

ORIENTAÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ORDENAMENTO EM LISBOA



CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS

ÁREA DE INVESTIGAÇÃO DE GEO-ECOLOGIA
Universidade de Lisboa

2005

Maria João Alcoforado
António Lopes
Henrique Andrade
João Vasconcelos

FICHA TÉCNICA

Título: Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa

Autores: Maria João Alcoforado; António Lopes; Henrique Andrade; João Vasconcelos

Concepção da capa: António Lopes

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

Edição e distribuição: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

Impressão: David Barreira

Tiragem: 100 exemplares

ISBN-10: 972-636-165-6

ISBN-13: 978-972-636-165-7

ORIENTAÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ORDENAMENTO EM LISBOA

Maria João Alcoforado
António Lopes
Henrique Andrade
João Vasconcelos

Universidade de Lisboa
Centro de Estudos Geográficos
Área de Investigação de Geo-Ecologia
2006

Índice

Abstract	7
Resumo	13
Preâmbulo	17
1. Introdução	21
1.1. <i>Traços da expansão recente da cidade de Lisboa.</i>	<i>22</i>
1.2. <i>A componente climática nos Planos Directores Municipais</i>	<i>24</i>
2. Características do clima urbano de Lisboa	27
2.1. <i>A temperatura na atmosfera urbana inferior: Ilha de calor e ilha de frescura.</i>	<i>28</i>
2.2. <i>O vento em Lisboa e sua modificação pela crescente taxa de urbanização</i>	<i>34</i>
2.2.1. <i>Importância e consequências do vento no ambiente da cidade.....</i>	<i>34</i>
2.2.2. <i>Características do vento em Lisboa.....</i>	<i>35</i>
2.2.3. <i>Diminuição da velocidade média do vento com o crescimento urbano.....</i>	<i>36</i>
3. Base cartográfica para a espacialização das orientações para o ordenamento	41
3.1. <i>Metodologia</i>	<i>41</i>
3.2. <i>Ocupação do solo e morfologia urbana.....</i>	<i>43</i>
3.3. <i>O relevo de Lisboa e as classes de ventilação.....</i>	<i>45</i>
3.4. <i>O mapa dos climatopos</i>	<i>48</i>
4. Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa.....	53
4.1. <i>Introdução.....</i>	<i>53</i>
4.2. <i>Orientações gerais.....</i>	<i>56</i>
4.2.1. <i>Melhoria da ventilação no espaço urbano</i>	<i>56</i>
4.2.2. <i>Mitigação da ilha de calor urbano.....</i>	<i>57</i>
4.3. <i>Orientações especializadas.....</i>	<i>59</i>
Remate	67
Bibliografia.....	71
Índice de figuras.....	79
Índice de quadros.....	81

Abstract

Climatic Evaluation For Urban Planning in Lisbon

Climate is one element of the urban physical environment and an important component in improving sustainability of cities and the quality of urban life. However *climatic* quality it is not often taken into account in urban planning (Oke, 1984, 2005; Eliasson, 2000; Mills 2005) and there is hardly any legislation on climate effects in cities.

The initial research that lead to these results was carried out in the frame of

the CLIMLIS project: *Prescription of climatic principles in urban planning. Application to Lisbon* (POCTI/34683/GEO/2000), whose main goals were to increase knowledge of urban climate in Lisbon, to foresee the changes that will result from the process of urbanisation and also to suggest solutions in order to reduce the negative local effects of built-up areas.

The *City Council* (*Câmara Municipal de Lisboa, CML*) became increasingly interested in our research and financed another small project (*CML Project*) to “spatialise” guidelines for planning on maps at different scales. The present report includes some of the results of the CML project, developed by a group of researchers of the *Centro de Estudos Geográficos (CEG)* of the *University of Lisbon* (*Urban Climatology Team; Geo-ecology Research Area*) and the *Lisbon’s City Council*.

The main objective of the CML project was to “translate” knowledge of Lisbon’s urban climate into simple guidelines for urban planning in order to mitigate the urban heat island, promote ventilation and increase air quality. In the first stage of the project **the main climatic problems of Lisbon were detected**. They are related with the **urban heat island, wind and air quality**. This work was based on previous and present observational studies and modelling (Alcoforado, 1992b; Andrade, 2003; Lopes, 2002 and 2003; Alcoforado and Andrade, 2005; Andrade and Alcoforado, accepted; Vasconcelos et al., 2004, among others). Particular attention was given to **green spaces** (Andrade and Vieira, 2005). Temperature and humidity sensors were used for data acquisition in a network that includes 12 fixed stations equipped with data-loggers in sites with high sky view factors (>0.65), which are as free as possible of microclimatic influence of buildings and vegetation. Different models were used to estimate wind speed and mean radiant temperature (Envi-met, Rayman, WA_sP) and the different terms of the energy balance were modelled.

The Lisbon urban heat island (UHI) has an average intensity of 3°C: the highest air temperatures occur mostly in the more densely constructed areas near the Tagus river bank and along the main circulation axis where there is ongoing construction. In areas of contrasting thermal seasons such as Lisbon, UHI may be a positive feature in winter but acts certainly very negatively in the summer by increasing discomfort and creating health problems for city dwellers; furthermore, it raises the level of oxidant pollution and increases energy consumption to cool

buildings. In scenarios of global warming, UHI will increasingly grow as a nuisance. In this context, it was decided **UHI mitigation was a priority**.

Prevailing N and NW wind circulation (circa 70% of the cases in summer afternoons) is hindered by the densely built-up southern and central neighbourhoods. By way of a numerical model, summer wind speed reduction until the 1980s (an important decade in urban expansion in Lisbon) was simulated (Lopes, 2002 and 2003). Wind speed decrease due to surface roughness was particularly important in the densely built-up southern city-districts (where z_0 is - close to 1m) and over the Monsanto hill (200m, westwards from the most densely built-up areas, Fig.1). Nowadays, construction continues in the northern neighbourhoods although there are still large open spaces left. Lisbon has become a rather polluted city, and some evidence of **air quality** impoverishment has been recently (2004) pointed out at a conference on Lisbon Air Quality. Legal thresholds are sometimes exceeded, as was the case in January 1993 when frequent anticyclonic calm conditions occurred (Andrade, 1996). It is also clear that to improve air quality, air circulation should not be hampered.

Based in our dialogue with planners and on the experience from authors working in the same topics (Zrudlo, 1988; Scherer et al., 1999; Feherenbach et al., 2001; several works referring to Germany quoted by Matzarakis, 2005; Baumüller et al., 2005, among others), it became clear that planners need very **clear guidelines with regard to areas whose limits are very precisely drawn on a detailed map**.

To make steps in order to answer these questions, two climate maps have been prepared and will be included (for the moment only as annexes) in the new master plan for Lisbon:

1 - The Climatope Map (fig. 16): “areas of characteristic combination of climatic factors and of similar relative significance for their surroundings(...)” that can be considered as ‘atmospheric response units’ (establishing a relation with the hydrologic response units (Scherer et al., 1999, p.4187))

As a help to construct the climatope map, a detailed cartography of Lisbon’s “physical” features (**Map of Lisbon’s urban morphology for climatic purposes**,

fig. 12) was previously carried out, using a GIS. Based on Landsat images the landuse/landcover classes of the city were defined. Several processing tools (image enhancement, false colour composite, etc.) and supervised classifications (especially maximum likelihood technique and accuracy assessment) were used for that propose. A **ventilation** map was otherwise prepared, based on a DTM (fig. 13, 14 and 15). The final climatope map was obtained by crossing land use/cover units and ventilation classes (fig. 11 and 16)

2 - The map of climatic guidelines for urban planning (fig. 18). The climatope map was an indispensable cartographic tool for the drawing of the present map. The descriptive caption consists of one table (Table III) where recommended measures to mitigate UHI, enhance ventilation and decrease air pollution are listed. Guidelines differ according to the position within the city, topography and built-up density. For instance, in the northern part of Lisbon, setting up large green areas may be advised to moderate UHI, while in the city core, one can only recommend planting some trees in the rare areas still left. In the northern part of the city, large ventilation paths can still be preserved, while in the city centre, the only possible measure is to not obstruct the valley beds even further. Guidelines for planning with regard to each group of climatopes are synthesised below.

Area of low density of the North of Lisbon (A, fig.18 and Table III) - As the gradient wind is not yet excessively slowed down, everything must be done to maintain this situation: this will lead to positive consequences not only in the northern city districts but also in central and southern Lisbon, preventing overheating and excessively high pollution values. As this is obviously an area with high building pressure, mainly in the NW sector, the guidelines are to avoid very densely built-up areas (H/W should be inferior to 1), to promote ventilation paths along large highways or between city-districts and create large green areas next to each new urbanized quarter. The southern limit of this area is indicated on Fig.16 as an important aerodynamic boundary. To the South of this limit, there is a great wind speed reduction due to $Z_0 \sim 1$, while to the North of the same line there is still little wind speed modification.

Areas of medium and high density, South of the aerodynamic boundary (B and C) - already very densely built-up (more so in unit C). Unit C comprehends the old

town centre and most of the city built until the 1950s. There is hardly any room to plant green areas, though roof gardens could be a possibility and deciduous trees could be planted on some streets. Types of construction materials used to renovate buildings should be of a light colour and weak thermal admittance (Oke et al., 1991; Doulos et al., 2004). There is a habit of covering terraces with a dark isolating (from rainwater) material, which contributes to summer overheating of buildings and surface UHI. In unit B, H/W should be kept to less than 1 where buildings are still under construction.

Ventilation paths (D) - The limits of this unit depend on three main factors: topography (in southern Lisbon, unit D corresponds to the main N-S and NW-SE valley bottoms in fig.16), built-up density (low built-up density axes in N Lisbon) and orientation along a roughly N-S direction (the same as the prevailing winds). In order to maintain suitable ventilation in these units, no high buildings oriented E-W should be allowed. Trees planted along these axes should not form dense windbreaks. If these rules are followed, better ventilation will lead to positive effects on temperature and air quality.

Tagus Bank (E) - A narrow strip of land along the River Tagus is affected by Tagus breezes (35% of summer early afternoons) that have a very positive effect on thermal comfort in the summer. In S and SW Lisbon there is already a relatively high construction density, but building height is on average less than 15m. However, new city-districts have been built in the last decade in Eastern Lisbon. As construction continues, planners should be aware that buildings whose main length runs parallel to the Tagus bank prevent inland circulation of fresh air. So the two main guidelines for this unit is to avoid construction of very high buildings and to maintain ventilation paths perpendicular or oblique to the riverside.

