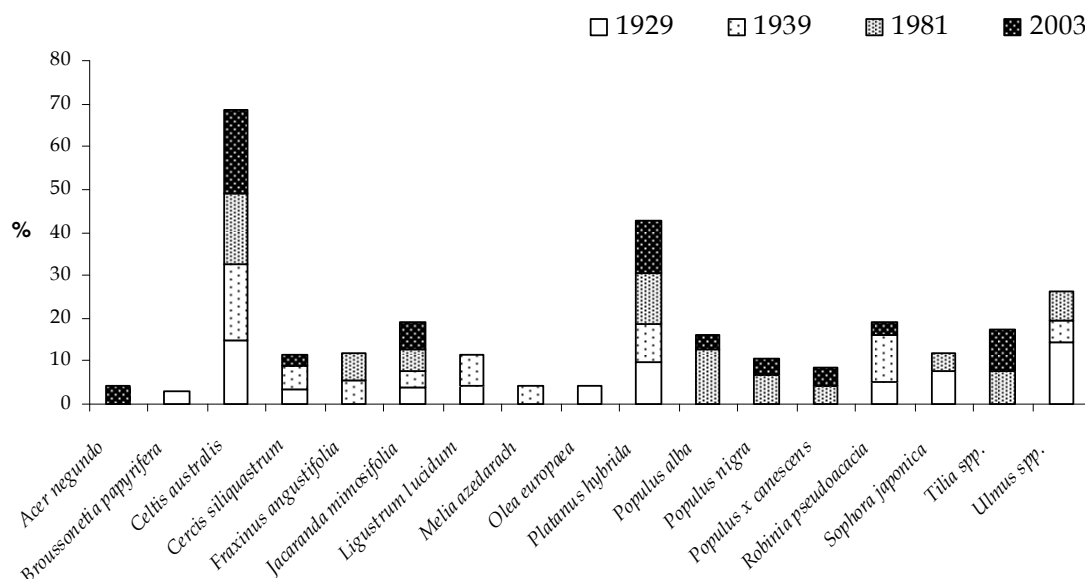


Figura 1 - Espécies arbóreas dominantes nas ruas de Lisboa registadas desde 1929.  
Fonte: Soares e Castel-Branco, 2007

Note-se que o choupo e as tílias são citados apenas a partir do inventário de 1981 como espécies predominantes nas ruas de Lisboa.

Existem também na cidade cerca de 50 árvores classificadas como de Interesse Público<sup>9</sup>, tanto espécies autóctones (*Q.suber*, *Q. rotundifolia*, *Q. robur*, *Q. faginea*, *Q.coccifera*) como exóticas (*Phoenix dactylifera* L, *Ficus macrophylla* Desf), constituindo um património que se deve preservar, estando muitas destas espécies adaptadas ao clima Mediterrâneo, apesar das alterações que se têm verificado nos últimos anos no ambiente urbano poderem alterar o processo de crescimento das árvores.

## O clima urbano de Lisboa

O clima de Lisboa caracteriza-se pela existência de uma ilha de calor (IC)<sup>10</sup>, com propriedades distintas consoante se trate das superfícies, da atmosfera urbana inferior ou da atmosfera urbana superior. A IC da atmosfera urbana inferior (abaixo do nível dos telhados dos edifícios), ocorre em 95% das noites e em 85% dos dias, com maior intensidade no Verão e em situações de vento moderado de oeste e noroeste e com intensidades medianas entre 1.7 e

<sup>9</sup> Árvores que pelo seu porte, desenho, idade, raridade, motivo histórico ou cultural se distinguem dos outros exemplares. (DGRF. <http://www.dgrf.min-agricultura.pt/portal/proteccao-florestal/arvores-de-interesse-publico>)

<sup>10</sup> Porção do espaço urbano em que a temperatura do ar é mais elevada do que nos arredores próximos (Alcoforado, 1992)

2°C (Alcoforado *et al.*, 2007). Para além de ter consequências no consumo de água e de energia e na qualidade do ar, afectando a saúde e conforto dos habitantes, a IC influencia também o desenvolvimento da vegetação, podendo alterar os regimes fenológicos das plantas.

Os regimes de vento na cidade caracterizam-se por diferenças marcadas entre as estações do ano. Durante o Inverno, o vento sopra com maior frequência do quadrante Norte, Nordeste, Noroeste e Oeste (fig. 2).

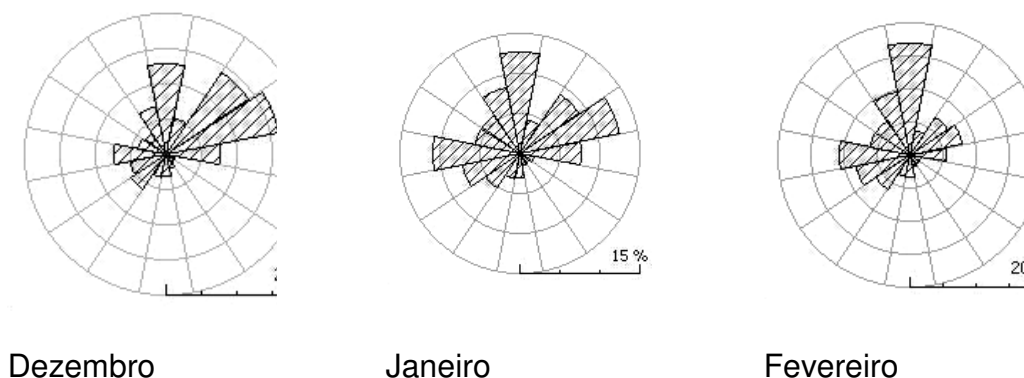


Figura 2 - Regime do vento no Inverno na estação de Lisboa/Portela, (período 1971-80). Fonte: Lopes (2003)

Em Dezembro, na estação de Lisboa/Aeroporto (período de 1971/1980), as direcções predominantes são nordeste e norte, enquanto em Janeiro e Fevereiro a componente de Oeste, que em Dezembro é pouco expressiva, passa a ser uma componente importante.

Na Primavera observa-se um aumento da frequência dos ventos do quadrante Norte (em Maio atingem quase 52% das frequências na estação de Lisboa/Portela - Lopes, 2003).

No Verão predomina a Nortada, vento relativamente forte de norte, que ocorre mais intensamente junto à costa ocidental da Península Ibérica, quando existe um anticiclone Atlântico e uma depressão térmica sobre a Península Ibérica (Lopes, 2003). Ocorre em pelo menos 27% dos dias entre Junho e Setembro, com velocidade média de 15 km/h, podendo atingir 50 km/h ao início da tarde e 70 km/h antes do anoitecer (Alcoforado, 1992 e Lopes, 2003).

A Nortada assume grande importância para a cidade no que respeita à qualidade do ar e ao conforto, uma vez que promove a dispersão de poluentes e reduz a carga de calor tanto de origem natural como antrópica. No entanto, pode também causar desconforto e dificuldades de movimentação nas pessoas, principalmente as que utilizam áreas de lazer. Quando a velocidade efectiva<sup>11</sup> do vento ultrapassa 9 m/s, o desempenho dos pedestres é afectado, enquanto os ventos de velocidade efectiva superior a 20 m/s podem tornar-se perigosos para pessoas mais vulneráveis (Saraiva *et al.*, 1997). A plantação de árvores como barreira aos ventos fortes em áreas adequadas pode reduzir a possibilidade de ocorrência de danos pessoais e materiais.

O Outono é marcado pela diminuição da frequência e velocidade de ventos de norte e de noroeste e um aumento da frequência dos ventos de nordeste (Lopes, 2003).

<sup>11</sup> A velocidade efectiva combina simultaneamente as velocidades médias e as rajadas (Saraiva *et al.*, 1997)

## Ventos fortes em Portugal

A queda de árvores, pernadas e ramos é relativamente frequente na cidade de Lisboa, dependendo da estação do ano e das condições meteorológicas. Nos últimos 30 anos, foram registadas várias tempestades com ventos fortes na cidade, com rajadas máximas na ordem dos 22 a 33 m/s (80 a 120 km/h). Segundo Borges (1971), este intervalo corresponde a um período estatístico de retorno de 2 a 8 anos. Na base de dados internacional de desastres da EM-DAT (Emergency Events Database - OFDA/CRED<sup>4</sup>) apresenta algumas situações de ferimentos e mortes durante tempestades com ventos fortes em Portugal, a maioria dos quais relacionados com a queda de árvores; em Dezembro de 2000, por exemplo, uma tempestade causou 4 mortes, 10 feridos e 60 desalojados no país.

## Metodologia e dados utilizados

Dado que não existe uma metodologia para a avaliação do risco de queda de árvores com ventos fortes em ambiente urbano, foi necessário definir um esquema de trabalho que estruturasse as acções necessárias para desenvolver este estudo, permitindo também ajustamentos futuros. Na figura 3 mostram-se as principais fases de trabalho e os dados utilizados.

### *Recolha dos dados*

Os dados foram cedidos pelo RSBL (Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa). O registo de quedas de árvores, pernadas ou ramos (que se designa genericamente neste trabalho por “ocorrências”) elaborado pelo RSBL foi, ao longo dos anos, feito de forma diferente: até 1998 as ocorrências eram registadas manualmente em formulários, sendo posteriormente compiladas em livros e arquivadas. Após 1999 a informação já foi integrada numa base de dados digital.

Inicialmente os dados obtidos para este trabalho reportavam-se às ocorrências entre 1999 e 2003. Tendo em consideração a disponibilidade limitada de recursos humanos e de tempo, a recolha dos dados anteriores a 1999 exigiu a definição de um método de selecção de dias nos quais a ocorrência de queda de árvores tivesse sido mais provável. Procedeu-se à análise dos dados das ocorrências disponíveis em combinação com dados horários de velocidade e direcção do vento, tendo-se seleccionado apenas os dias em que se registaram 3 ou mais ocorrências, para evitar a inclusão de quedas possivelmente provocadas por causas não meteorológicas. Foram atribuídos a cada ocorrência os valores de velocidade e direcção do vento correspondentes ao início da hora registada pelo RSBL. Para cada ocorrência foram calculadas as médias móveis de velocidade do vento correspondentes às 3h, 6h, 9h e 12h anteriores à hora de registo. Verificou-se que a maioria das quedas de árvores entre 1999 e 2003 ocorreu quando a velocidade do vento

---

<sup>4</sup> CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). Para que um acontecimento seja inserido base de dados EM-DAT, é necessário que cumpra um dos seguintes requisitos: 10 ou mais mortes de pessoas, pelo menos 100 pessoas afectadas; pedido de ajuda internacional ou declaração de estado de emergência. Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) - Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium.

tinha atingido pelo menos 7 m/s durante as 6 horas anteriores. Este limite foi aplicado na selecção dos dias entre 1990 e 1998 com base nos dados meteorológicos, assumindo que estes seriam os dias com maior probabilidade de ocorrência de quedas de árvores devido a causas meteorológicas. Esta metodologia foi testada durante a recolha manual dos dados nos arquivos do RSBL, com uma margem de tolerância de dois dias antes e depois dos dias seleccionados, verificando-se que era suficientemente precisa.

A recolha de dados permitiu reunir informação sobre as quedas de árvores ocorridas entre 1990 e 2006. A informação compilada pelo RSBL inclui a data, a hora do telefonema recebido no centro de chamadas e o local da queda, normalmente o nome da rua e o número de porta mais próximo ou um elemento de fácil identificação, como um cruzamento, uma igreja, uma escola, etc. Esporadicamente, são também registados a espécie da árvore caída, a dimensão, a causa provável da ocorrência e os danos causados (fig. 4).