Green areas (F) - The positive influence of urban green areas is well known (climatic, biologic, hydrologic, social, cultural, etc.). Green areas of small dimensions are useful to dwellers in a neighbourhood and if their inner structure is varied (with ponds, lawns, tall trees, shrubs) several types of microclimates will be generated. Living at a short distance on foot from a small garden is one of the factors that contribute to the quality of life of urban citizens. Beside the influence inside the green area, it is well known that a medium- or large-sized park will modify temperature, humidity, radiant temperature and wind in the surrounding neighbourhoods

(Wilmers, 1988; Spronken-Smith and Oke, 1998; Upmanis et al., 1999). So it is advisable to maintain existing green areas (and not replace them with parking lots) and to create others wherever there is enough space left. The new green spaces should have a diversified inner structure. Dense windbreaks should be included windward from leisure areas. Some of the results on Lisbon urban green areas have been recently published (Andrade and Vieira, 2005).

Suitable planning will also lead to a decrease in energy consumption. Prior to calculations for the economical influence of different urban structures, a study of microclimatic conditions within urban canyons must be carried out. The CLIMLIS and the CML Projects proved an excellent opportunity to move from theoretical considerations to applied research. We wanted to give clear and simple guidelines with regard to specific places, because Portuguese management plans (Alcoforado and Vieira, 2004) usually provide only general and not always correct considerations as to climate. Our objective is to contribute to further discussions on the choice of the best methodology for this kind of work.

As referred above, we have tried during the CML Project to surmount some of the difficulties involved in applied climatology (Oke, 1984; 2005; Eliasson, 2000). One of them is the need to have a **dialogue** with planners and this has now begun between the Geography Department of the University of Lisbon and the “Department of Strategic Planning” of the Lisbon City Council. This dialogue grew easier as work progressed and parts of the maps have been jointly drawn. We had to learn to transmit our “climatologic message” in a simpler and more comprehensible form (without losing scientific accuracy) and the planners we worked with explained to the University team what their needs and expectations were in terms of strategic planning. Although the inclusion of climate guidelines is not yet compulsory in master plans (unlike noise and pollution, whose levels are regulated by law), we are making efforts to make clear and disseminate the idea that climatic guidelines should be systematically included in master plans of urban municipalities.

Resumo

O clima é um importante elemento do ambiente urbano; contudo, a qualidade do clima não é habitualmente tida em consideração no planeamento urbano e na promoção da sustentabilidade urbana e não existe ainda qualquer legislação sobre o assunto.

No âmbito da investigação sobre o clima urbano de Lisboa no Centro de Estudos Geográficos (CEG), vários temas têm sido tratados (nomeadamente em três teses de doutoramento e três de mestrado), tendo sido dado particular relevo às características da ilha de calor urbano e ao regime de ventos na cidade, a diferentes escalas. Os estudos foram prosseguidos no âmbito do projecto “Princípios climáticos para o planeamento urbano. Aplicação a Lisboa” (*CLIMLIS*), cujos principais objectivos eram, além de aprofundar os conhecimentos sobre o clima de Lisboa, de prever as

modificações climáticas devidas ao crescimento da cidade e sugerir soluções para reduzir os impactos negativos do clima urbano. O interesse demonstrado pela Câmara Municipal de Lisboa (CML) neste trabalho levou ao início de outro projecto (Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa), financiado por esta entidade.

Um dos obstáculos à aplicação útil dos conhecimentos de climatologia urbana é a dificuldade de comunicação entre os investigadores desta área e os agentes de planeamento; com o presente trabalho, procuramos contribuir para colmatar essa lacuna, “transformando” os conhecimentos adquiridos, nas duas últimas décadas, sobre o clima urbano de Lisboa, num conjunto de orientações climáticas para o planeamento e ordenamento urbanos. A partir do diálogo encetado com técnicos do planeamento da CML, foram definidas as principais linhas das propostas, que se prendem com a mitigação da ilha de calor urbano e com a melhoria das condições de ventilação. A execução do mapa das orientações climáticas para o ordenamento (fig. 18) foi precedido de outro elemento cartográfico indispensável, o mapa dos **climatopos** (fig. 16), áreas da cidade com características físicas homogéneas (considerando o relevo e a morfologia urbana) e que potencialmente apresentarão uma resposta climática semelhante.

Como base para a construção do **mapa dos climatopos** (fig. 16), foram produzidos os mapas da *morfologia urbana para fins climáticos* (através do tratamento de imagens de satélite Landsat) e das *classes de ventilação* (a partir do relevo e da rugosidade urbana); um elemento essencial do mapa das classes de ventilação é o “limite aerodinâmico”, que corresponde à fronteira entre as áreas de alta rugosidade do Sul da cidade e aquelas, no Norte de Lisboa, onde o atrito não é acrescido nem pela rugosidade própria da cidade, nem pelo relevo. A partir das classes de morfologia urbana e de ventilação foram obtidas 24 *climatopos*, reduzidos para 8 através de um procedimento explicado no texto e resumido na figura 11. As orientações para o ordenamento são sugeridas para os seguintes grupos de climatopos (fig.18 e Quadro III)

No **Norte da cidade** (a Norte do limite de rugosidade – A), foi delimitada uma extensa “área de baixa rugosidade”, constituída pelos sectores ainda relativamente vastos, com baixa ou média densidade de construção e, em relação à

qual se define, como prioridade, a manutenção de baixos níveis de rugosidade e a criação de extensas áreas verdes; pretende-se, além de manter a qualidade climática da área, impedir que o aumento da rugosidade (dependente sobretudo do tipo de implantação urbana) venha a prejudicar as condições de ventilação e a qualidade do ar nas áreas a sotavento.

No **Sul da cidade**, em relação às áreas de **média e alta densidade** de construção (**B e C**) e nas quais os impactes negativos do clima urbano (ilha de calor e degradação das condições de ventilação e da qualidade do ar) são mais evidentes, propõe-se sobretudo evitar densificar a construção e aumentar a altura dos edifícios, manter ou aumentar, na medida do possível, a área verde e adoptar soluções construtivas que atenuem o aquecimento urbano, sobretudo através da escolha adequada dos materiais de construção e de cobertura.

Foram também delimitados uma série de **corredores de ventilação (D)**, de orientação aproximadamente N-S (NW-SE a NE-SW), correspondendo a faixas relativamente desocupadas, ainda existentes no Norte da cidade e a grandes eixos viários que se prolongam pelos fundos de vale no Sul da cidade, com uma certa continuidade espacial; estas faixas “cruzam” ou agregam diferentes climatopos. A sua principal função é a de permitir a continuação da penetração dos ventos dominantes de N e NW até ao centro da cidade.

A **frente ribeirinha (E)** é a área com mais frequência afectada pelas brisas do Tejo e do Oceano, importantes factores de arrefecimento da atmosfera urbana, durante o Verão; nesta área a principal preocupação deverá ser a de permitir a livre circulação das brisas, através de um adequado ordenamento das construções (nomeadamente da sua orientação em relação à margem do rio).

A influência positiva dos **espaços verdes (F)** sobre o ambiente urbano é bem conhecida. Além de modificarem o seu próprio clima, originando condições mais frescas do que as do espaço construído envolvente, pode-se criar, no interior dos espaços verdes com uma estrutura diversificada, um mosaico variado de microclimas. Os espaços verdes (sobretudo os de média ou grande dimensão) podem também influenciar, de forma positiva, o clima de áreas construídas próximas. Considera-se por isso desejável manter ou aumentar, sempre que possível, a área ocupada por

vegetação, criando espaços verdes com uma estrutura diversificada e privilegiando a vegetação caducifolia nas áreas recreativas e residenciais; quando a sua função seja fundamentalmente de abrigo ou protecção, pelo contrário, devem-se utilizar espécies de folha persistente.

Preâmbulo

Do ponto de vista ambiental, a criação de espaços urbanos, que proporcionem melhor qualidade de vida e maior eficiência energética é um desafio para os agentes de planeamento, dispostos a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

As cidades são estruturas espaciais muito diversificadas, compostas por variadas unidades de uso do solo. Estas unidades são caracterizadas por diferentes funções (habitacionais, industriais, serviços, de recreio, etc.) e morfologias (forma e disposição dos elementos que constituem o espaço urbano).

O conhecimento das condições climáticas regionais (representadas pelas estações meteorológicas das redes clássicas) não é suficiente para avaliar as características climáticas no espaço urbano, na medida em que a cidade (através das suas componentes físicas e funcionais) modifica profundamente essas condições,

podendo criar situações claramente desfavoráveis.

Os problemas climáticos mais comuns nas cidades estão associados à **componente térmica** (por exemplo através do efeito da ilha de calor urbano, que pode ter consequências no desconforto térmico, na saúde e no consumo energético) e à **circulação do ar**. A diminuição da velocidade do vento de gradiente tem como resultado a diminuição do arejamento da cidade, o que não obsta a que conjuntos de edifícios possam **pontualmente acelerar o vento** e aumentar a turbulência mecânica, com consequências nefastas. Outros problemas ambientais nas cidades estão indirectamente associados ao clima urbano, como por exemplo **as cheias**, que embora relacionadas com episódios de precipitação intensa, são essencialmente do domínio hidrológico (Oliveira e Ramos, 2002). Neste trabalho, apenas as componentes “temperatura” e “vento” são consideradas.

Na sequência da investigação sobre clima urbano de Lisboa, desenvolvida desde a década de 80, no Centro de Estudos Geográficos (CEG) (Alcoforado, 1985, 1986, 1987, 1989, 1991, 1992a e 1992b), procurou-se, no âmbito do projecto “Princípios climáticos para o planeamento urbano. Aplicação a Lisboa” - CLIMLIS (POCTI/34683/GEO/2000), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, aprofundar esses conhecimentos e reflectir sobre a aplicação dos conhecimentos teóricos sobre o clima urbano. Este projecto teve numerosos resultados, entre os quais duas teses de doutoramento (Andrade, 2003; Lopes, 2003) e diferentes publicações posteriores, referidas no relatório final (Alcoforado et al., 2004). O projecto CLIMLIS foi levado a cabo num grupo interdisciplinar em que cooperaram geógrafos, engenheiros, arquitectos e meteorologistas de diversas instituições nacionais (CEG, LNEC e IM) e contou ainda com diversos consultores entre os quais os Professores Tim Oke, da Universidade de Vancouver, Canada (referência incontestável em Climatologia urbana), Wilfried Endlicher, da Universidade de Berlim (que se encontra de momento a coordenar um grande projecto sobre o ambiente físico urbano daquela cidade) e Ana Maria Silva, Professora do Departamento de Geofísica da Universidade de Évora, que deu um muito importante apoio à resolução dos problemas na sua área.

A partir dos referidos estudos e de numerosos artigos, em que são discutidos os problemas de aplicação da climatologia ao ordenamento (Oke, 1984; Bitan, 1988; Alcoforado, 1999; Mills, 2003), considerou-se tarefa prioritária realizar uma aplicação

concreta dos conhecimentos teóricos sobre o clima de Lisboa ao ordenamento urbano, com o objectivo de contribuir para a qualidade climática da cidade. Este trabalho, que se situa a montante da integração com outros estudos ambientais, foi inspirado, nas suas linhas gerais, em estudos já implementados nalguns países europeus: Alemanha (numerosas referências em Matzarakis, 2005), Áustria (Lazar e Podesser, 1999), Suécia (Lindqvist, 1991) e Suíça (Scherer et al., 1999; Thommes et al., 2001, Fehrenbach et al., 2001).

A possibilidade de concretizar esse objectivo surgiu através do projecto entre a Câmara Municipal de Lisboa (CML) e o CEG “Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa”, do qual resultou um relatório com o mesmo nome, e uma apresentação oral na sessão pública “**Componentes Ambientais na Revisão do PDM**”, organizada pela CML, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Junho de 2005. Durante o projecto, iniciou-se um profícuo diálogo com os técnicos do Departamento de Planeamento Estratégico da Câmara Municipal de Lisboa, que - espera-se - terá continuidade no futuro.

No presente trabalho é feita uma apresentação desenvolvida dos resultados da primeira parte do projecto de colaboração entre a CML e o CEG (e que será designado, daqui para a frente “Projecto CML”). Na sequência deste estudo, na **escala mesoclimática** e local, foi desenvolvido um outro, na escala microclimática, numa parte do bairro de **Telheiras**, escolhido a título de exemplo de um bairro numa área em expansão urbana do Norte de Lisboa. Pretende mostrar-se, a partir de um caso concreto, a adaptação de orientações preconizadas para o conjunto da cidade, para a escala de um bairro, frisando os diferentes objectivos, medidas sugeridas e os conflitos possíveis entre orientações a escalas diversas; os resultados foram já parcialmente divulgados oralmente na sessão pública acima mencionada, tendo já sido objecto de algumas publicações (Andrade, 2003; Lopes, 2003; Andrade e Alcoforado, no prelo)

1. Introdução

Os espaços urbanos criam problemas ambientais particularmente graves, nos quais a componente climática assume grande relevância. Naturalmente, Lisboa não é uma excepção. Contudo, um aspecto que torna particularmente actual a investigação sobre o clima de Lisboa é a forma inegavelmente desordenada como se tem processado a expansão urbana na área metropolitana de Lisboa (e dentro dos limites da própria cidade), com inevitáveis impactes negativos em termos ambientais. O estudo desses impactes (já observados ou previstos em função das tendências actuais de crescimento urbano) é uma das principais preocupações do trabalho aqui apresentado. Considerando a realidade urbana como essencialmente dinâmica, torna-se por isso necessário fazer uma breve resenha da forma como a cidade de Lisboa se tem modificado.

1.1. Traços da expansão recente da cidade de Lisboa.

No princípio do século XX, Lisboa cresceu segundo um padrão digitiforme ao longo de eixos ferroviários e rodoviários. Depois da década de 30, a população cresceu à custa da imigração rural, que ia ocupando os interstícios devolutos, em bairros que chegaram aos nossos dias totalmente degradados. No período de Duarte Pacheco (presidente da Câmara de Lisboa e Ministro das Obras Públicas, entre 1930-43), Lisboa foi alvo de um projecto global que pretendia pôr cobro aos contratos de urbanização, que interesses particulares impunham à forma de crescimento da cidade. A cidade cresceu para Norte e Nordeste com o prolongamento da Av. Almirante Reis desde a Alameda até ao Areeiro e abriu-se a Avenida do Aeroporto, eixos de orientação geral Sul/Norte. O município decide-se pela criação do Parque Florestal Ocidental da cidade (na colina de Monsanto), que seria o pulmão verde de Lisboa. "A cidade de 40 era ordenada e funcionalmente segregada". (Barata Salgueiro, 1992). É a época de blocos residenciais livres e separados por zonas verdes, com conveniente exposição solar e arejamento.

Actualmente, a Área Metropolitana de Lisboa (AML) encontra-se em franco desenvolvimento urbano, mostrando sinais de maior vitalidade demográfica do que outras regiões no País, sobretudo após o decénio da emigração nos anos 60 do século XX (Barata Salgueiro, 1992, 2001). Criada em 1991, a AML é uma extensa "cidade metrópole/conurbação" com 2 962,6 km² e mais de 2,5 milhões de habitantes, que agrega 18 municípios. As grandes áreas em expansão encontram-se no Norte e Noroeste da cidade, prolongando-se pelos concelhos limítrofes. No entanto tudo parece apontar para o aumento dos índices de construção, sobretudo devido ao aumento da altura dos prédios (Barata Salgueiro, 1992). Foram construídos inúmeros prédios mais ou menos elevados, onde os lotes foram ocupados à medida que os promotores imobiliários adquiriam licenças de construção. Salvo raras excepções, as novas áreas urbanas não são planeadas de uma forma integrada, nem têm volumetrias adaptadas às áreas onde se inserem, levando ao "desordenamento periférico" reinante no Norte da cidade nas últimas décadas (Consiglieri, 1993).

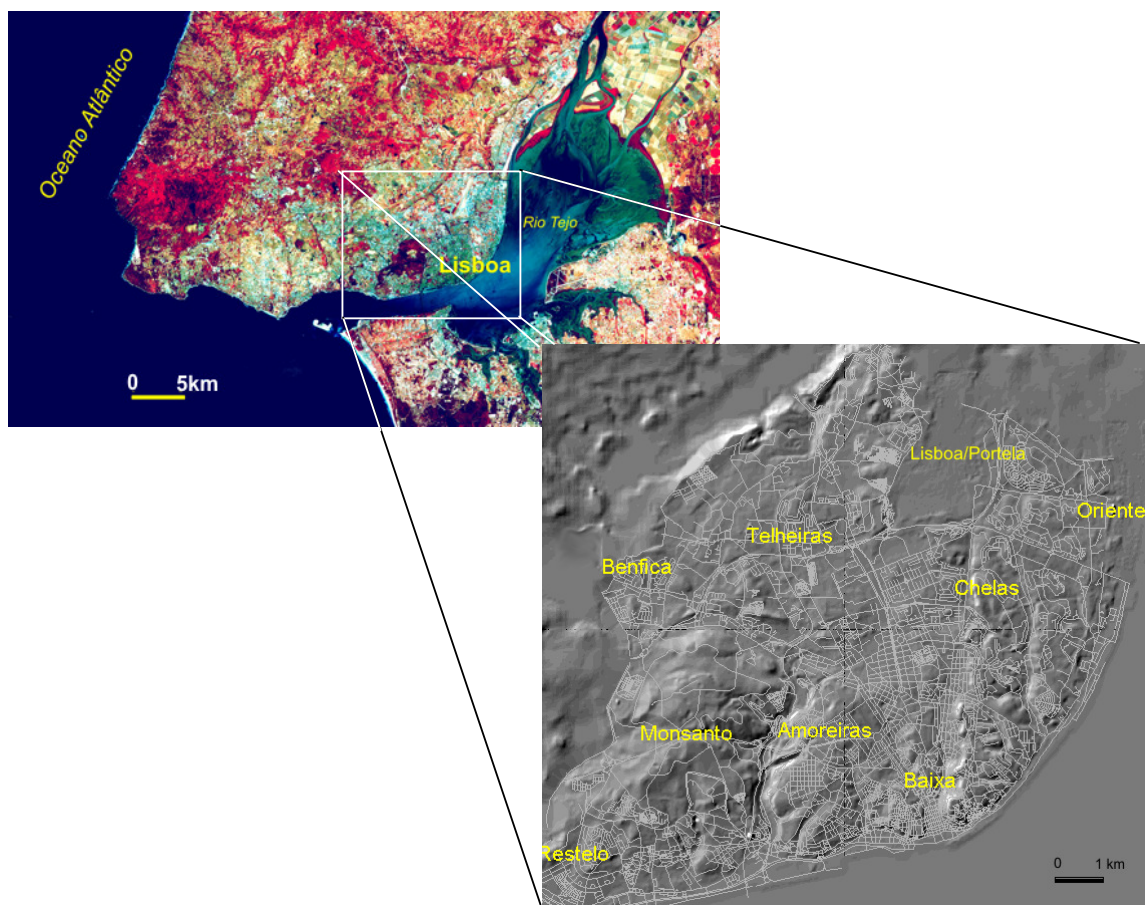


Fig. 1 – Mapas de localização.

Fig. 1 – Location Maps.

A manter-se o forte crescimento urbano verificado nos últimos anos no Norte e Noroeste da cidade, as urbanizações, implantadas segundo um modelo “caótico”, criam uma barreira à progressão dos ventos dominantes e simultaneamente um problema ambiental grave na cidade. Na falta de eixos estruturantes largos e “arejados” (de que o eixo Norte/Sul é apenas uma excepção), que constituam corredores de ventilação de forma a permitir que o vento dominante de Norte possa “limpar” a cidade, poder-se-ão piorar as condições de ventilação no Sul da cidade, o que contribuirá para aumentar os picos de poluição em certos locais e o desconforto térmico estival, ou ainda para incrementar a intensidade das vagas de calor, com as conhecidas consequências na saúde da população.

1.2. A componente climática nos Planos Directores Municipais

A presença da temática climática na primeira geração de Planos Directores Municipais limita-se, em geral, à inclusão de alguns valores médios, referentes às condições climáticas regionais (Alcoforado e Vieira, 2004¹). Além disso, as estações meteorológicas que servem de base ao enquadramento climático, nunca são representativas do clima da cidade (por norma expressa pela Organização Meteorológica Mundial), nem sempre são nomeadas, raramente são localizadas num mapa a escala que permita apreender outras influências a que possam estar submetidas (altitude, posição topográfica, proximidade do litoral, etc.). Raramente também são referidos os períodos de funcionamento das estações, as mudanças de localização, e tão-pouco é testada a homogeneidade dos dados utilizados. Os valores médios de precipitação e de temperatura são os mais frequentemente referidos, sendo omitidos parâmetros estatísticos de dispersão e de forma, assim como os fenómenos extremos, cujo conhecimento poderia permitir evitar ou mitigar situações de risco. A informação é normalmente apresentada sob a forma de texto, sendo raríssimas as representações cartográficas e inexistentes mapas suficientemente detalhados, para que a informação neles contida possa ser útil para o planeamento e ordenamento do território (Alcoforado e Vieira, 2004).

O clima das cidades tem de ser estudado por diversas técnicas, que vão desde a montagem de estações meteorológicas urbanas (Oke, 2004) ou de registadores temporários, a medições itinerantes de temperatura, humidade e radiação em pequeno e grande comprimento de onda, sondagens a partir de balões livres ou cativos (Lopes, 2002), Detecção Remota, modelação (Andrade, 2003; Lopes, 2003) e outras enumeradas em Alcoforado (1998).