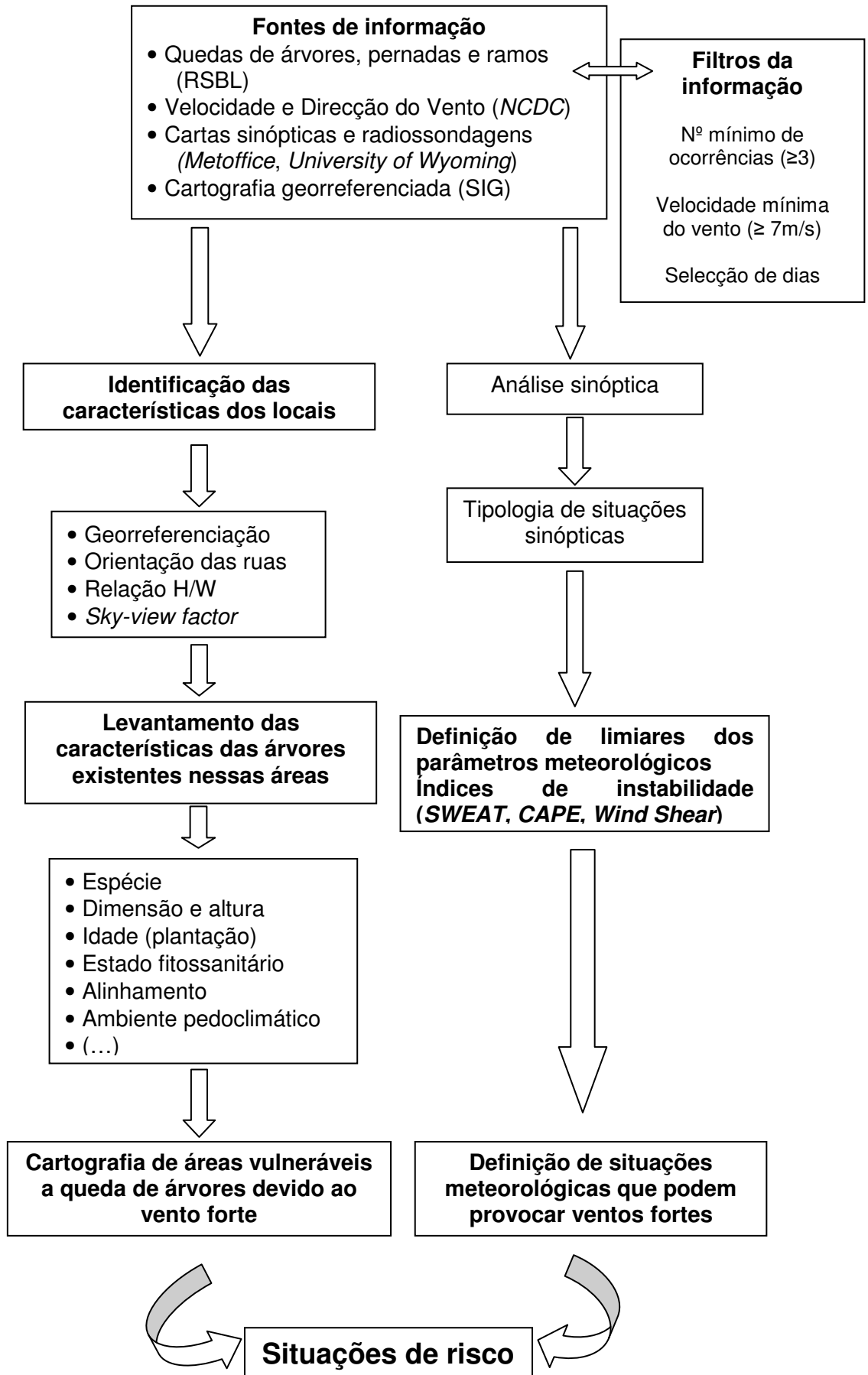


Figura 3 – Etapas metodológicas e fontes de informação

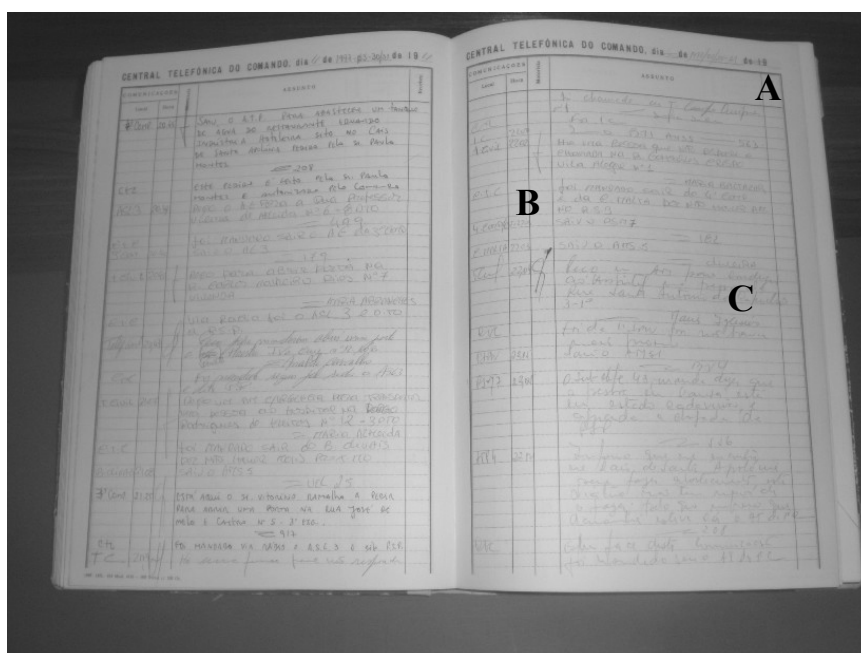


Figura 4 - Livro de registo de ocorrências existente nos arquivos do RSBL (informação disponível até 1998). A – Registo da data. B – Registo da hora. C – Descrição do tipo de ocorrência (acidente, queda de árvore, inundação, etc.).

#### *Limitações da base de dados*

A informação recolhida pelo RSBL, apesar de útil, apresenta algumas limitações para o desenvolvimento deste estudo:

- A hora registada para cada ocorrência corresponde à hora de recepção do telefonema e não à hora da queda, havendo assim probabilidade de haver um desfasamento entre a hora da ocorrência e a chamada;
- As ocorrências registadas na base de dados referem-se apenas a incidentes que causaram danos para as pessoas e bens, não existindo informação de quedas de árvores em parques, quintas e outros espaços privados, onde as quedas não afectam bens públicos;
- A informação sobre a espécie, a idade, a dimensão e as condições fitossanitárias das árvores caídas não é sempre registada;
- A metodologia aplicada pelo RSBL para registar as ocorrências sofreu alterações ao longo do período de tempo estudado. Os formulários de preenchimento e, conseqüentemente, o tipo de informação registada, mudaram em 1994 e 1997;
- O modo de registo e a terminologia utilizada não estão definidos de forma clara entre os elementos do RSBL;
- As informações das ocorrências são registadas muitas vezes em situações de emergência, o que pode comprometer o grau de fiabilidade.

De modo a minimizar os aspectos negativos associados ao registo da informação, são apresentadas algumas propostas no final deste artigo.



### Tratamento dos dados

Toda a informação disponibilizada foi reunida numa nova base de dados (fig. 5), tendo-se adicionado a cada evento registado pelo RSBL os dados da direcção e velocidade do vento. Como foi dito anteriormente, não é possível verificar o desfasamento entre a hora da ocorrência e a chamada para os bombeiros. Por essa razão, optou-se por fazer corresponder a hora da ocorrência ao início da hora respectiva e calcular as médias da velocidade do vento das 3, 6 e 12 horas anteriores à chamada. Foi ainda calculado e integrado outro tipo de informação correspondente ao local da queda, como por exemplo, a orientação da rua, a relação H/W, o *sky-view factor*, etc. (fig. 5). Em breve pretende-se integrar outras informações como a espécie e o estado fitossanitário de, pelo menos, algumas das árvores afectadas. Nesse sentido foram já feitas reuniões com o Departamento de Ambiente e Espaços Verdes da Câmara Municipal de Lisboa, no sentido de se obter, tratar e integrar a informação existente naqueles serviços na base de dados.

N	Ano	Mes	Dia	Hora	Rua	Lote	Orientacao Rua	X	Y
1	1990	10	7	15:19	Av. Almirante Gago Coutinho	frente ao 76	N-S	113295,286	198631,071
2	1990	10	7	16:08	Av. Estados Unidos America	cruzamento Av. Roma	O-E	112247,012	198451,209
3	1990	10	7	14:24	R. Nova do Grilo	frente ao 24	SO-NE	115044,727	196408,805
4	1990	10	7	21:59	R. Rosa Araujo	frente ao 43	SO-NE	111595,6	195383,108

QA	QP	QR	Dim_GP	Dim_MP	Dim_PP	Especie	Causa	Rumo	m_s	3hmax	6hmax	12hmax	Viaturas
1								N	9,387	9,387	9,387	9,387	
1								N	9,387	9,387	9,387	9,387	
	1							N	9,387	9,387	9,387	9,387	
	1							NO	7,599	7,152	9,387	9,387	
1								S	8,046	6,258	6,258	6,258	

Figura 5 – Exemplo de um segmento da base de dados utilizada para este estudo, que se mantém em permanente actualização.

QA = Queda de árvore. QP = Queda de pernada. QR = Queda de ramo. DIM\_GP = Dimensão grande porte. DIM\_MP = Dimensão médio porte. DIM\_PP = Dimensão pequeno porte

Com o intuito de identificar padrões de localização das quedas de árvores e definir possíveis relações entre as características dos locais e as direcções e velocidades dos ventos fortes, toda esta informação foi introduzida num SIG. Foram atribuídas coordenadas a cada ocorrência, a partir da localização registada pelo RSBL. Nalguns casos, em virtude de registos incompletos ou de alterações nas ruas da cidade, não foi possível localizar com exactidão as árvores caídas, tendo-se atribuído as coordenadas do ponto central da rua ou de um elemento de fácil identificação mais próximo.

Foram calculadas as frequências das ocorrências mensais, estacionais e anuais e analisados os padrões de distribuição das quedas na cidade, que a seguir se apresentam. As causas meteorológicas também têm sido alvo de análise, nomeadamente através do cálculo de índices de instabilidade atmosférica. Dois estudos de caso são apresentados mais adiante.

## Resultados

Com base nos dados analisados entre 1990 e 2006 foi possível verificar a distribuição das ocorrências por anos e meses. Calcularam-se as médias da velocidade do vento para a hora da ocorrência e para as horas anteriores (3h,

6h, 9h e 12h) e determinou-se a frequência de rumos dos ventos fortes por meses e estações do ano. As estações do ano foram definidas com base na metodologia aplicada por Lopes (2003), a partir do regime geral do vento observado na estação meteorológica de Lisboa/Aeroporto. Uma Análise em Componentes Principais dos parâmetros  $A$  (escala) e  $k$  (forma) da função de Weibull revelou que o mês de Setembro apresenta um regime de ventos diferenciado dos outros meses de Verão (Junho, Julho e Agosto), tendo por isso sido incluído nos meses de Outono (Setembro a Novembro). O Inverno corresponde aos meses de Dezembro a Fevereiro e a Primavera a Março, Abril e Maio (Lopes, 2003).

Verificou-se que a maior percentagem de quedas (70.5%) ocorreu nos últimos 7 anos, a partir de 2000. Anteriormente, apenas em 1993 e 1997 se registou uma percentagem de ocorrências mais significativa, cerca de 6 e 8%, respectivamente (fig. 6). Existem várias hipóteses para este facto, que a seguir se enunciam: no início dos anos 90 as árvores eram mais jovens do que actualmente; nos últimos anos tem-se assistido a um aumento do tráfego automóvel e, conseqüentemente, de poluentes que podem afectar as condições fitossanitárias e diminuir a resistência das árvores aos ventos fortes; também as mudanças de metodologia de registo utilizada pelo RSBL durante a década de 90 se podem ter traduzido em diferenças no tipo de informação inserida; durante o período estudado, as condições meteorológicas poderão ter sido mais adversas e frequentes nos anos mais recentes. Esta linha de investigação será seguida futuramente.