No caso do PDM de Lisboa (Câmara Municipal de Lisboa, 1994), ainda em vigor (cujo regulamento foi publicado no DR 1ª Série B, nº 226, em 29 de Setembro de 1994), raras e pouco concretas são as referências às particularidades do clima urbano. O clima da cidade é referido na descrição das características naturais do “sítio” de Lisboa (no Relatório de Enquadramento), embora a ilha de calor urbano não chegue a ser mencionada. Existem referências aos “microclimas” da cidade de Lisboa, que são

¹ No estudo citado, foram analisados PDM de 15 concelhos, que incluem capitais de distrito, ou seja com uma taxa de urbanização muito elevada. No caso de Lisboa, a totalidade do concelho está urbanizada.

influenciados pelo maciço arbóreo de Monsanto e pelo estuário do Tejo, cujos efeitos benéficos se podem notar no que diz respeito ao vento, à poluição e ao conforto bioclimático (Relatório de Enquadramento). Estes comentários poderão ser correctos, mas carecem de concretização e de explicação; por outro lado, os principais problemas e potencialidades do clima urbano devem ser apresentados de forma espacializada, de modo a que os agentes de planeamento possam utilizar a informação. Pretendeu-se, com o presente trabalho, contribuir para aprofundar a temática climática no novo PDM de Lisboa, fornecendo informação relevante e de escala adequada para a melhoria do ambiente físico na cidade. Tentámos, por um lado, destacar os elementos climáticos mais importantes para produzir orientações úteis para futuros procedimentos de planeamento; por outro, simplificar a realidade sem perda de rigor e adoptar uma linguagem clara, tendo encetado também um diálogo com agentes de planeamento.

Considerou-se que, para o favorecimento da qualidade do ar, conforto bioclimático e saúde humana em Lisboa seria necessário promover condições de ventilação adequadas e mitigar a ilha de calor urbano (justificação em 4.2.)

Para concretizar este objectivo, foram enumeradas “orientações climáticas para o ordenamento”. Estas orientações dizem respeito ao conjunto da cidade. Como está referido no Preâmbulo, na sequência do trabalho aqui apresentado, foi desenvolvido um estudo na escala microclimática, numa parte do bairro de Telheiras. não tratado neste relatório.

Os principais aspectos do clima urbano de Lisboa são apresentados de seguida sucintamente (ponto 2). Como primeiro passo para a delimitação de áreas para as quais serão enumeradas as orientações climáticas, foi elaborado um mapa de *climatopos* (áreas da cidade com características físicas homogéneas e que apresentarão uma “resposta” climática semelhante – Scherer et al., 1999); a metodologia seguida para a execução do mapa e o resultado são apresentados no ponto 3. Este mapa corresponde à informação de base essencial para espacializar as orientações para o ordenamento, tarefa levada a cabo no ponto 4.

2. Características do clima urbano de Lisboa

A cidade de Lisboa tem um clima de tipo mediterrâneo, caracterizado por um Verão quente e seco e pela concentração da maior parte da precipitação no período entre Outubro e Abril. As características do clima da região de Lisboa, estudadas nomeadamente em Alcoforado (1992), dependem de **factores geográficos regionais** como a latitude e a proximidade do Oceano Atlântico, o qual lhe confere uma certa amenidade térmica (temperatura máxima média de Julho 27.4°C em Lisboa/Gago Coutinho; mínima média de Janeiro, 8.2°C) e um regime de ventos marcado por uma elevada frequência de ventos de Norte e NW.

Dois outros factores condicionam, **na escala mesoclimática e local**, o clima de Lisboa: a topografia acidentada da cidade e a sua posição à beira-Tejo (Alcoforado, 1987; Alcoforado, 1992b; Andrade, 2003).

O **clima urbano** (escalas local e microclimática) resulta da modificação destas

condições gerais pelas características físicas da cidade, nomeadamente a morfologia urbana.

O aspecto mais estudado do clima urbano (em Lisboa, como noutras cidades do mundo) é, de longe, a ilha de calor urbano (IC); para além do interesse científico do seu estudo, a IC tem implicações no conforto e na saúde dos cidadãos, no consumo de energia e de água e na qualidade do ar. Outro aspecto do clima urbano, cujo estudo se desenvolve, é o das condições de ventilação, que influenciam não só o campo térmico urbano mas também (e sobretudo) a qualidade do ar.

2.1. A temperatura na atmosfera urbana inferior: Ilha de calor e ilha de frescura.

A IC é o exemplo melhor documentado de uma modificação climática induzida pelo Homem (Oke, 1987). Ocorre em todas as cidades e é o resultado cumulativo de modificações na cobertura do solo e na composição da atmosfera, devida ao desenvolvimento urbano e às actividades antrópicas.

O termo ilha de calor urbano, que aparece na literatura científica de língua inglesa no final dos anos 50 do século XX (Landsberg, 1981), sugere a existência de uma cidade “quente” rodeada pelo campo mais fresco e corresponde à integração da totalidade dos microclimas originados pela urbanização (Alcoforado, 1992b). No entanto, a maior parte das cidades compreende um mosaico de áreas mais quentes (por exemplo, bairros de grande densidade de construção e tráfego intenso) e de outras mais frescas (como os espaços verdes e os planos de água). Percebe-se, assim, que não é correcto falar do microclima urbano. Oke (1995; 2005) clarifica conceitos, escalas e formas de abordagem dos diferentes tipos de IC.

Podem distinguir-se **três tipos de IC**, em função do nível a que estas se formam, relacionadas entre si, mas de génese, magnitude e dinâmica temporais bastante distintas:

- a **IC de superfície** corresponde às superfícies urbanas mais quentes do que as

superfícies rurais. Esta IC foi verificada para Lisboa, a partir de técnicas de detecção remota (Alcoforado, 1986; Lopes, 2003), mas não será tratada no presente trabalho;

- a **IC da atmosfera urbana inferior** (*urban canopy layer*), entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios (Oke, 1987; Alcoforado, 1992a e b; Andrade, 2003)
- a **IC da atmosfera urbana superior** (*urban boundary layer*), que se sobrepõe à anterior e se estende por vezes até à atmosfera livre: trata-se da parte superior da camada-limite, em que as características de temperatura, humidade, turbulência e composição da atmosfera são influenciadas pela presença da cidade (Oke, 1987; Fallot e Alcoforado, 1988; Alcoforado, 1992a).

A **IC da atmosfera urbana inferior** é a mais estudada, tanto em Lisboa (Alcoforado, 1992b; Andrade, 2003; Alcoforado e Andrade, 2005) como noutras cidades; muito frequentemente e também neste relatório, o termo ilha de calor urbano designa este último tipo.

Segundo Oke (1987; 1988) e Sailor e Lu (2004), as principais **causas da ilha de calor urbano da atmosfera urbana inferior**, são as seguintes:

a) Geometria urbana.

- Aumento da absorção da radiação solar devido (i) à maior área de absorção e (ii) ao baixo albedo² consequência das “reflexões múltiplas” entre os prédios, mas também em consequência dos materiais de construção e cobertura, ver d);
- Aumento da radiação de grande comprimento de onda proveniente da atmosfera mais poluída, assim como devido à emissão pelos prédios vizinhos em ruas de baixo *sky view factor*³ (SVF, figura 2);

² O valor típico do albedo nas cidades ronda os 15%. No entanto, alguns materiais usados na construção podem ter propriedades reflectivas muito diferentes deste valor, alterando o balanço radiativo local.

³ O factor de visão do céu (*sky view factor*, SVF) é a razão entre a porção de céu observado a partir de um determinado ponto da superfície terrestre e aquela que está potencialmente disponível (Oke, 1987, p. 404). O SVF tem valor 1, quando não existe qualquer obstáculo, que limite a visão do céu e o seu valor diminui à medida que se interpõem mais obstáculos que ocultam parcialmente o céu, para determinado observador. Este parâmetro, muito importante para quantificar a estrutura urbana, pode ser determinado a partir de uma fotografia tirada de baixo para cima com uma lente convexa “olho de peixe”, ou pode ser modelada, desde que se disponha de uma planta pormenorizada e orientada e da altura dos edifícios. Em certos casos, o SVF é substituído pelo factor H/W, ou seja a razão entre a altura dos prédios (H- *height*) e a largura das ruas (*Width* - W) que os separam (Landsberg, 1981).

- Diminuição da perda de radiação de grande comprimento de onda devido à redução do SVF.
- Redução (em média) da velocidade do vento e consequentemente, das transferências de calor por advecção e menor eficácia na remoção de poluentes.

b) Poluição do ar

- Aumento da radiação de grande comprimento de onda proveniente da atmosfera mais poluída

c) Emissão de calor a partir dos edifícios, tráfego e metabolismo dos organismos vivos

- Aumento do *input* energético em áreas urbanas

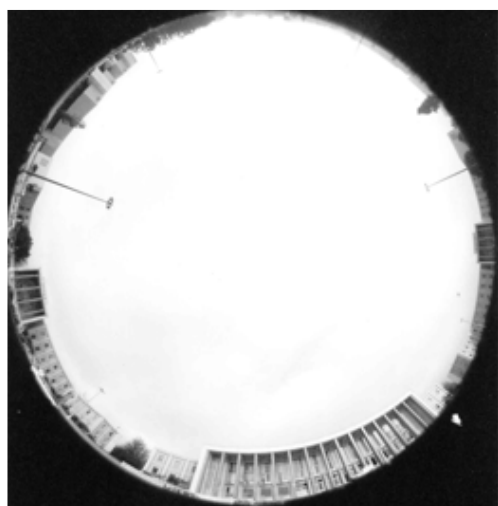
d) Cobertura do solo e materiais de construção

- Aumento do armazenamento do calor sensível devido às características térmicas particulares dos materiais de construção (calor específico, condutibilidade térmica, etc.)
- Redução da evapotranspiração e da transferência de fluxo turbulento de calor latente, devido à diminuição da cobertura vegetal e extensão das superfícies impermeabilizadas nas áreas urbanas;

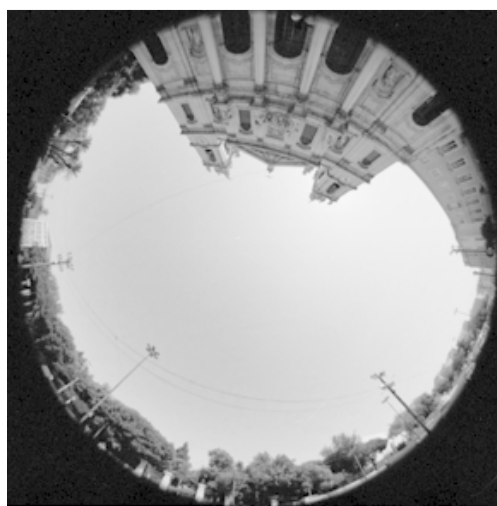
Em Lisboa, os estudos levados a cabo no Centro de Estudos Geográficos, indicam a existência de ilhas de calor urbano (IC) (da atmosfera inferior, superior e das superfícies) em Lisboa, sendo sobretudo nocturna a primeira, mas podendo ocorrer também durante o dia (Alcoforado, 1985; 1986; 1987; 1989; 1991; 1992a; 1992b; 1998; Alcoforado et al., 1998; 1999, 2000, 2003, 2005; Andrade, 1994, 1998, 2003; Andrade e Lopes., 1999; Lopes, 1994, 1998, 2003; Lopes e Vieira, 2001, 2002).