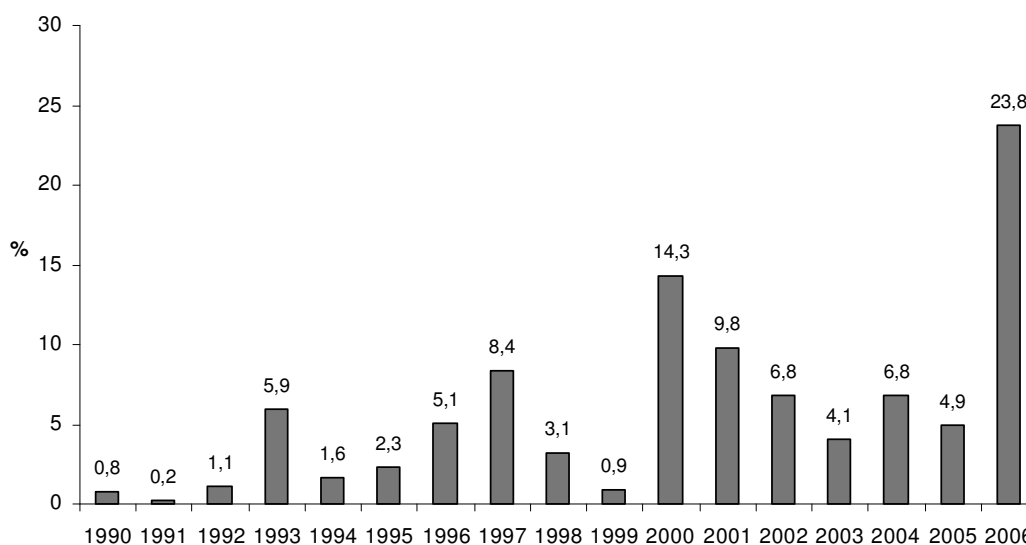


Figura 6 – Ocorrências entre 1990 e 2006

Em relação à distribuição do número de ocorrências por estações do ano e meses, verifica-se uma concentração no Outono e no Inverno (cerca de 76% do total), sendo que os meses de Outubro e Novembro registam o maior número de ocorrências (figs. 7 e 8)

Analisando as ocorrências tendo em conta os rumos do vento, verifica-se que o maior número de quedas se regista com rumos do quadrante sul e sudoeste (fig. 9), os quais se registam com maior frequência durante os meses de Outono e Inverno.

Analisando as ocorrências tendo em conta os rumos do vento, verifica-se que o maior número de quedas se regista com rumos do quadrante sul e sudoeste (fig. 9), os quais se registam com maior frequência durante os meses de Outono e Inverno.

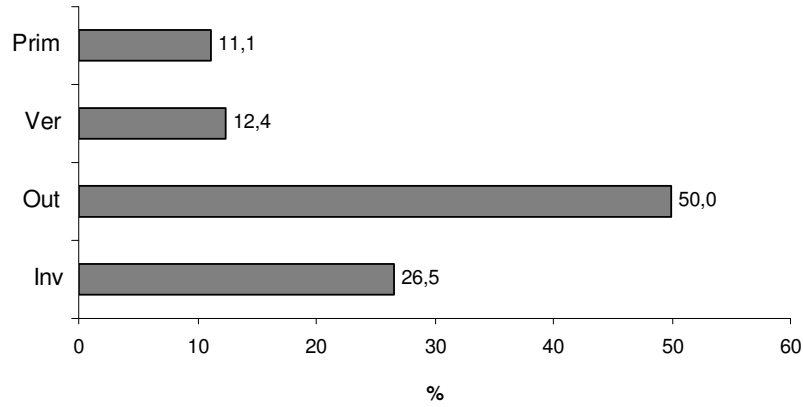


Figura 7 - Ocorrências estacionais entre 1990 e 2006

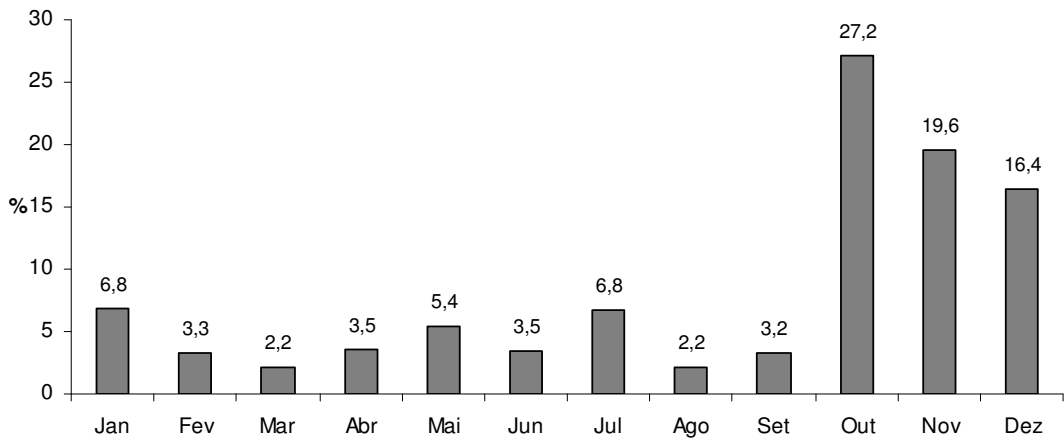


Figura 8 - Ocorrências mensais entre 1990 e 2006

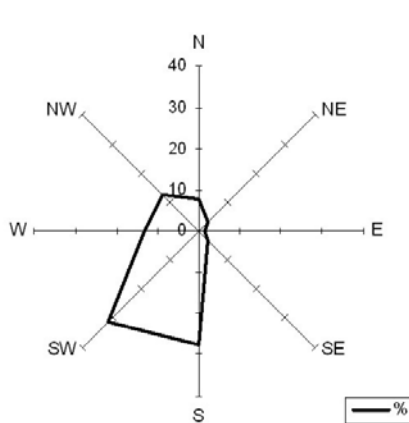


Figura 9 - Ocorrências (%) por rumos do vento

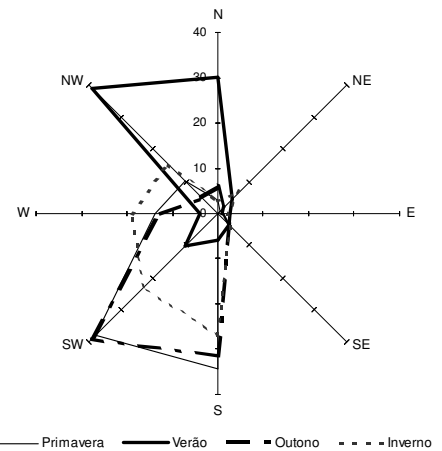


Figura 10 – Quedas estacionais (%) por rumo do vento

Existe uma tipologia de velocidades associadas à predominância dos ventos fortes quando ocorrem quedas de qualquer tipo (fig. 11). O rumo de oeste é aquele que apresenta maior diferença nas velocidades entre a hora de ocorrência e as 12 horas anteriores, facto que ainda não se conseguiu determinar a causa. Isto poderá, no entanto, estar relacionado com uma desigual duração média dos eventos de vento forte, em função do seu quadrante de proveniência, o qual dependente da posição relativa e características do sistema depressionário.

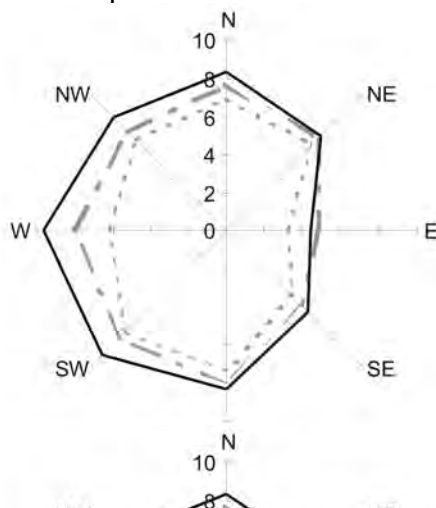


Figura 11 - Velocidade máxima média do vento (m/s) na hora do registo (h.r.) e nas horas anteriores (3h, 6h e 12h)

Analisando a localização das ocorrências registadas na base de dados do RSBL, em todo o período estudado, verifica-se que existe uma dispersão quase homogénea por toda a cidade, com excepção das áreas do Aeroporto (onde as árvores são escassas e apenas existem a ocidente das pistas) e de Monsanto (evidentemente nesta área ocorrem quedas de árvores, mas a maioria não é registada porque não implicam danos consideráveis para a população e equipamentos e nem sempre os bombeiros são chamados), (fig. 12).

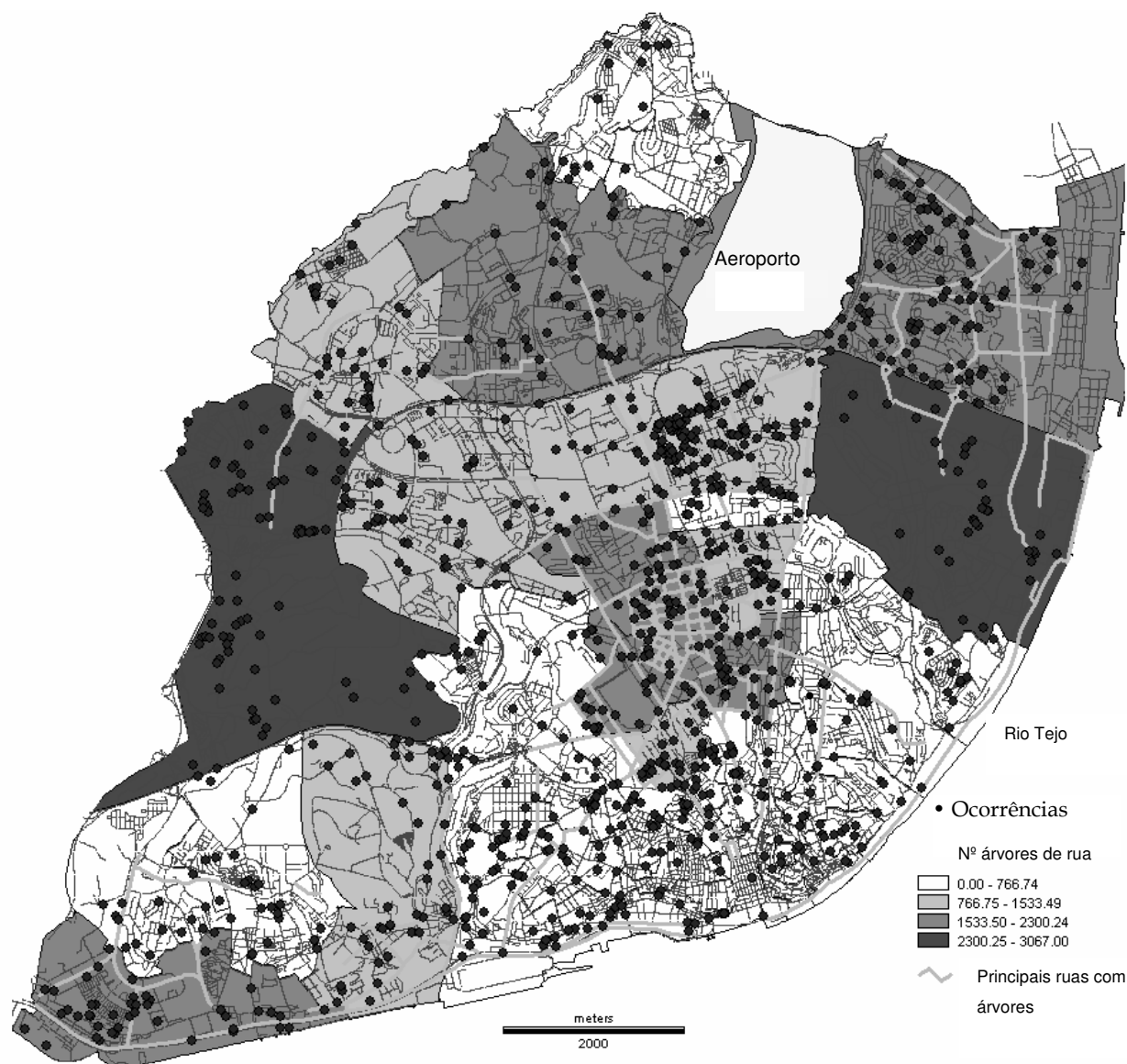


Figura 12 - Ocorrências georreferenciadas na cidade de Lisboa entre 1990 e 2006 (n=1241)

Apesar disso, verifica-se uma tendência para as quedas ocorrerem ao longo das ruas e avenidas que ligam o Campo Grande à Baixa (fig. 13 A), no eixo entre os bairros de Campolide, Campo de Ourique e Alcântara (B), na parte nordeste da cidade entre os Bairros da Encarnação e norte de Chelas (C) e na freguesia de Benfica (D).

Esta tendência de concentração nas áreas centrais da cidade (Avenidas Novas), verifica-se nas várias estações do ano, apesar de variações significativas no número de ocorrências em cada estação (fig. 14, A a D).

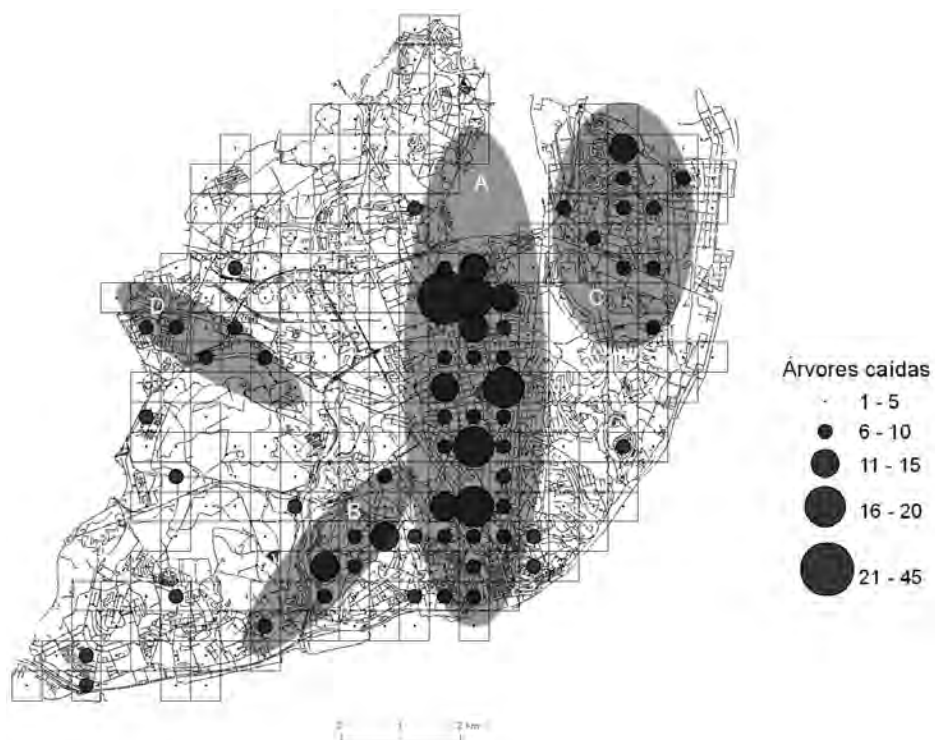


Figura 13 – Árvores caídas na cidade de Lisboa entre 1990 e 2006, numa quadrícula de 500x500m.

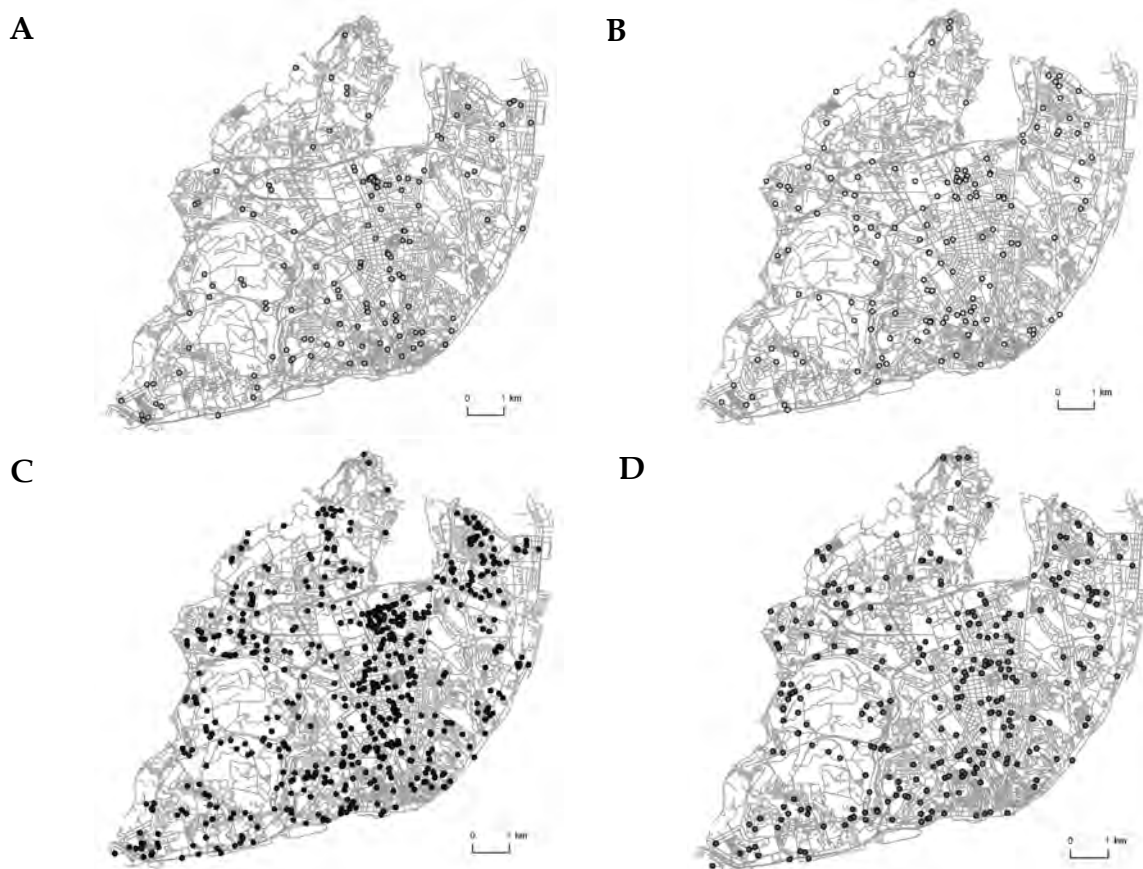


Figura 14 – Localização das ocorrências por estação do ano.  
A - Primavera, B - Verão, C - Outono, D – Inverno.

O número de ocorrências de queda de árvores aumenta muito no Outono em relação ao Verão e à Primavera. No Inverno verifica-se também uma diminuição do número de casos, apesar de ser menos significativa do que na Primavera e no Verão.

Como já foi referido, durante o Verão as quedas originadas por vento do quadrante Norte correspondem a 71% do total de ocorrências durante esta estação, enquanto que nas restantes estações do ano, os ventos de sul e sudoeste são responsáveis por 63% das ocorrências. A relação entre a localização das ocorrências e o rumo do vento não está ainda bem compreendida e será alvo de estudos mais aprofundados, onde se introduzirão os parâmetros de morfologia das ruas.

### **O ambiente atmosférico associado à ocorrência de temporais em Lisboa**

Para analisar a incidência de condições termodinâmicas instáveis na troposfera durante os episódios de ocorrência de queda de árvores, pernas e ramos, foram utilizadas sondagens da estação de Lisboa/Aeroporto, tendo sido analisada uma amostra de dias entre 2000 e 2005, através do *software* RAOB (*Environmental Research Services*, Matamoras, EUA).

As condições de instabilidade foram avaliadas através de três índices: CAPE, SWEAT e o cisalhamento (*Wind shear*), com o intuito de verificar a sua aptidão para prever a ocorrência de ventos fortes. A amostra de dias em que ocorreram quedas de árvores foi comparada com uma outra amostra de dias nos quais não se registaram ocorrências.

Constatou-se que o índice SWEAT é o que apresenta resultados mais díspares entre as duas amostras; esta distinção evidente pode indicar que este índice poderá ser aplicado na previsão de temporais em Lisboa, resultado que terá que ser confirmado em estudos futuros.

Apresentam-se como estudo de casos duas situações atmosféricas associadas a ocorrências de ventos fortes em Lisboa (18 de Julho e 24 de Novembro de 2006).

O primeiro destes eventos sucedeu no início do Verão, no dia 18 de Julho e correspondeu a uma tempestade local, marcada pela ocorrência de fortes rajadas de vento, provavelmente induzidas por convecção e instabilidade termodinâmica na troposfera. O outro evento registou-se no Outono, a 24 de Novembro, e teve na sua origem uma situação sinóptica em que se destacou a influência de fortes gradientes barométricos sobre o território de Portugal Continental.

Nos dias que antecederam o evento de Julho, verificaram-se condições anticiclónicas em Portugal Continental (anticiclone subtropical), assegurando condições de bom tempo e temperaturas relativamente elevadas. No dia 17 de Julho, individualizou-se um núcleo de baixa pressão na parte ocidental da Península Ibérica, estabelecendo-se, na troposfera inferior, uma circulação de sul sobre a área de Lisboa. Durante a tarde, a temperatura máxima em Lisboa atingiu os 32°C e na noite seguinte os valores de temperatura do ar mantiveram-se acima dos 20°C. Neste contexto, na manhã do dia 18, desenvolveram-se trovoadas no sector sudoeste do território português, período em que viria a desencadear-se o temporal em Lisboa. Na figura 15, apresentam-se a carta sinóptica de superfície (A) e a sondagem aerológica de

Lisboa/Aeroporto (B), elementos que permitem ilustrar alguns aspectos da situação atmosférica associada a este evento.

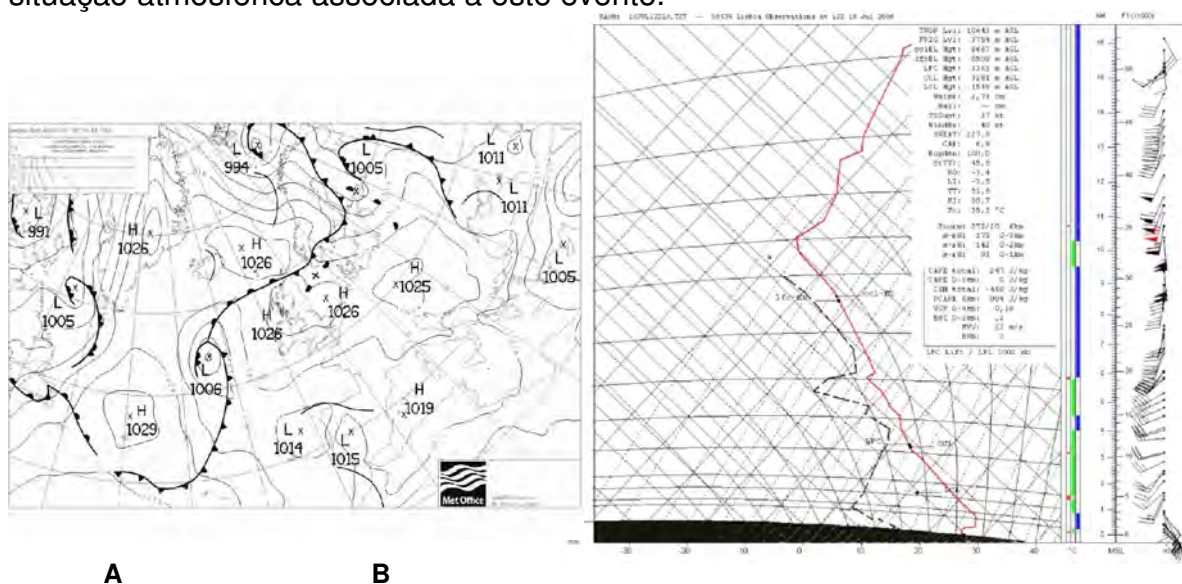


Figura 15 – Condições atmosféricas, em Lisboa, no dia 18 de Julho de 2006: a) Carta sinóptica de superfície; b) Sondagem de Lisboa/Aeroporto (1200 UTC).  
Fonte: MetOffice (U.K.) e University of Wyoming, Dep. of Atmospheric Science.

A estrutura da sondagem aerológica representada na figura revela vários factores favoráveis à ocorrência de convecção e ao desencadeamento provável de fortes rajadas de vento na baixa troposfera. É patente a existência de forte cisalhamento vertical do vento, forte flutuabilidade negativa ( $DCAPE = 994 \text{ J/Kg}$ ) e ainda, a presença de um *jet* na troposfera superior. Nestas condições, registaram-se rajadas muito fortes de vento à superfície na área de Lisboa, tendo a máxima velocidade média horária atingido os 10,8 m/s (pelas 11h00) e a rajada máxima 18 m/s. Este evento foi responsável por 11 quedas de árvores.

O segundo evento analisado (24 de Novembro de 2006), foi causado pela actividade de uma intensa depressão frontal, centrada a oeste das Ilhas Britânicas (mínimo de pressão de 969 hPa). O bordo meridional da depressão atingiu a área de Lisboa na manhã do dia 24 de Novembro de 2006, determinando a acção de um fluxo de SW sobre a cidade, que se materializou em ventos muito fortes, cuja velocidade média horária variou entre os 11 e os 13,5 m/s entre as 11h00 e as 14h00. Um aspecto mais relevante que pôde ser detectado pela análise da sondagem aerológica de Lisboa/Aeroporto (12h00) residiu na presença de um *jet* de baixas camadas, correspondente a uma corrente de sudoeste actuando a pouco mais de 500 metros acima do solo com uma força de 29 m/s. Este evento foi responsável pela queda de 112 árvores.