A **intensidade média da ilha de calor nocturna** da atmosfera urbana inferior situa-se em geral entre 1°C a 4°C, embora se possam verificar intensidades muito superiores (Alcoforado, 1992a e b; Andrade, 2003; Alcoforado e Andrade, 2005).

A **ilha de calor é mais frequente de noite** do que de dia. De noite, ocorre tanto com situações de calma atmosférica (devido às causas acima apontadas), como em situação de vento fraco a moderado (neste caso, principalmente por efeito de abrigo dos ventos dominantes do quadrante Norte, sempre frios ou frescos), tanto de Verão como no Inverno. **De dia**, como se verá à frente, **alternam situações de ilha de calor, com “ilhas de frescura”**, tanto no Inverno como no Verão.



Cidade Universitária. SVF = 0,82



Praça da Estrela. SVF = 0,75



Rua de Dª Estefânia. SVF = 0,25



R. São Julião (Baixa). SVF = 0,13



R. Augusto Rosa (Alfama). SVF = 0,16



R. Infanteria 16 (C. de Ourique). SVF = 0,27

Fig. 2 – Diagramas polares (fotografias obtidas com uma lente “olho de peixe”), representativos de diferentes morfologias urbanas de Lisboa.

Fig. 2 – Polar diagrams (photos taken with fish-eye lenses) of different Lisbon urban structures.

De noite, o núcleo da IC situa-se, ora na Baixa, ora mais para Norte, nas Avenidas Novas. As áreas mais frescas localizam-se em geral em Monsanto ou na periferia Norte de Lisboa (fig. 3, Andrade, 2003). A IC tem uma forma tentacular, prolongando-se ao longo dos principais eixos de crescimento da cidade.

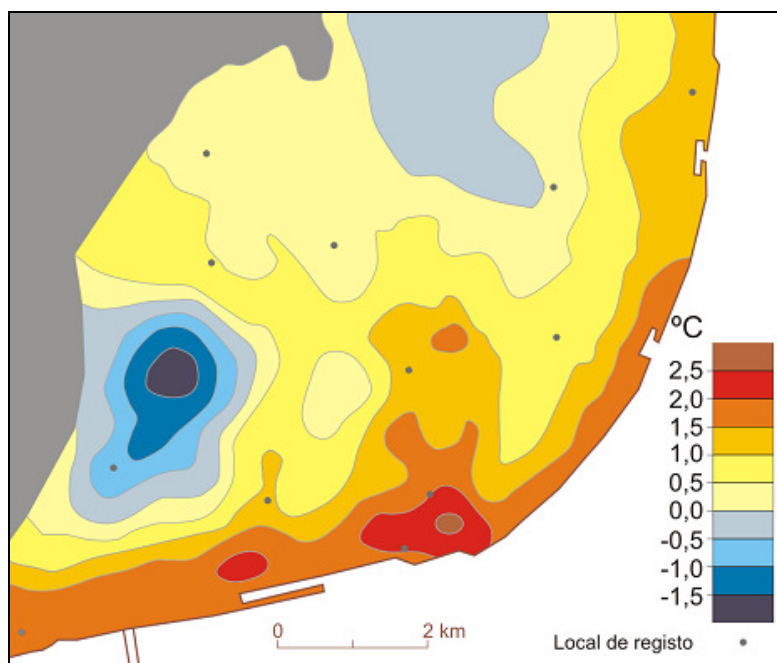


Fig. 3 – Ilha de calor noturna de Lisboa: Temperaturas normalizadas⁴ da atmosfera referentes a noites com vento Norte moderado (Andrade, 2003).

Fig. 3 – Nocturnal urban heat island. Normalised temperatures referring to light north wind nights (Andrade, 2003).

O gradiente térmico em direcção à periferia depende muito da ocupação do solo. O decréscimo de temperatura é muito mais rápido entre a Baixa e o Parque Eduardo VII, do que em direcção às Avenidas Novas. Em virtude da sua forma topográfica deprimida e da existência de relva permanentemente húmida, as temperaturas são quase tão baixas no Parque Eduardo VII como nos fundos de vales, ainda não construídos, do sector oriental de Lisboa ou da Avenida de Ceuta.

Durante alguns **dias de Verão**, em ocasiões muito frequentes de ventos de Norte, a Baixa e os bairros ribeirinhos, mais abrigados, apresentam as temperaturas do

⁴ Para permitir a comparação de padrões térmicos espaciais em diferentes estações do ano e períodos do dia, optou-se por normalizar o valor da temperatura do ar de um dado local e observação (Ta_x) em relação à média de todos os locais, nesse período de observação (Ta_{med}) e ao respectivo desvio padrão (Ta_{dp}):

$$Ta_z = (Ta_x - Ta_{med}) / Ta_{dp}$$

ar mais altas da cidade (padrão semelhante ao da figura 3). Noutras situações, e por influência de brisas provenientes do Oceano e do estuário do Tejo, a temperatura na Baixa e em outros bairros ribeirinhos pode ser bastante menos elevada do que no Norte: uma 'ilha de frescura' substitui então a ilha de calor, podendo a Baixa estar 3 a 4° C mais fresca que o Aeroporto (Alcoforado, 1992b; Alcoforado e Dias, 2002, fig. 4). Nos dias de Inverno, alterna igualmente uma IC, quando sopram ventos do Norte e o céu está limpo, com 'ilhas de frescura' em ocasiões de nevoeiro no Tejo (fig. 5).

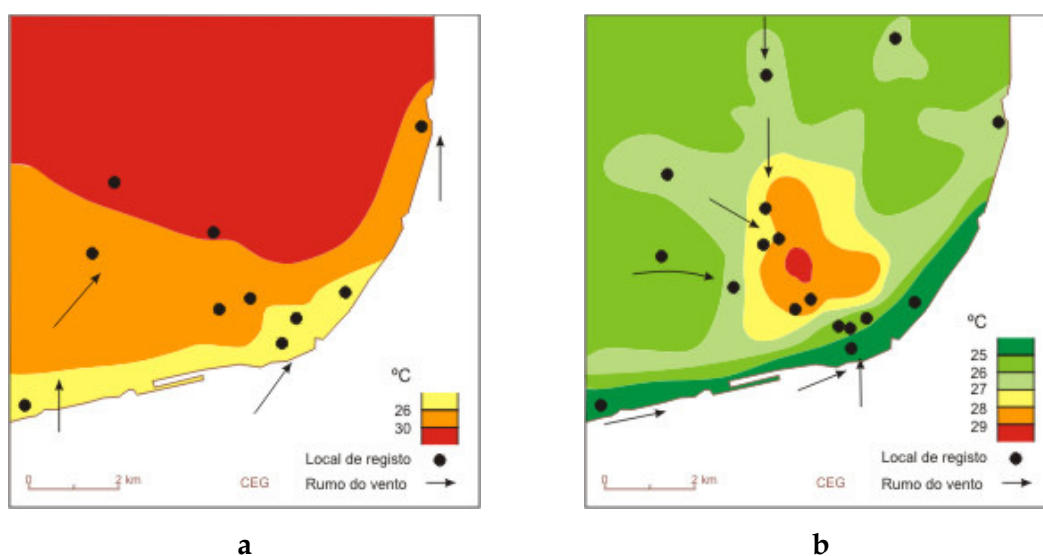


Fig. 4 – Padrões térmicos em Lisboa num dia de Verão (Alcoforado e Dias, 2002).

Fig. 4 – Daytime summer thermal patterns in Lisbon.

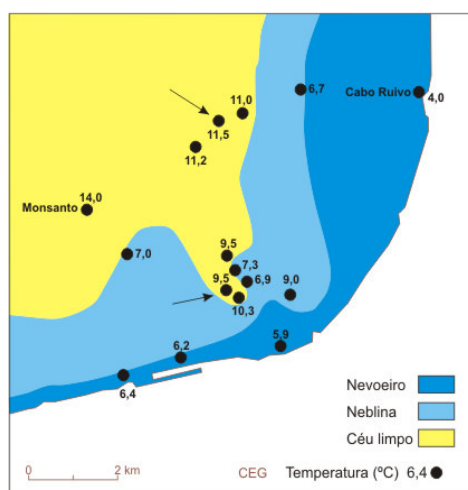


Fig. 5 – Padrão térmico num dia de Inverno com nevoeiro (Alcoforado e Dias, 2002).

Fig. 5 - Lisbon thermal patterns on a foggy winter day

Em situações de forte instabilidade com nebulosidade elevada e ventos de diversos quadrantes, a influência urbana na temperatura do ar é menos evidente.

2.2. O vento em Lisboa e sua modificação pela crescente taxa de urbanização

O rumo e a velocidade do vento de gradiente **sofrem modificações na cidade**, sobretudo devido ao atrito acrescido provocado por uma superfície urbana mais rugosa (Oke, 1987; Lopes, 2003). Apesar da diminuição significativa da velocidade média, podem, no entanto, ocorrer acelerações em ruas por onde o vento é canalizado; os turbilhões, que se formam tanto a barlavento como a sotavento dos obstáculos que os edifícios constituem, conduzem a inversões localizadas do rumo do vento.

2.2.1. Importância e consequências do vento no ambiente da cidade.

O **vento desempenha um papel fundamental no ambiente climático das cidades**, promovendo o necessário arejamento; particularmente as brisas do mar ou do estuário, que transportam ar fresco e húmido do oceano e/ou do estuário do Tejo, contribuem para um **arrefecimento significativo da cidade**, actuando positivamente no **conforto térmico e saúde dos cidadãos**. Assim, um vento moderado pode maximizar o conforto térmico de Verão, evitando o aquecimento excessivo da cidade em ocasiões de vagas de calor. No entanto, no Inverno, um vento forte actua como factor desfavorável no conforto térmico da população.

Quanto ao **conforto mecânico**, Saraiva et al. (1997) estabeleceram os critérios de conforto e segurança para a zona da Expo 98: consideraram que o início do desconforto mecânico ocorre com ventos de velocidade superior a 5 m/s; as situações francamente desconfortáveis, com ventos de velocidade superior a 10 m/s e as perigosas, quando a velocidade excede 16 m/s. As rajadas máximas podem ter efeitos muito negativos: os mesmos autores referem que, “da análise dos critérios de conforto

e de segurança relacionados com a velocidade efectiva⁵; estimou-se que pelo menos em 43,8 horas/ano possam existir velocidades efectivas superiores a 20 m/s na zona da Expo". Rajadas súbitas poderão ser perigosas para pessoas mais frágeis e que não estejam prevenidas, aconselhando-se medidas preventivas, tais como a colocação de elementos urbanos (abrigos, vegetação, etc.), que atenuem os efeitos adversos das acelerações locais.

As **consequências do vento são normalmente benéficas para a remoção de poluentes** (Andrade, 1994 e 1996), como é o caso da Nortada. Pelo contrário, a circulação fechada associada às brisas do mar⁶ (tal como nas brisas campo/cidade) pode ser ineficiente na remoção da poluição atmosférica e levar mesmo ao seu incremento. (Oke, 1987; Simpson, 1994).

O efeito das **brisas de vertente** – nomeadamente a drenagem de ar frio por gravidade e sua acumulação no fundo dos vales – poderá variar de caso para caso. Num estudo sobre a drenagem e acumulação de ar frio, na área em acelerada urbanização a Oeste de Lisboa (Concelho de Oeiras), Lopes (1998) estimou que 35% das actuais áreas urbanas se encontram em posição topograficamente deprimida e consequentemente sujeitas à ocorrência de temperaturas particularmente baixas, que provocam desconforto térmico e incrementam o consumo de energia para aquecimento. Contudo, os sistemas de drenagem do ar frio podem também ser importantes na mitigação da intensidade da ilha de calor urbano e na limpeza da atmosfera urbana. Em vales muito densamente construídos (como por exemplo a Avenida Almirante Reis e, em menor escala, a Avenida da Liberdade), a drenagem de ar frio é menos intensa, devido à falta de áreas a montante onde o ar frio seja produzido e aos obstáculos à sua progressão para jusante, constituídos pelos blocos de edifícios (Andrade, 2003).

2.2.2. Características do vento em Lisboa

As características do vento em Lisboa foram estudadas por Alcoforado (1987, 1992b), Alcoforado et al. (no prelo), Andrade (1994, 2003) e Lopes (1998, 2003) e as

⁵ A velocidade efectiva combina o efeito das velocidades médias e das rajadas (Saraiva, 1997).

⁶ A definição dos vários sistemas de ventos locais devidos em grande parte a causas térmicas (sistemas de brisas mar-terra, campo-cidade, vale-montanha, ascendente e descendente de vertente) encontram-se em diversos manuais (como, por exemplo Oke, 1987) e na Internet, por exemplo no site da *American Meteorological Society* (<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>).

variáveis da qualidade do ar foram tratadas por Alcoforado (1992) e Andrade (1994 e 1996).

Em termos anuais, dominam em Lisboa os ventos provenientes dos quadrantes N e NW, cujas frequências de ocorrência totalizam 41% (Lopes, 2003, fig. 6).

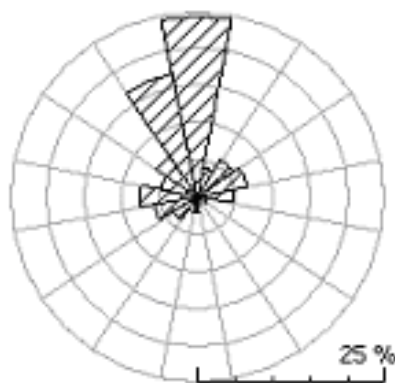


Fig. 6 - Rumos do vento em Lisboa/Portela
(médias horárias, período de 1971-1980, Lopes, 2003)

*Fig. 6 - Wind directions at the Airport meteorological station
(Lisboa/Portela) (hourly average, 1971-1980).*

No entanto, estes valores mascaram alguma variabilidade estacional.

No **Verão**, a Nortada sopra em 70% das tardes e continuamente durante todo o dia, em 45% dos dias (Alcoforado, 1987). As brisas do Oceano e do estuário do Tejo ocorrem em cerca de 35% dos dias de Verão, entre o fim da manhã e o princípio da tarde, com uma redução ao fim da tarde, período em que a Nortada é mais frequente (Alcoforado, 1987; Vasconcelos et al., 2004). No **Inverno**, os rumos N e NE atingem cerca de 27%, enquanto o vento sopra de SW e S em aproximadamente 29% das ocasiões

2.2.3. Diminuição da velocidade média do vento com o crescimento urbano.

As modificações da velocidade do vento devidas ao crescimento urbano de Lisboa foram estudadas com recurso a modelos numéricos, que compõem o *software* WAsP (Lopes, 2003). Este utiliza modelos “diagnóstico” do tipo *linearised models* conhecido por *BZ-Model* (Troen, 1990), que resolvem as

equações de quantidade de movimento, mas não de conservação de energia (Montavon, 1998). Foram produzidos a partir dos trabalhos de Jackson e Hunt (1975), Britter et al. (1981) e Taylor et al. (1983). Utilizam princípios físicos do escoamento na camada limite da atmosfera e são baseados numa solução, que descreve a perturbação do fluxo através da função logarítmica do vento. Devido à característica de linearidade das funções, estes modelos estão restringidos a áreas com declives inferiores a 30% (Montavon, 1998)⁷. Esse estudo, em que se utilizaram os valores horários da velocidade e direcção do vento no período de 1971/1980, observados na estação meteorológica de Lisboa/Portela, foi levado a cabo em três fases, numa abordagem temporal (Lopes, 2003):

- 1) Em primeiro lugar estimou-se o comportamento do vento considerando apenas a topografia da região como o principal factor de modificação do vento;
- 2) Num segundo momento, conheceram-se as características do vento, tendo em conta não só o relevo, mas também a rugosidade aerodinâmica dos vários bairros da cidade.
- 3) Finalmente, com base nas tendências futuras da expansão de Lisboa, modelaram-se vários cenários de previsão das modificações dos campos de ventos nas próximas décadas, em diversos bairros de Lisboa, esboçando-se algumas possíveis implicações ambientais, sobretudo no Sul da cidade

Os principais resultados desse estudo mostram que ocorreu uma redução na velocidade média do vento no Verão em Lisboa no início dos anos 80, período que é de forte expansão urbana para Norte da segunda circular. Essa diminuição foi em média de 30 % (≈ 2 m/s) na camada urbana superior, abaixo dos 100 m de altura (fig. 7).

⁷ Mais informações sobre a utilização destes modelos podem ser obtidas em Lopes (2003).

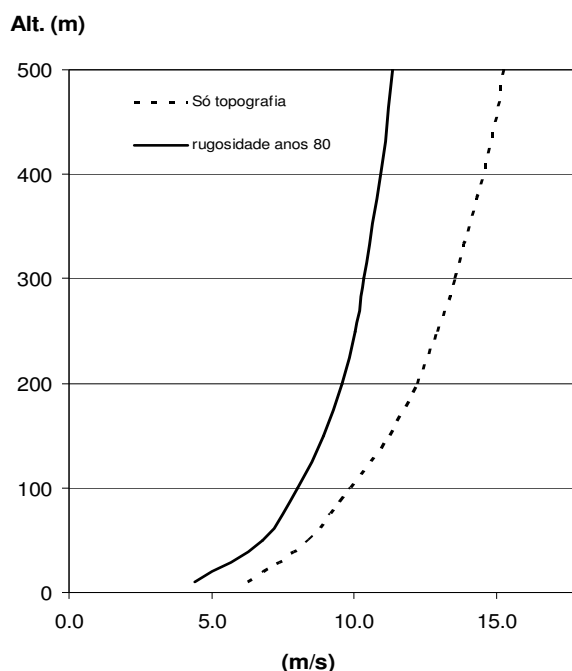


Fig. 7 – Perfil do vento estival estimado para Lisboa, integrando todas as direcções. A tracejado: perfil estimado sobre Lisboa sem a influência da cidade; a cheio: tendo em conta a rugosidade nos anos 80 (Lopes, 2003).

Fig. 7 – Estimated wind profile in Lisbon for all directions. Dashed line represents the profile considering only topography and solid line considers roughness length in the eighties (Lopes, 2003)

Assumindo que a rugosidade aerodinâmica (z_0)⁸ irá continuar a aumentar no Norte da cidade, efectuou-se uma projecção para um futuro próximo (Lopes, 2003). Quando comparada com os valores estimados para os anos 80, poderá haver uma redução ainda maior da velocidade do vento, traduzida em cerca de 0,7 m/s a 10 m de altura (correspondendo a uma perda de velocidade do vento de cerca de 22 % junto ao solo, no Sul da cidade, fig. 8).

⁸ A rugosidade (z_0) é um dos principais factores que modificam os campos de vento, diminuindo a velocidade de escoamento do ar junto à superfície. Corresponde à altura acima do solo (em m), a que o perfil logarítmico do vento é zero. Alguns valores típicos de z_0 na cidade podem ser consultados em Lopes (2003).

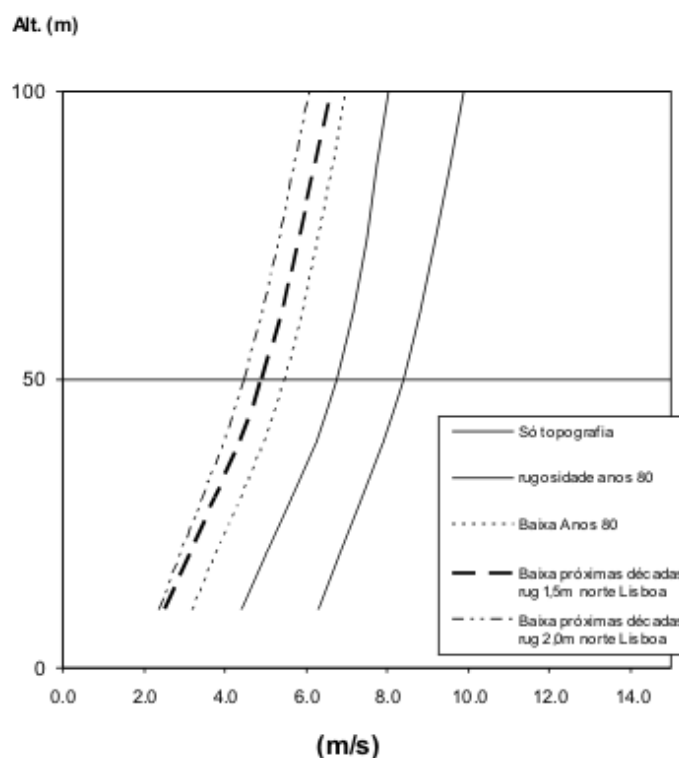


Fig. 8 – Simulação da velocidade média do vento estival em Lisboa para as próximas décadas. A maior redução (linhas a tracejado) corresponde a cenários do tipo *business as usual* (aumento da área com rugosidade aerodinâmica superior a 1m, Lopes, 2003).

Fig. 8 – Mean wind speed simulation in summer for the next decades. Doted and dashed lines represent business as usual scenarios (roughness length greater than 1m).

Concluiu-se, assim, que, até aos anos 80 do século XX, a velocidade média do vento pouco foi alterada no Norte da cidade, onde a rugosidade aerodinâmica era muito menor (tipicamente entre 0,03 e 0,5m, fig. 9).