## Conclusão

A queda de árvores, pernadas e ramos é um fenómeno relativamente frequente na cidade de Lisboa. No período estudado de 1990 a 2006, a maioria das quedas registou-se nos últimos sete anos, com um máximo de 24% no ano de 2006. A década de 90 registou apenas 30% das ocorrências, o que pode ser resultado da idade das árvores e dos níveis de poluição resultantes do



aumento do tráfego automóvel nos anos mais recentes, que influencia as condições fitossanitárias da vegetação e, por consequência, a sua resistência.

As quedas ocorreram maioritariamente no Outono, nos meses de Outubro e Novembro (57%). No Verão, o vento de rumo norte é responsável por 71% das ocorrências naquela estação do ano. Nas restantes estações, 63% do total de ocorrências correspondem a ventos de sul e sudoeste. Verificou-se que a maioria das quedas ocorre quando o vento ultrapassa 7 m/s. A velocidade do vento forte que provoca quedas varia ligeiramente com o rumo, sendo os de oeste e sudoeste os que atingem, em média, maiores velocidades.

A localização das ocorrências é relativamente dispersa pela cidade, com maior incidência na área entre o Campo Grande e a Baixa (Avenidas Novas), nos bairros de Campolide, Campo de Ourique e Alcântara, na parte nordeste da cidade (Encarnação e Chelas) e em Benfica. Não se verificam diferenças significativas na localização das ocorrências por estação do ano. No entanto, existem diferenças evidentes em termos quantitativos, verificando-se que o Outono é a estação que concentra a maioria das quedas registadas.

A metodologia aplicada demonstrou ser apropriada para este estudo, apesar das limitações da informação inicial e das dificuldades encontradas. É necessário aprofundar esta pesquisa e a base de dados deverá ser actualizada e completada com todos os parâmetros que possam influenciar, directa ou indirectamente, a vulnerabilidade das árvores de rua a quedas, de forma a implementar, com sucesso, um “plano de alerta de vento forte” na cidade de Lisboa.

Para melhorar a recolha de dados, imprescindíveis para a prossecução deste estudo, apresentamos algumas recomendações:

- Definição de uma linguagem comum entre os bombeiros do RSBL, os técnicos da Câmara Municipal de Lisboa e os investigadores. Para tal deverá ser criado um glossário dos termos utilizados na descrição das árvores (incluindo o estado fitossanitário) e o tipo de ocorrência (se se trata de uma árvore deverá ser medido o perímetro do tronco, se se tratar de pernada será importante estimar o seu peso e forma).
- Utilização de um GPS para a localização exacta das ocorrências, informação necessária para compreender muitos dos factores que influenciam a queda de árvores na cidade;
- Criação de um formulário baseado numa “checklist” de factores que podem influenciar as quedas de árvores; este formulário seria preenchido pelos bombeiros do RSBL no local da ocorrência enquanto procediam à limpeza da área, o que permitiria completar a base de dados com informação mais precisa, para ser utilizada em análises futuras;
- Desenvolvimento de um programa de formação para os funcionários do RSBL, de forma a clarificar a metodologia descrita e assegurar a aplicação correcta de equipamento e *software* de recolha da informação.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (RSBL) pelos dados disponibilizados e pelo seu apoio, sem os quais este estudo não poderia ser desenvolvido. Gostaríamos também de agradecer à Prof.<sup>a</sup> Maria João Alcoforado e à Prof.<sup>a</sup> Maria Eugénia Moreira pela leitura atenta e pelas sugestões que permitiram melhorar este trabalho. À Arq.<sup>a</sup> Paisagista Ana Luísa Soares, do Instituto Superior de Agronomia, agradecemos a sua amizade, disponibilidade e colaboração.

Este estudo está integrado no projecto “URBKIM: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos” (POCI/GEO/61148/2004), co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pelo FEDER.

### Bibliografia

- Alcoforado, M-J. (1992) - O clima da região de Lisboa. Contrastes e ritmos térmicos. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, vol. 15, CEG, Lisboa: 347 p.
- Alcoforado, M-J., Andrade, H., Lopes, A., Oliveira, S. (2007) – A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. *In Geophilia — O Sentir e os Sentidos da Geografia. Homenagem a Jorge Gaspar*. CEG, Lisboa: 593-612.
- Borges, J. (1971) – Structural Safety, Course 101, 2<sup>o</sup> ed., LNEC, Lisbon, 326 p.
- Cergeau, P. (1996) – Urban biodiversity: is there such a thing? *Le courrier du CNRS*, n<sup>o</sup> 82:102-104.
- Duryea, M. (1997) – Wind and Trees: Surveys of Tree Damage in Florida Panhandle after Hurricanes Erin and Opal; Institute of Food and Agricultural Sciences; Cooperative Extension Service; University of Florida: 2-7.
- Fabião, A.M.D. (1996) – A agressividade do meio urbano e algumas medidas de mitigação do stress em árvores das cidades. *Cirurgia das Árvores, Workshop*, Lisboa.
- Freer-Smith, P.H.; El-Khatib, A.; Taylor, G. (2004) – Capture of Particulate Pollution by Trees: A Comparison of Species Typical of Semi-Arid Areas (*Ficus Nitida* and *Eucalyptus Globulus*) with European and North American Species, *Water, Air, & Soil Pollution*, 155(1): 173-187.
- James, K. (2003) – Dynamic loading of trees. *Journal of Arboriculture* 29(3): 165-171.
- Jim, C; Liu, H. (1997) – Storm damage on urban trees in Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning* 38: 45-59.
- Lopes, A. (2003) – *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*, Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa: 375 p.
- Lopes, A.; S. Oliveira, M. Fragoso, J. Andrade, P. Pedro (2008) - *Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon*, in K. Střelcová, et al (Eds.) – *Bioclimatology and Natural Hazards*, Springer (in print).
- McPherson, E.; Muchnick, J (2005) – Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance, *Journal of Arboriculture* 31(6): 303-310.
- Nilsson, K.; Randrup, T.B.; Wandall, B.M. (2000) – Trees in the urban environment. *The forest handbook* (Ed. Evan J), Blackwell Science, Oxford, Vol. 1: 347-361.
- OFDA/CRED International Disaster Database (n.d.) – (<http://www.em-dat.net/>) Acedido em Setembro 2007.
- Randrup, T.B., McPherson, E.G., Costello, L.R. (2003) – A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs and roads. *Urban Ecosystems* 5: 209-225.
- Saebe, A.; Benedikz, T.; Randrup, T.B. (2003) – Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. *Urban For. & Urban Greening*, 2: 101-114.

- Saraiva, J.G. (1983) – *Aerodinâmica dos edifícios altos: características do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas*, Tese de Doutoramento, LNEC, Lisboa
- Saraiva, J.G.; Marques da Silva, F.; Silva, F.G. (1997) – O vento, a cidade e o conforto. *IV National Meeting on Comfort in Built Environments*, Bahia, Brasil.
- Soares, A.L.; Castel-Branco, C. (2007) – As árvores da cidade de Lisboa. *Floresta e Sociedade. Uma história em comum*. Ed. Público/FLAD: 289-333.



## ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO NO BRASIL.

Magda Adelaide Lombardo

**Resumo** - Os estudos de Clima Urbano no Brasil tiveram início no final da década de setenta e início da década de 80 objetivando analisar a atmosfera no contexto da cidade. Os trabalhos realizados por geógrafos, na sua grande maioria, enfocaram a análise espacial e temporal das diferenças de temperatura e umidade no contexto do tecido urbano, tendo como ênfase os padrões de Uso da Terra. A metodologia utilizada teve como embasamento a análise das medidas observadas no campo, em diferentes padrões de ocupação do solo, destacando-se as variações de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento.

O trabalho pioneiro da professora Inês Dani, na cidade de Porto Alegre, realizado no final da década de 80 (dissertação de mestrado), teve como resultado o mapeamento do campo térmico urbano e também de variação da umidade.

O professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, no início da década de 80, na sua livre-docência, na Universidade de São Paulo, apresentou a proposta teórica metodológica “Teoria e Clima Urbano”, que marcou um caminho renovador para o estudo de Clima Urbano no Brasil e serviu de base para novas investigações neste campo, não somente entre os geógrafos, mas todos os pesquisadores que trabalhavam com o contexto urbano numa análise inter e multidisciplinar, englobando vários especialistas, notadamente os arquitetos interessados no ambiente urbano.

Lombardo (1985) no seu trabalho intitulado: “Ilha de Calor da Metrópole Paulistana – SP” (tese de doutorado) utilizou-se de imagens infra vermelhas da série de satélites meteorológicas (NOAA) e modelos para correção dos efeitos da atmosfera urbana para extrair a temperatura radiométrica e sensor MSS do satélite LANDSAT para analisar os diferentes padrões de Uso da Terra. A aferição de campo foi realizada com medidas fixas e móveis de temperatura e humidade.

No início da década de 90, o professor Francisco Mendonça utilizou-se de imagens infra-vermelhas da série LANDSAT (canal 6) para analisar as diferenças do campo térmico da cidade de Londrino – Paraná.

A professora Gilda Tomozeli, no início da década de 90 apresentou um trabalho de doutoramento sobre Cuiabá, no Estado de Mato Grosso, onde associou as medidas horizontais de temperatura, umidade e vento com estudo do perfil vertical, através de uma torre.

Estes estudos contribuíram para a compreensão da relação entre o processo de urbanização no Brasil e sua influencia na atmosfera das cidades. Vários outros trabalhos foram desenvolvidos, não somente para as áreas metropolitanas como também para as cidades médias e pequenas.

A sistemática da metodologia para várias cidades de porte médio está sendo realizada no Departamento de Geografia e no programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, em Presidente Prudente-SP.

Os estudos de Clima Urbano realizados por arquitetos enfocam o Planejamento e Conforto Térmico. Na área da Meteorologia, as análises do Clima Urbano enfatizam o uso de modelos da atmosfera urbana na escala local e análise da poluição do ar. Na área de saúde pública, destacam-se os trabalhos do professor Paulo Saldiva, do Departamento de Medicina da USP, sobre morbidade e poluição do ar. Ainda nesta área cabe ressaltar o trabalho pioneiro da professora Helena Ribeiro sobre doenças respiratórias.

Em geral, os estudos de clima urbano no Brasil alcançaram maior envergadura após 1990 e estão associados ao grande desafio do acelerado crescimento urbano. O Brasil, ultrapassa todas as estatísticas dos países em desenvolvimento, concentrando quase 80% da sua população nas áreas urbanas.

**Abstract** - Some considerations about urban climate studies in Brasil

Urban climate studies in Brazil started in the end of the 70's and beginning of the 80's, with the purpose to analyse the atmosphere in the context of the city. Most of the works developed by geographers focused on the spatial and temporal analysis of the differences in temperature and humidity in urban settings, with emphasis on the patterns of land use. The methodology used was based on the analysis of the measurements observed in the field, in different patterns of land use, highlighting the variations in temperature, humidity, wind direction and speed.

The pioneer work of Inês Dani, in the city of Porto Alegre, developed by the end of the 80's (master thesis), resulted in the mapping of the urban thermal field and also of the variations in humidity.

Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, in the beginning of the 80's, in the University of São Paulo, presented the proposal of a theoretical methodology "Theory and Urban Climate", which has built a renovating path for the study of the Urban Climate in Brazil and has become the basis for new investigations in this field, not only among geographers, but all researchers who worked within the urban context with a inter and multidisciplinary analysis, including several specialists, namely the architects interested in the urban environment.

Lombardo (1985) in her work named "Urban heat island of the São Paulo Metropolis – SP" (PhD thesis), used infrared satellite images of NOAA and models to correct the effects of the urban atmosphere and extract the radiometric temperature and it was also used a MSS sensor of the satellite LANDSAT to analyse the different patterns of land use. The field work was performed with permanent and itinerant measurements of temperature and humidity.

In the beginning of the 90's, Francisco Mendonça used infrared images of the LANDSAT series (channel 6) to analyse the differences of the thermal field of the city of Londrino-Paraná.

Gilda Tomozeli, in the beginning of the 90's, presented a PhD research about Cuiabá, in the state of Mato Grosso, associating the horizontal measurements of temperature, humidity and wind with the vertical profile, by using a tour.

These studies have contributed to the understanding of the relation between the process of urbanisation in Brazil and its influence in the atmosphere of cities. Several other works were developed, not only in the metropolitan areas but also for mid-size and small cities.

The systematic of the methodology to be applied for several mid-size cities is being developed in the Geography Department and in the Postgraduation Program of Geography of the State University of São Paulo, in President Prudente-SP.

The studies of Urban Climate developed by architects have their focus on Planning and Thermal Comfort. In the area of Meteorology, the analysis of the Urban Climate emphasizes the use of models of the urban atmosphere at a local scale and the analysis of air pollution. In what concerns public health issues, it must be highlighted the research of Paulo Saldiva, of the Medicine Department of the University of São Paulo, about morbidity and air pollution. Concerning this topic, it must also be referred the pioneer work of Helena Ribeiro about respiratory diseases.

In general, studies of urban climate in Brazil have reached a larger magnitude after 1990, being associated with the great challenge of fast urban growth. Brazil surpasses all the statistics of the developing countries, by gathering almost 80% of its population in urban areas.

## **Introdução**

Os estudos de Clima Urbano no Brasil tiveram início no final da década de setenta e início da década de 80 objetivando analisar a atmosfera no contexto da cidade. Os trabalhos realizados por geógrafos, na sua grande maioria, enfocaram a análise espacial e temporal das diferenças de temperatura e umidade no contexto do tecido urbano, tendo como ênfase os padrões de Uso da Terra.

A metodologia utilizada teve como embasamento a análise das medidas observadas no campo, em diferentes padrões de ocupação do solo, destacando-se as variações de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento.

O trabalho pioneiro da professora Inês Dani, na cidade de Porto Alegre, realizado no final da década de 80 (dissertação de mestrado), teve como resultado o mapeamento do campo térmico urbano e também de variação da umidade.

Monteiro (1976), na sua livre-docência, na Universidade de São Paulo, apresentou a proposta teórica metodológica “Teoria e Clima Urbano”, que marcou um caminho renovador para o estudo de Clima Urbano no Brasil e serviu de base para novas investigações neste campo, não somente entre os geógrafos, mas todos os pesquisadores que trabalhavam com o contexto urbano numa análise inter e multidisciplinar, englobando vários especialistas, notadamente os arquitetos interessados no ambiente urbano.

Lombardo (1985) no seu trabalho intitulado: “Ilha de Calor da Metrópole Paulistana – SP” (tese de doutorado) utilizou-se de imagens infra vermelhas da série de satélites meteorológicas (NOAA) e modelos para correção dos efeitos da atmosfera urbana para extrair a temperatura radiométrica e sensor MSS do satélite LANDSAT para analisar os diferentes padrões de Uso da Terra. A aferição de campo foi realizada com medidas fixas e móveis de temperatura e humidade.

No início da década de 90, o professor Francisco Mendonça utilizou-se de imagens infra-vermelhas da série LANDSAT (canal 6) para analisar as diferenças do campo térmico da cidade de Londrino – Paraná.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos na década de 90 visando focar a área de comportamento térmico das cidades. Estes estudos contribuíram para a compreensão da relação entre o processo de urbanização no Brasil e sua influência na atmosfera das cidades. Vários outros trabalhos foram desenvolvidos, não somente para as áreas metropolitanas como também para as cidades médias e pequenas.

A sistemática da metodologia para várias cidades de porte médio está sendo realizada no Departamento de Geografia e no programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, em Presidente Prudente-SP.

Os estudos de Clima Urbano realizados por arquitetos enfocam o Planejamento e Conforto Térmico. Na área da Meteorologia, as análises do Clima Urbano enfatizam o uso de modelos da atmosfera urbana na escala local e análise da poluição do ar. Na área de saúde pública, destacam-se os trabalhos do professor Paulo Saldiva, do Departamento de Medicina da USP, sobre morbidade e poluição do ar. Ainda nesta área cabe ressaltar o trabalho pioneiro da professora Helena Ribeiro Sobral sobre doenças respiratórias.

Em geral, os estudos de clima urbano no Brasil alcançaram maior envergadura após 1990 e estão associados ao grande desafio do acelerado crescimento urbano. O Brasil, ultrapassa todas as estatísticas dos países em desenvolvimento, concentrando quase 80% da sua população nas áreas urbanas.

### **Estudo de Clima Urbano na Ciência Geográfica Brasileira**

O trabalho de Monteiro (1976) serviu de diapasão para o desenvolvimento de metodologias, dando contribuição para a orientação de teses e dissertações de mestrado sobre o tema Clima Urbano.

Monteiro (1976) desenvolveu uma metodologia do estudo de clima urbano tendo como pressuposto que a cidade revela um produto de modificações nas componentes climáticas e caracterizou 10 enunciados básicos:

1- O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização;

2- O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere;

3- O Sistema Clima Urbano importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e /ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos;

4- As entradas de energia no Sistema Clima Urbano são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o Sol), implicando componentes dinâmicos inequívocos determinados pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto;

5- A avaliação da entrada de energia, provinda da circulação atmosférica, no Sistema Clima Urbano deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão;



6- A estrutura interna do Sistema Clima Urbano não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas;

7- O conjunto – produto do Sistema Clima Urbano pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana;

8- A natureza urbana do Sistema Clima Urbano implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização;

9- O Sistema Clima Urbano é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e / ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas prestabelecidas;

10- Pela possibilidade de interferência auto-reguladora, acrescentam-se ao Sistema Clima Urbano, como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um sistema morfogenético. (Monteiro, 1976, 95-102).

De acordo com Ely (2006), a ocorrência do clima urbano está intimamente ligada às áreas urbanas, mas incorpora também, o espaço do seu entorno imediato e as trocas de energia com a circulação atmosférica regional, demonstrando uma dinâmica escalar.

Para Monteiro (1976) as escalas climáticas superiores não apresentam dúvidas quanto à sua delimitação, pois derivam das diferentes espacializações da radiação solar (escalas zonal e regional). Contudo o desenvolvimento de pesquisas sobre o clima urbano exige um refinamento escalar que incorpore os mecanismos que articulam e organizam as escalas climáticas nas ordens de grandeza mais próximas da superfície, dependendo da compartimentação geomorfológica e dos processos derivados da urbanização.

O interior das cidades corresponde ao centro do sistema aberto às trocas energéticas que se dão entre as suas componentes internas (construções de diferentes materiais, cores, estruturas, fluxos de veículos e pessoas, processos industriais e reduzida cobertura vegetal) que produzem fenômenos variados, tais como as ilhas de calor, inversões térmicas, que interagem com a atmosfera em geral.

O sistema explanado por Monteiro visa a compreensão da organização climática da cidade que tem a atmosfera como seu operador, enquanto que todos os outros aspectos (a topografia, as variações verticais das construções, as áreas verdes, as pessoas). Para Monteiro (1976): a cidade desempenha funções:

[...] o organismo urbano, do ponto de vista da radiação, constitui a própria superfície terrestre no contexto do Sistema Clima Urbano. Todo esse organismo, através das diferentes formas de uso do solo e estrutura urbana, é

que passa a exercer os efeitos decisivos de reflexão, absorção e armazenamento térmico; efeitos de atrito e ventilação etc. Só num grande esforço de abstração podemos teorizar como se tais mecanismos fossem lentos e separados. Em matéria de funcionamento no sistema, tudo (ou quase tudo) se passa instantaneamente e ininterruptamente. (Monteiro, 1976, p. 98)

Monteiro (1976) considerou os seguintes canais de percepção humana:

a) Conforto térmico: englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam, através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente.

b) Qualidade do ar: a poluição é um dos maus do século, e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais a atenção. Associada à outras formas de poluição (água, solo, etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiente urbana.

c) Impacto meteórico: aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestades) que, assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e serviços. (MONTEIRO, 1976, p. 100)

Tendo como base estes canais de Clima Urbano foram desenvolvidos trabalhos acadêmicos nos seguintes eixos temáticos:

1. Estudos de Clima Urbano (Canal I – Conforto Térmico)
2. Estudos de Clima Urbano (Canal II – Qualidade do Ar)
3. Estudos de Clima Urbano (Canal III – Impacto Meteórico)

No estudo do Clima Urbano – Canal 1 – Conforto Térmico, o espaço urbano analisado desde as metrópoles, as regiões metropolitanas e as cidades de pequeno e médio porte apresentam a formação espacial destas áreas e sua expansão, mapeando os diferentes momentos de constituição do uso do solo urbano, a rugosidade urbana, a composição dos materiais das edificações, a densidade de construções e da população, dados sobre o tráfego de veículos e pessoas, dentre outras informações que caracterizam a dinâmica das ações humanas nesses espaços (Ely, 2006).

Os dados meteorológicos, produzidos pelas redes oficiais instaladas nas cidades, são tratados estatisticamente visando o estabelecimento de Medidas de Tendência Central e Dispersão e dos cálculos de Regressão e Correlação Linear Simples, além da aplicação das técnicas cartográficas de isopletas, do painel têmporo-espacial, de diagramas e cartogramas e do gráfico de análise rítmica para a identificação de ilhas de calor e para conhecer o efeito das construções sobre a circulação dos ventos, inversões térmicas, a emissão e concentração de núcleos de condensação no interior das cidades, procurando correlacionar o ritmo climático com as especificidades do uso do solo urbano (Ely, 2006).

A análise da comparação entre informações da atmosfera na cidade e nas áreas rurais adjacentes dão indícios da diminuição de umidade relativa do ar, correlação positiva entre o aumento populacional e a temperatura do ar, e alta variabilidade anual da precipitação nas áreas mais edificadas.

A identificação desses indícios demonstra a influência exercida pela urbanização na constituição dos climas urbanos e, nesse processo, o homem é concebido como “[...] agente que simultaneamente é produtor e usuário do

meio ambiente, mas também, através dele, algoz e vítima” (AGUIAR, 1995, p. 1).

Os estudos realizados sobre conforto térmico incluem ainda medidas de pontos fixos, moveis ou dispostos em um eixo, pré-estabelecidos em unidades geográficas distintas dentro das áreas urbanas. As coletas de campo são realizadas respeitando sempre os horários preconizados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) de modo a facilitar a correlação com as informações das estações meteorológicas oficiais, das cartas sinóticas e das imagens de satélite.

O uso de imagens de satélite, na faixa do espectro infra-vermelho termal tem contribuído, também, para a definição, formação e caracterização da Ilha de Calor no ambiente construído. As Ilhas de Calor produzem stress térmico, que geram efeitos negativos a saúde pública e podem ser identificadas pela falta de um planejamento adequado dos espaços urbanos. A utilização da geotecnologia, baseada na aplicação de Sistemas de Informação Geográfica e imagens de satélite de alta resolução vem sendo aplicada em estudos de clima urbano para mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo urbano.

Na área de percepção, o clima urbano é pesquisado tendo como metodologia a aplicação de questionários e entrevistas que visam apreender o significado das experiências vividas pela população no cotidiano dos lugares e a identificação dos mapas mentais elaborados pelas pessoas que convivem com o clima das cidades (Ely, 2006). O Canal I – Conforto Térmico (Monteiro, 1976) também é analisado de forma qualitativa utilizando-se a representação gráfica, com a superposição de cartas temáticas.

O Canal II – Qualidade do Ar (Monteiro, 1976) procura analisar os dados dos componentes químicos da atmosfera (dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, entre outros) e através da análise estatística são calculadas as medias diárias e mensais, e estes dados são associados as informações meteorológicas e sinóticas para a explicação dos períodos de concentração extrema dos poluentes na atmosfera urbana. Também são associados dados que caracterizam as áreas analisadas visando a identificação das fontes poluidoras.

Estudos realizados na Saúde Pública e Medicina relacionam a poluição do ar com a ocorrência de doenças, morbidade, enfim, com as questões que envolvem a qualidade de vida da população que vive nas cidades, como por exemplo, pode-se destacar as pesquisas realizadas por Paulo Saldiva e Helena Ribeiro Sobral.

O Canal III – Impacto Meteorológico (Monteiro, 1976), compreende os trabalhos que empregam dados estatísticos e cartográficos associados a análise rítmica objetivando a explicação sobre os fatores que desencadeiam a ocorrência de episódios climáticos extremos. São identificadas áreas de risco ambiental, tais como aquelas sujeitas a inundações, vendavais, desmoronamentos e a propagação de endemias nas cidades.

Muitos trabalhos utilizam as geotecnologias para a análise do clima urbano. No Brasil, os estudos pioneiros nesse setor utilizaram para os estudos do campo térmico das cidades imagens do satélite NOAA – AVRR (nos canais 4 e 5, infravermelho termal) e do satélite Landsat TM (canal 6, no infravermelho termal). Para análise dessas imagens Lombardo desenvolveu na década de 80, um algoritmo para se estabelecer relações entre níveis de cinza de imagens de satélite e a temperatura, utilizando para isso um programa de computação.