No Centro e Sul da cidade, com valores de z_0 que rondam 1m (fig. 9), a velocidade foi reduzida 1 a 3 m/s (fig. 10). O reconhecimento das diferenças de ventilação entre as duas zonas da cidade (Norte e Sul) permitiu traçar um limite que, *grosso modo*, passa por Benfica, Campolide, Campo Grande, Sul do Aeroporto e Oriente (designado por limite aerodinâmico na figura 10). O limite foi posteriormente actualizado em função das modificações recentes da rugosidade aerodinâmica actual da cidade e desenhado com o rigor necessário para a escala 1:25000 (ver mapa dos climatopos, fig. 16)

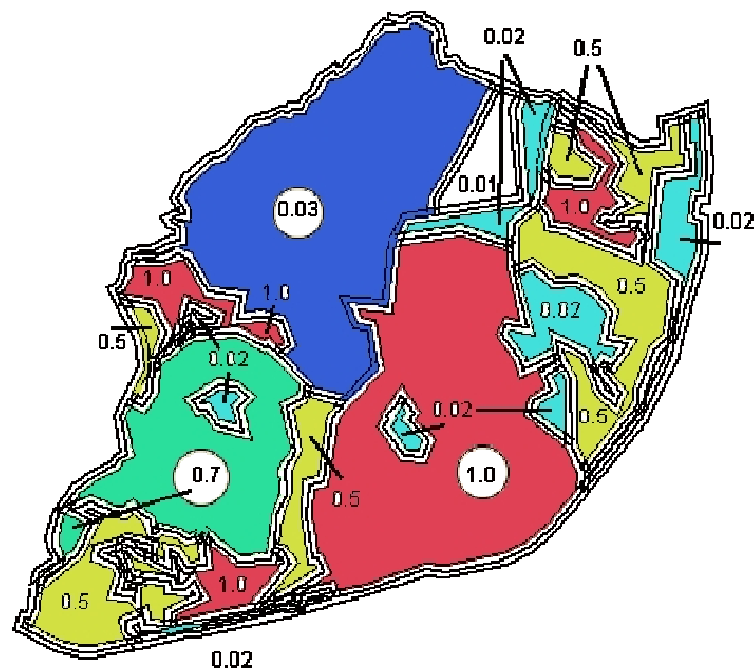


Fig. 9 – Rugosidade aerodinâmica (z_0) em Lisboa nos anos 80 (Lopes, 2003).

Fig. 9 – Roughness length (z_0) in Lisbon, in the 1980s (Lopes, 2003)

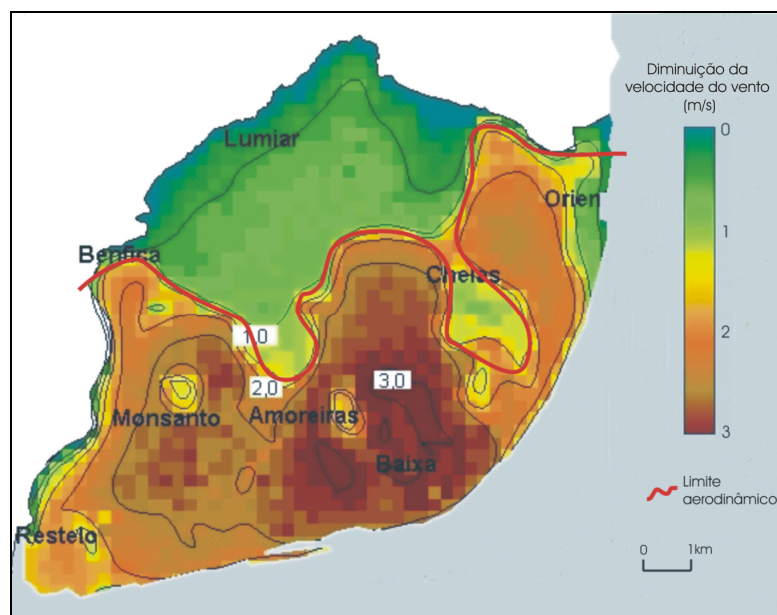


Figura 10 - Redução da velocidade da velocidade do vento estival,
devido ao crescimento urbano até aos anos 80 do século XX
(Lopes, 2003)

Fig. 10 – Wind speed decrease in summer due to urban growth until the 1980s

3. Base cartográfica para a espacialização das orientações para o ordenamento

3.1. Metodologia

Em países como a Alemanha, Áustria e Suíça, é prática usual a preparação sistemática de mapas de análise, de síntese e de avaliação climática, como instrumento de apoio ao processo de planeamento e de documentos (cartográficos ou não), que incluem orientações para o mesmo efeito.

A presente pesquisa iniciou-se por uma análise sistemática de uma colecção de mapas e de relatórios referentes a diferentes cidades do Ruhr (Essen, Recklinghausen, Dortmund e Bochum (Beckröge et al., 1988; Stock et al., 1986, 1991), de Berlim (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2001; Friederich et al., 2001) e de

Basileia (Thommes et al., 2001), assim como os trabalhos de Bitan, 1988; Lindqvist, 1991; Givoni, 1998; Scherer et al., 1999; Lazar e Podesser, 1999; Fehrenbach et al., 2001 e Matzarakis, 2005; nestes estudos, são concretizados, para diversas cidades, os princípios enunciados em artigos de reflexão sobre o tema (Oke, 1984 e 2005; Bitan, 1992; Eliasson, 2000; Mills, 2005).

Para a maior parte das cidades do Ruhr, são elaborados dois tipos de mapas, com as respectivas notícias explicativas: “Mapas sintéticos das funções climáticas” e “Mapas de avaliação climática”. Nos primeiros, são delimitadas áreas com “climas locais homogéneos”, condicionados pela ocupação do solo e pelas condições de ventilação particulares (áreas expostas aos ventos dominantes, áreas com canalização do ar, áreas de ventilação deficiente, etc.). No segundo grupo de mapas, são sugeridas as principais orientações

O exemplo de Basileia, mais recente (Thommes, 2001), foi um dos que mais influenciou as escolhas necessárias a cada passo do nosso estudo, tanto a partir de consultas bibliográficas, como a partir de um seminário, que teve lugar em Lisboa, animado pelo Professor Doutor Eberhard Parlow, coautor do trabalho acima citado, director do Departamento de Geociências do Instituto de Meteorologia, Climatologia e Detecção Remota da Universidade da Basileia e responsável pela realização de numerosos outros trabalhos análogos na Suíça. O tópico mais importante em discussão foi o modo de mais eficazmente “traduzir” a informação teórica adquirida sobre o clima de uma cidade, para os técnicos de planeamento.

Não tendo seguido exactamente a mesma metodologia que o grupo de Basileia, pormenorizadamente descrita em Scherer et al. (1999) e Fehrenbach et al. (2001), utilizámos, no entanto, o conceito de **climatopo**, divulgado em língua inglesa pelos autores acima referidos.

Os **climatopos** são áreas homogéneas do ponto de vista físico (em termos de morfologia urbana e posição topográfica), que “interagem” de modo particular com a atmosfera. A cada climatopo corresponderá um clima local próprio (Alcoforado, 1999; Scherer et al., 1999), que condicionará de forma diferenciada a vida e as actividades humanas e que exigirá, portanto, diferentes medidas para reduzir os impactes negativos e potenciar as características positivas do clima urbano.

A construção de um mapa de climatopos foi uma das vias, que nos pareceu conveniente, para resolver uma das dificuldades sentidas no início: **que critério**

escolher para delimitar áreas para as quais as orientações climáticas são idênticas?

O procedimento seguido para a construção do mapa dos climatopos está indicado na figura 11. Foi levado a cabo em ambiente SIG, a partir da intersecção de diferentes níveis de informação (*layers*).

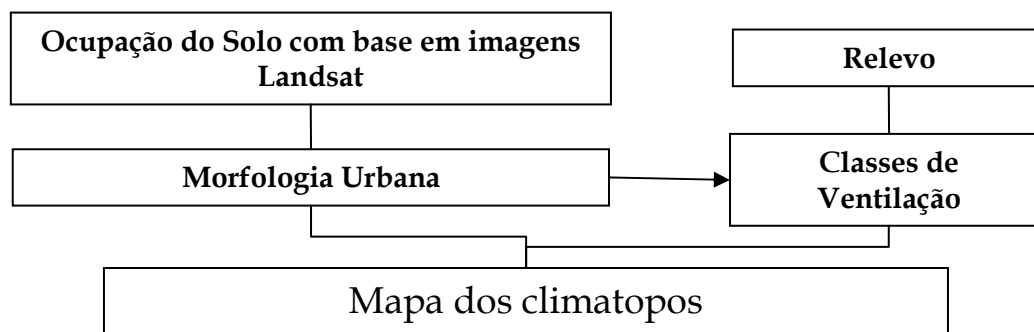


Fig. 11 – Procedimento para a delimitação dos climatopos

Fig. 11 – Procedure to climatope delimitation

3.2. Ocupação do solo e morfologia urbana

As classificações existentes do uso ou ocupação do solo, com base em **critérios funcionais, não são apropriadas para fins climáticos**, porque dois tipos funcionais distintos podem ter “comportamentos” climáticos semelhantes e vice-versa.

Elaborou-se um mapa **da morfologia urbana**, em que foram agrupadas **áreas com características físicas** semelhantes do ponto de vista da **morfologia urbana**, através de uma classificação assistida a partir de uma imagem Landsat 5 (TM) de Fevereiro de 1992. Este mapa foi posteriormente actualizado.

O processo de classificação iniciou-se com a selecção de um conjunto de “áreas amostra”, escolhidas de modo a representarem as várias classes de rugosidade aerodinâmica presentes na cidade (Lopes e Vieira, 2001). Com base nas respostas espectrais típicas dessas áreas, nos vários canais Landsat do visível e infra-vermelho próximo, obtiveram-se classes de ocupação do solo (utilizando um algoritmo de máxima verosimilhança -*maximum likelihood*). As classes obtidas foram posteriormente agrupadas em três grandes conjuntos.

- **Ocupação urbana de baixa densidade** – espaços em que as áreas edificadas ocupam menos de 10% do total

- **Ocupação urbana de média densidade** - espaços urbanos em que as áreas edificadas ocupam em média 15% a 30 % do total.
- **Ocupação urbana de elevada densidade** - espaços urbanos em que as áreas edificadas ocupam cerca de 50 % do total.

O mapa da morfologia urbana foi completado com informação cedida pela Câmara Municipal de Lisboa, referente aos espaços verdes existentes em 31 de Janeiro de 2005, tendo-se excluído os espaços verdes potenciais.