Mendonça na década de 90, em seu estudo para o município de Londrina, utilizando imagens Landsat TM, agrupou a superfície termicamente em classes, utilizando os valores de pixels sobre a imagem (considerando que os pixels variavam de 0 a 255, ele estipulou os mesmos valores para as escala de cores representada, resultando numa variação de cinza que vai do branco – 0 ao preto – 255)(Sousa, 2007).

A utilização de técnicas de videografia também tem trazido bons resultados para os estudos do campo térmico. De todas as técnicas, essa é a que tem o maior potencial para produzir estimativas com precisão de classes de cobertura do solo e seus usos. A videografia é uma técnica de sensoriamento remoto que faz uso de uma videocâmara digital de alta resolução, disposta na base de uma aeronave leve, e realiza o registro de uma faixa contínua do terreno.

Um GPS é utilizado para orientação e posicionamento da aeronave, minimizando possíveis erros criados pelo terreno e pelo ângulo entre a câmera e a superfície. A imagem contínua é subdividida em quadros ("frames") através de programa computacional específico. Com a utilização de um algoritmo específico é possível imprimir nessas imagens características termais; calibrando as fotografias a partir da estimativa dos diferentes albedos e pelo comprimento de onda coletado pelo sensor da câmera.

O processamento digital assim consiste na aplicação de funções matemáticas ou algoritmos aos dados gerados pelos sensores, transformando-os em novos produtos que possibilitam uma melhor visualização e extração de informações dos alvos de interesse (Valério Filho e Pinto, 1996).

Desse modo, as vantagens da videografia são muitas principalmente no que tange ao preço (custo menor em relação às fotografias aéreas tradicionais) e principalmente, sua resolução, que permite uma classificação efetiva das áreas urbanas em escala de detalhe. A videografia é uma das melhores alternativas para estudos e mapeamentos em cidades de pequeno e médio porte (Sousa, 2007).

É importante destacar os estudos de Clima Urbano realizados no Brasil, principalmente pelos geógrafos e a adequação escalar. Neste sentido, Monteiro (1976) apresenta uma categoria de escalas climáticas e suas articulações com o Clima Urbano.

Os primeiros trabalhos que analisam o Clima Urbano no Brasil, com enfoque no campo térmico, a partir de dados meteorológicos, medidas de pontos fixos e moveis de temperatura do ar, umidade relativa e direção e velocidade dos ventos são de Tavares (1974) que estudou o clima urbano de Campinas-SP e sua relação com a dinâmica climática regional.

Danni (1979) na sua dissertação de mestrado apresenta os resultados do estudo de clima urbano para a cidade de Porto Alegre-RS. Sartori, segundo Zavattini (2004).

Ordens de Grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de Superfície	Escala Cartográfica de Tratamento	Espaços Climáticos	Espaços Urbanos	Estratégias de Abordagem		
					Meios de Observação	Fatores de Organização	Técnicas de Análise
II	10 <sup>6</sup> Milhões de km	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude, centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	10 <sup>4</sup> Milhões de km	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas, sondagens aerológicas, rede meteorológica de superfície.	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes, Transectos
IV	10 <sup>2</sup> Centenas de km	1:1.000.000 01h50min.000	Sub-regional (Fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Porto meteorológico, rede complementar	Fatores geográficos regionais	Mapeamentos sistemáticos
V	10 dezenas de km	1:250.000 1:100.000	Local	Área Metropolitana metrópole	Registros móveis (episódicos)	Integração geoecológica, ação antrópica, urbanismo	Análise espacial especiais
VI	10 <sup>-2</sup> Centenas de km	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	(Detalhe)	arquitetura	
I	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade, fâcies de bairro/subúrbio de cidade	Baterias de instrumentos Especiais	habitação	
I	metros	1:2000	Microclima	Grande edificação Habitação			

Figura 1. Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. (Fonte: Monteiro, 1976, Org: Sousa, 2007)

Sartori foi uma das primeiras (senão a primeira geógrafa) a trabalhar com o Sistema Clima Urbano (SCU) proposto por Monteiro (1976) (...) cremos que foi (também) com esse trabalho que se iniciaram os estudos de clima urbano voltados para o fenômeno das ilhas de calor (...) pois, se tratando de ilhas de calor, cremos, que realmente, o de Sartori é pioneiríssimo". No seu trabalho, a autora analisou o ambiente urbano em 3 níveis: o regional, o local e

o urbano; propondo um modelo hipotético de clima urbano para Santa Maria (RS), numa tentativa (preliminar e precária) de verificação dos efeitos da ilha de calor, através de trabalho de campo intra-urbano.

Na década de 80, os trabalhos sobre clima urbano, enfatizam o campo térmico das cidades. Em 1981, podemos destacar o trabalho de Fonzar sobre Presidente Prudente, onde se buscou identificar o campo térmico da cidade através da verificação da presença de ilhas de calor, medidas em sete pontos da cidade (temperatura e umidade) durante três dias do mês de janeiro de 1980. No mesmo ano, Sampaio buscou analisar a correlação entre o uso do solo e as ilhas de calor em Salvador, analisando como episódio o período de 31/03 a 02/04 de 1980.

Lombardo (1985) desenvolveu uma metodologia de análise de ilhas de calor de modo a gerar um modelo do desenho do campo térmico da cidade, aplicando um algoritmo para retirar o efeito da atmosfera (Lowtran-7) das imagens termais da série NOAA. A autora integrou dados de emissividade dos diferentes alvos urbanos e realizou trabalhos de campo com análise de medidas fixas e móveis concomitantes com a passagem do satélite. O modelo, com a utilização do algoritmo Lowtran registrou diferenças de até 10°C de temperatura do ar na cidade de São Paulo.

Francisco Mendonça (1994) na sua tese de doutoramento faz uma análise do Clima Urbano da cidade de Londrina-PR, utilizando imagem termal do Landsat.

Na década de 90, várias cidades foram estudadas como: Curitiba (Danni – Oliveira, 1992a e 1992b), Florianópolis (Sezerino e Monteiro, 1990); Cuiabá (Maitelli, Zamparoni e Lombardo, 1991); Patos e Campina Grande (Imamura – Bornstein, 1991), Maringá (Santos e Ribeiro, 1991) e Rondonópolis (Sette e Tarifa, 1993).

Zamparoni (1995) analisou a formação do fenômeno de ilhas de calor em Barra do Bugres e Tangará da Serra (MT) utilizando para tal, medidas móveis e fixas realizadas em duas estações do ano (seca e chuvosa) no ano de 1993; revelando uma ilha de calor de intensidade 2°C na estação seca e 3,6 °C na estação chuvosa para Barra do Bugres e 4 °C e 5,4 °C para Tangará da Serra. No mesmo ano, Cruz analisou as características térmicas da camada intra-urbana de Rio Claro (SP), estabelecendo relações entre os tipos de tempo e a ocorrência de ilhas de calor em períodos diversos (inverno e verão). Martins (1996) comparou dados reais (medidos no verão e inverno) com as médias apresentadas nas normais climatológicas para a cidade de Juiz de Fora (MG), encontrando uma tendência de formação de ilhas de calor de forte intensidade tanto diurnas, como noturnas.

Brandão (1996) analisou o clima urbano da cidade do Rio de Janeiro analisando conjuntamente medidas de campo e imagens de satélites meteorológicos detectando a formação de ilhas de calor de moderada a forte intensidade (entre 4 e 5°C) as 15 e 21 horas no outono e inverno.

Pitton (1997) estudou cidades médias (Rio Claro e Araras) e pequenas (Cordeirópolis e Santa Gertrudes) buscando analisar o campo térmico das mesmas, utilizando para tais medidas móveis e estabelecendo unidades térmicas homogêneas.

Heyer (1997) buscou correlacionar os fatores de uso do solo com a localização de possíveis ilhas de calor, verificando a configuração climática da cidade através de medidas móveis num transecto que atravessou a cidade até

as regiões florestadas e comparando esses dados com os obtidos de pontos fixos espalhados pela cidade.

Em todos os estudos concluiu-se pela influência da urbanização na elevação da temperatura, ainda que com intensidades e feições diversificadas pelas peculiaridades e localização de cada cidade e pela ocasião dos experimentos.

Neste século, vários estudos estão sendo baseados em médias convencionais: trabalhos de campo, imagens de satélite e videografia.

Amorim (2002) vem desenvolvendo um trabalho importante sobre o clima urbano de Presidente Prudente-SP, e em cidades de porte médio e pequeno, orientando diversos trabalhos de mestrado e doutorado. Os trabalhos desenvolvidos têm mostrado que nas cidades médias as diferenças climáticas entre o centro e a periferia.

Conjuntamente com o Prof. João Lima Sant'anna Neto, no Depto. De Geografia e no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UNESP em Presidente Prudente, um grupo de professores vem desenvolvendo metodologia para a análise de clima urbano em cidades de porte médio e pequeno.

Mendonça (2004) fez as seguintes constatações com relação à dinâmica tempo-espacial na região conurbada de Florianópolis:

As ilhas de calor e frescor foram evidenciadas através de mapas do gradiente de temperatura. O exame comparativo do material cartográfico demonstrou significativa conservação de calor nos locais com ocupação mais verticalizada, adensada e de maior tráfego. Não se observou a formação de uma ilha de calor contínua, mas de um "arquipélago", o que reflete bem o caráter multinucleado da urbanização, derivado, em parte, da compartimentação morfológica do sítio urbano. As maiores diferenças de temperatura, caracterizando ilhas de calor mais intensas, ocorreram no setor central da região, sob domínio polar às 6h, enquanto em situações de transição e prenúncio frontal as maiores diferenças foram registradas às 15h.

Cruz, Lopatiuk e Lombardo (2007) mostraram que o conforto térmico em áreas urbanas está diretamente relacionado com os elementos que compõem as cidades, principalmente, no caso das áreas que se encontram em regiões nas quais são projetadas as sombras das construções e onde estas provocam a formação de corredores de vento e de bloqueio dos mesmos.

As questões que envolvem a importância da arborização para o clima urbano foram pesquisadas no centro de Ponta Grossa, uma cidade média subtropical no Paraná, Brasil, onde foi identificado que as diferenças de temperatura entre áreas arborizadas e não arborizadas pode variar de 4°C a 7,5°C, dependendo da posição das áreas no que diz respeito a maior ou menor exposição ao sol (Cruz e Lombardo, 2008).

## **O Estudo do Clima Urbano na Arquitetura**

Na escola da arquitetura brasileira, o clima urbano vem sendo pesquisado nas últimas décadas, com ênfase no planejamento urbano e na área de conforto térmico. A climatologia, com enfoque em planejamento urbano baseia-se em 3 aspectos principais: o problema da base teórica para a abordagem da climatologia no planejamento urbano, as escalas de abordagem na climatologia e no planejamento urbano, o desenvolvimento de uma

representação climática que seja aplicada no planejamento urbano e nos projetos urbanísticos.

No contexto do planejamento urbano é importante analisar o impacto das estruturas urbanas sobre a mudança climática, cruzando dados climáticos com uma classificação do uso do solo, densidade de ocupação e tipologia de edificação e integrar dados de sensoriamento remoto, no canal termal que auxiliam na análise de áreas com temperatura mais elevadas das cidades.

Deve-se destacar o doutorado de Assis (1990), na Universidade de São Paulo, que tendo como exemplo a cidade de Belo Horizonte, desenvolveu uma metodologia para integrar os dados climáticos com o impacto das estruturas urbanas, ou seja, a relação entre a rugosidade das cidades e o clima urbano.

Assis (1990) apresenta um método para processamento de dados climáticos a fim de se determinar o comportamento médio do campo térmico urbano durante os períodos críticos de verão e inverno e o correlacionou com a topologia de uso e ocupação do solo; abordando a questão das ilhas de calor como sendo um estudo necessário para o estabelecimento de diretrizes de planejamento urbano para o controle das condições térmicas.

Vecchia (1997) buscou estabelecer uma relação entre o clima e os ambientes humanos, sob a ótica do conforto ambiental. Neste trabalho foi possível estabelecer uma relação entre os fenômenos térmicos dos ambientes com os fatores geográficos e os componentes locais e específicos das edificações e do arranjo urbano. Santana (1997) relacionou a temperatura do ar, a forma urbana e o uso do solo na cidade de Fortaleza, de modo a levantar parâmetros de qualidade do meio ambiente urbano e de mostrar como a paisagem na cidade vem sendo descaracterizada. Duarte (2000) correlacionou os microclimas urbanos ao uso e ocupação do solo através de variáveis numéricas.

Katzschner (2000) desenvolveu metodologia da análise de clima urbano para o planejamento tendo como exemplo a cidade de Salvador. Kofler et al (2006) desenvolveu uma nova metodologia para incorporar elementos da atmosfera urbana no planejamento contribuindo para o ordenamento territorial da cidade de Ribeirão Preto-SP.

## **O Estudo do Clima Urbano na Meteorologia**

Na área de meteorologia, utiliza-se modelagem para análise da atmosfera, no contexto urbano. O modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) é o mais usualmente aplicado no Brasil. Este modelo foi desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado e tem como objetivo unificar vários códigos existentes de simulação numérica de tempo.

O modelo RAMS possui aninhamento de grades, com capacidade de representar a larga escala e progressivamente aninharse para escalas menores. O RAMS possui uma opção não hidrostática para que todas as escalas especiais meteorológicas relevantes possam ser representadas.

O conceito de módulos é usado no RAMS para fazer assistência no desenvolvimento de parametrizações de interfaces. A interface entre as subrotinas e o resto do RAMS é claramente definido pelo usuário do código.

O modelo RAMS/ISAN tem a capacidade de combinar e relacionar alguns conjuntos de dados para a análise e uma estrutura modular simplifica a inserção de dados não convencionais, adequando-se perfeitamente a análise



do Clima Urbano. Todos os níveis mandatários de vento, temperatura e umidade podem ser usados a partir de observações radiosondas ou adicionar observação de superfície disponível.

O código é também associado com o NOAA Forecast System Laboratory Maps (Mesoscale Analysis and Prediction System). O modelo RAMS possui uma assimilação de dados em quatro dimensões e implica uma integração de dados convencionais num modelo prognóstico. Neste sentido, a utilização deste modelo na abordagem de parâmetros meteorológicos em mesoescala possibilita apresentar os resultados em quatro dimensões (4DDA) e contribui para análise da realidade, desenvolvendo prognóstico.

Modelos como ETA, NCAR (modelo regional da Universidade do Colorado), Modelo Regional do Centro Hadley também são aplicados nos estudos de clima urbano no Brasil.

### **Considerações Finais**

A produção sobre clima urbano no Brasil vem se intensificando, particularmente nas universidades públicas, através dos projetos de pesquisa dos professores, pesquisadores e da produção de dissertações e teses; notadamente nos programas de Pós-Graduação em Geografia, na área de Conforto Térmico nas escolas de Arquitetura, Saúde Pública e nos Departamentos de Meteorologia, ressaltando os trabalhos desenvolvidos junto ao CPTEC no INPE.

Atualmente, várias publicações tem surgido no Brasil, as quais trazem alguns dos vários trabalhos que estão sendo feitos e que abordam a temática do clima urbano e que na maioria das vezes fazem referência aos trabalhos desenvolvidos nas décadas de 70, 80 e 90, por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, Magda Adelaide Lombardo, Inês Moresco Danni-Oliveira, Ana Maria de Paiva Macedo Brandão, Francisco Mendonça, entre outros.

Dentre as publicações mais recentes podemos destacar a edição do “livro Variabilidade e Mudanças Climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas” organizados pelos professores João Lima Sant’Anna Neto e João Afonso Zavatini, é o primeiro de uma série de livros que aborda a temática da climatologia geográfica e como um de seus subtemas está o clima das cidades, com dois artigos sobre o assunto.

O livro “Os Climas na cidade de São Paulo: teoria e prática”, organizado pelos professores José Roberto Tarifa e Tarik Rezende de Azevedo (2001), no qual são apresentados diversos trabalhos mais recentes sobre o clima na cidade de São Paulo. Em 2002, o professor João Lima Sant’Anna Neto organizou o livro “Os Climas das Cidades Brasileiras”, no qual são encontrados os resultados de diversas dissertações e teses que tratam do clima em cidade média, em diferentes regiões do Brasil, como São Luiz, Aracaju, Sococaba, Penápolis e Presidente Prudente.

Também deve destacar a edição de número 20, ano 19, volume 1 do boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros de 2003, que tratando da temática “Mudanças Climáticas: repercussões Globais e Locais”, apresenta alguns textos que abordam a questão do clima urbano e em particular o capítulo da professora Eleonor Sad de Assis. O livro Clima Urbano organizado por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro e Francisco Mendonça é resultado da reunião de diversos trabalhos desenvolvidos com base a metodologia do

professor Carlos Augusto, aplicado a diferentes cidades brasileiras de grande porte como Salvador, Rio de Janeiro, Curitiba etc.

Concluindo, os trabalhos sobre Clima Urbano tem se desenvolvido junto a comunidade científica brasileira, principalmente no âmbito acadêmico. Deve-se destacar a necessidade de desenvolver projetos interdisciplinares reunindo pesquisadores de diversas áreas do conhecimento técnico-científico que propiciem uma tomada de decisão política com base num novo paradigma de desenvolvimento sustentável.

## Bibliografia

- Amorim, M. C. C. T. (2002) - Características do Clima Urbano de Presidente Prudente – SP. *In Os climas das cidades brasileiras: São Luís (MA), Aracajú(SE), Campos Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba (SP), Penápolis (SP) e Presidente Prudente (SP)*. Presidente Prudente: UNESP: 145 - 164.
- Araújo, R. R.; Sant'anna Neto J. L. (2002) - O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís – MA. *In: Sant'anna Neto, J. L. Os climas das cidades brasileiras: São Luís (MA), Aracajú(SE), Campos Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba (SP), Penápolis (SP) e Presidente Prudente (SP)*. Presidente Prudente: UNESP, 2002: 21-41.
- Assis, E. S. (2003) - Métodos preditivos da Climatologia como subsídio ao planejamento urbano: aplicação em conforto térmico. *Terra Livre*. São Paulo, ano 19, 1, 20, jan/jul. 2003: 145-158.
- Assis, W. L.; Gontijo, B. M. (1996) - Algumas considerações sobre o clima de Belo Horizonte: o comportamento de elementos climáticos selecionados no período 1931/1990. *In: Simpósio brasileiro de climatologia geográfica. São Paulo*. UNESP, 1996: 14.
- Baldo, M. C.; Deffune, G. (1995/1996) - Compartimentação urbana como derivação do clima de Maringá - Pr. *In: In: Simpósio brasileiro de climatologia geográfica. São Paulo*. UNESP, 1996: 15.
- Brandão, A. M. P. M. (2003) - O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro. *In Clima Urbano*. Contexto. São Paulo.
- Camargo, S. F. (1998) - *Análise Episódica da Temperatura do Ar na Cidade de Ponta Grossa* — PR. Ponta Grossa, (Monografia de Especialização), UEPG
- Carvalho, H.; Corbella, O.; Silva, F. G. (sem data) - *Repercussões negativas no clima da cidade de João Pessoa PB devidas ao escalonamento dos edifícios na sua orla marítima*. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp407.asp> Acesso em 20/01/2007.
- Castilho, F. J. V. (2006) - *Abordagem Geográfica do Clima Urbano e da Enfermidades em São José do Rio Preto/SP*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Cruz, G. C. F.; Lombardo, M. A. (2008) - A Importância da Arborização para o Clima Urbano. *In Aguas Urbanas : Memórias, Gestão, Riscos e Regeneração*. Londrina: EDUEL.
- Cruz, G. C. F., Lopatiuk, M. M.; Lombardo, M. A. (2007) Conforto térmico em áreas urbanas: um estudo de caso em Ponta Grossa- PR. *In anais do II Seminário sobre Regeneração Ambiental de Cidades - Águas Urbanas II*. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, (Cd Room).
- Danni, I. M. (1980) A Ilha Térmica de Porto Alegre. *Boletim Gaúcho de Geografia*, nº 8, Porto Alegre: 3-48.
- Danni, I. M. (1987) - *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em janeiro de 1982. Contribuição ao estudo do clima urbano*.

- Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia do Instituto de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Danni-Oliveira, I. M.; Tarifa, J. R. (1996) - Os ventos de Inverno na cidade de Curitiba - Pr. In: *Simpósio brasileiro de climatologia geográfica*. São Paulo: UNESP: 20.
- Danni-Oliveira, I. M.; Tarifa, J. R. (1992) - Aspectos térmicos a tendência da temperatura na cidade de Curitiba - PR. In: *Simpósio brasileiro de climatologia geográfica*. Rio Claro: UNESP: 42.
- Danni-Oliveira, I. M.; Tarifa, J. R. (2000) - Considerações sobre a Poluição do ar em Curitiba-Pr face a seus aspectos de urbanização. *R. RA'EGA*, Curitiba, 4: 101-110.
- Ely, D. F. (2006) - *Teoria e Métodos da Climatologia Geográfica Brasileira: Uma abordagem sobre seus discursos e práticas*. Tese (Doutorado) Unesp, Presidente Prudente.
- Fonzar, B.C. (1981) - *O processo de ocupação regional, o modelo urbano e o conforto térmico na Alta Sorocaba: um teste aplicado a Presidente Prudente*. Dissertação (Mestrado). FFLCH:USP. São Paulo.
- Grilo, R. C. (1993) - Clima urbano. *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro, 23, 45-46: 137-143.
- Katzschner, L. (2000) - Urban redevelopment under consideration of climatological aspects, *Environmental Metereology*, p. 461-472.
- Kofler, M.; Caporusso, D.; Lombardo, M. A. (2006) - O Uso de Imagem Termal para Identificar o Fenômeno de Ilha de Calor na Área Urbana da Cidade de Ribeirão Preto – SP, Brasil. In: *PLURIS, 2006, 2º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, Universidade do Minho, em Braga, Portugal, 27, 28 e 29 de Setembro de 2006.
- Lombardo, M. (1985) - A Ilha de calor nas metrópoles - o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec.
- Mendonça, F. A. (1996) - O clima e o planejamento urbano: a particularidade das cidades de porte médio e pequeno. *Boletim climatológico*, Presidente Prudente, 2: 21-30.
- Mendonça, M. (sem data) - *A Dinâmica Têmporo-Espacial do Clima Subtropical na Região Conurbada de Florianópolis/Sc*. Disponível em: <<http://www.cfh.ufsc.br/~gcn/semageo%2024/resumo8.htm>>. Acesso em 15/12/2006.
- Monteiro, C. A. F. (1976) - *Teoria e Clima Urbano. São Paulo* (Série teses e monografias, 25) - Instituto de Geografia da USP.
- Monteiro, C. A. F. (1976) - *O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas*. (Série teses e monografias, 28) - Instituto de Geografia da USP, São Paulo.
- Monteiro, C. A. F. (1990) - Adentrar a Cidade para Tomar-lhe a Temperatura. *Geosul*. Florianópolis, 9: 61-79.
- Mendonça, F. (2003) - *Clima Urbano*. Contexto. São Paulo.
- Pltton, S.E.C. (1997) - *As cidades como indicadoras de alterações térmicas*. Tese (doutorado). FFLCH:USP. São Paulo.
- Sant'anna Neto, J. L.; Zavatini, J. A. (org.) (2000) - *Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: Eduem.
- Sant'anna Neto, J. L. (2002) - *Os Climas das Cidades Brasileiras: São Luiz (MA), Aracaju(SE), Campo Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba(SP) e Presidente Prudente(SP)*. Presidente Prudente: [s.n.].
- Sousa, J. L. (2007) - *Análise do campo térmico de cidades de médio porte : estudo de caso no pólo têxtil de Americana – SP*. Rio Claro : Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.
- Tavares, A. C. (1974) - *O clima local de Campinas (introdução ao estudo do clima urbano)*. Dissertação (Mestrado). FFLCH:USP. São Paulo.

- Valerio Filho, M.; Pinto, S. A. F. (1996) - Imagens orbitais aplicadas ao levantamento de dados no meio físico: contribuição ao planejamento de microbacias hidrográficas. In: Castro Filho & Muzilli, O.; (ORG.) *Manejo integrado de solos em bacias hidrográficas*. Paraná: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Seccao ii,; 9 -77.
- Vecchia, F. (1997) - Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. Tese (doutorado). FFLCH:USP. São Paulo, 1997.
- Zavatini, J. A.. (1996) - A climatologia brasileira, o enfoque dinâmico e a noção de ritmo climático - desenvolvimento, progresso e perspectivas. *Boletim climatológico*, Presidente Prudente, v. 2:. 11-20.