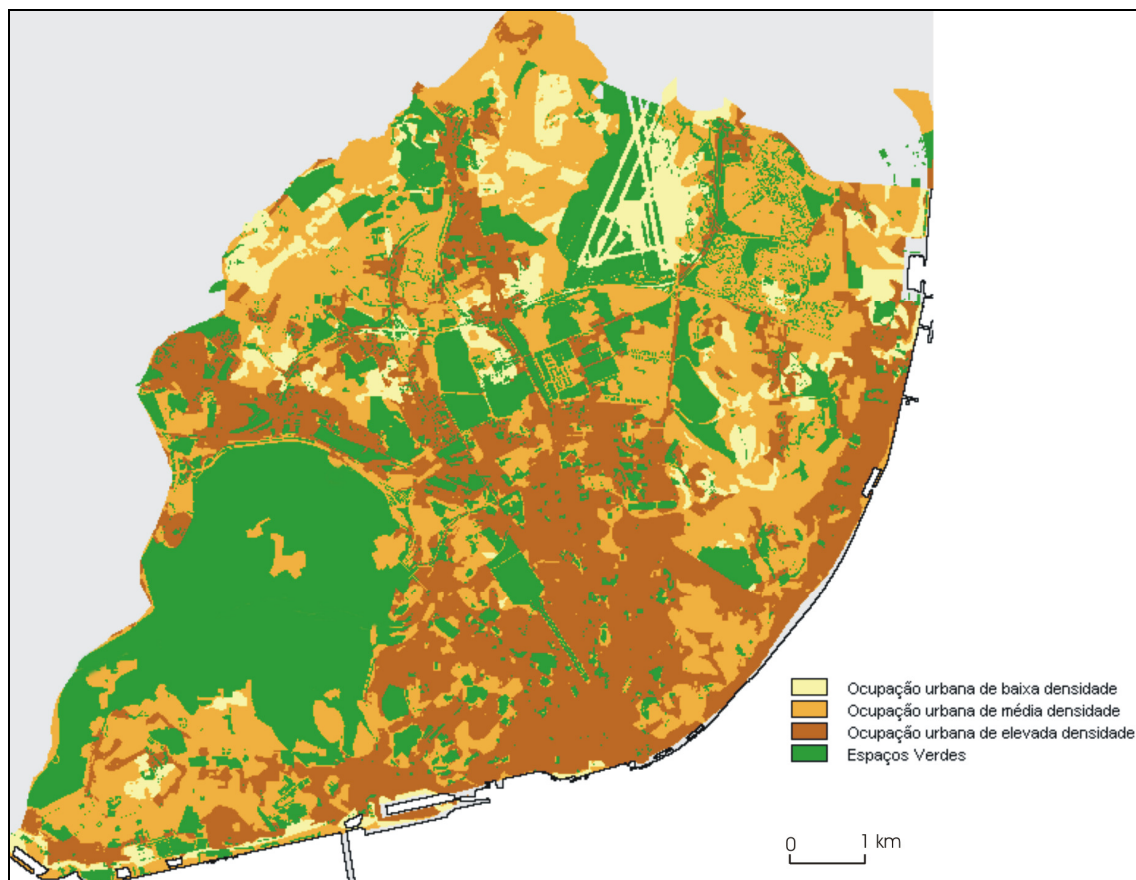


Fig. 12 – Classificação da morfologia urbana de Lisboa para fins climáticos

Fig. 12 – Lisbon's urban morphology for climatic purposes

No mapa da figura 12, pode observar-se que a ocupação urbana *de elevada densidade* é dominante nas áreas centrais e do Sul de Lisboa, como a baixa pombalina, as Avenidas Novas, mas também em locais como Benfica e, na frente ribeirinha, entre a Baixa e o Oriente. As *áreas* urbanas de média densidade encontram-se preferencialmente no Norte de Lisboa, como Carnide, parte de Telheiras e do Lumiar,

assim como nos sectores oriental (Olivais e Chelas) e Sudoeste da cidade (Belém, Ajuda e Restelo). A classe de *baixa densidade* tem uma expressão reduzida na área central da cidade, encontrando-se em manchas dispersas, predominantemente no Norte e Oriente de Lisboa. As pistas do Aeroporto destacam-se como as áreas de baixa densidade de maior dimensão. De entre os *espaços verdes*, salientam-se, pela sua dimensão, Monsanto, Parque Eduardo VII, Cidade Universitária e a Bela Vista.

3.3. O relevo de Lisboa e as classes de ventilação

A informação referente à altitude foi cedida pela Câmara Municipal de Lisboa e serviu de base à construção de um Modelo Digital de Terreno (fig. 13). A partir desta informação, foram delimitadas “unidades de relevo”, correspondentes a grandes áreas com características topográficas relativamente semelhantes. O relevo constitui um primeiro factor condicionante da ventilação, ao qual deve ser acrescentada a rugosidade aerodinâmica, dependente da morfologia urbana. O cruzamento da informação topográfica com a rugosidade aerodinâmica permitiu chegar a um mapa da “classes de ventilação”, correspondente a áreas com comportamento aerodinâmico homogéneo.

a) As unidades de relevo

As “unidades de relevo” foram definidas e delimitadas de acordo com o seguinte critérios (fig. 13 e 14)

- Os *fundos de vale* e os *topos* foram obtidos através da subtracção dos valores de tendência estatística do relevo às altitudes absolutas (Lopes, 1998). Os valores negativos representam áreas deprimidas e os positivos áreas sobre-elevadas.
- Considerou-se ainda a existência de uma *frente ribeirinha*, que corresponde às áreas de baixa altitude (inferior a 20 m), junto ao Tejo, mais directamente expostas à acção das brisas.
- As vertentes e as áreas planas foram delimitadas a partir de um mapa de declives. Considerou-se uma área plana (referida como “planalto”) aquela cujo declive é inferior a 4° de inclinação. As restantes áreas foram consideradas vertentes.

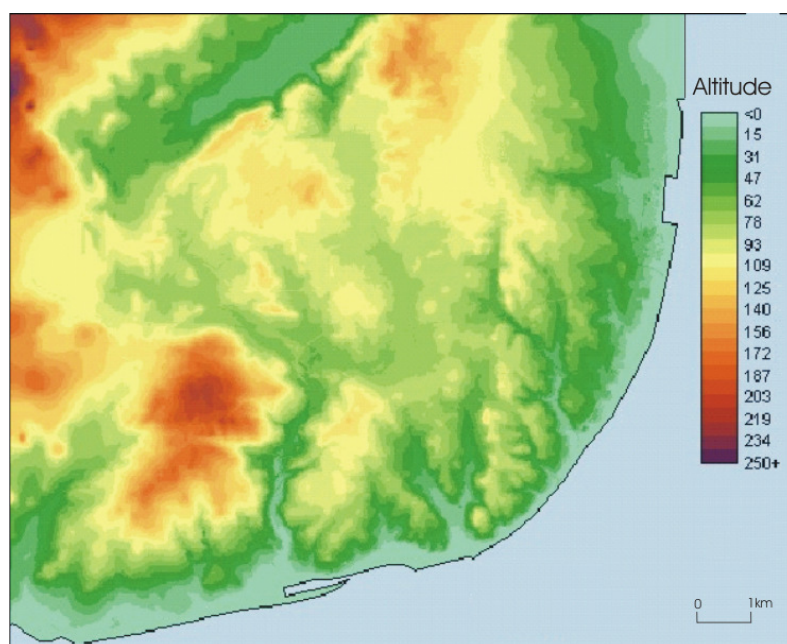


Fig. 13 – Relevo de Lisboa

Fig. 13 - Lisbon's relief

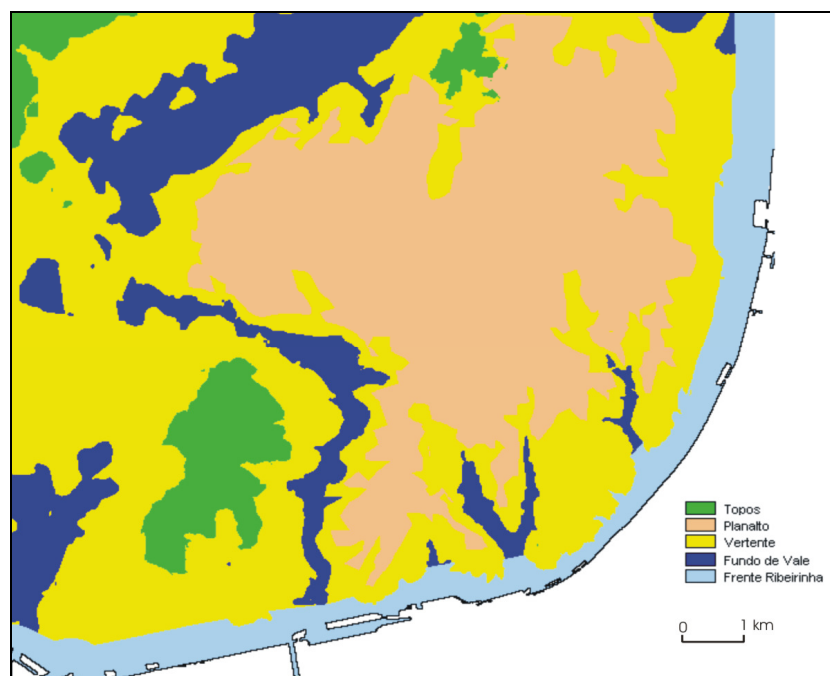


Fig. 14 – Unidades de relevo para delimitação das classes de ventilação

Fig. 14- Relief units as a first step to obtain ventilation classes

b) As classes de ventilação

Uma grande parte da cidade de Lisboa é ocupada pelo *Planalto*; contudo, observam-se neste grandes diferenças de rugosidade (e, portanto, de comportamento aerodinâmico) entre o Norte e o Sul da cidade. Decidiu-se, por isso, distinguir as duas áreas, separadas pelo *limite aerodinâmico actualizado*, representado na figura 16 e descrito no ponto 2.2.3. O Planalto foi assim dividido em “*Planalto do Norte de Lisboa*” (onde predominam as áreas de baixa rugosidade aerodinâmica) e “*Planalto a Sul de Lisboa*”, onde a rugosidade é elevada, devido à morfologia urbana (fig. 14, Quadro I). Para simplificar o mapa final, as áreas de vertente e topo a Norte desse limite, que ocupam uma extensão relativamente reduzida, foram agregadas ao Planalto do Norte de Lisboa. As classes de ventilação (fig. 15) encontram-se mais detalhadamente descritas no Quadro I.

Quadro I – Classes de ventilação em Lisboa.

Table 1 – Ventilation classes in Lisbon

Classes de Ventilação	Correspondência no mapa de relevo	Morfologia urbana	Crítérios de delimitação
Topos	Topo de Monsanto	Ocupação urbana de baixa densidade e espaços verdes	Áreas com altitude relativa superior a 50 m na colina de Monsanto
Vertente	Vertentes	Diversificada	Áreas de transição, com exposição variável, a Sul do limite aerodinâmico
Fundo de vale	Fundos de vale	Diversificada	Áreas com altitude relativa inferior a 20 m
Frente ribeirinha	Frente ribeirinha	Diversificada	Áreas inferiores a 20 metros de altitude absoluta
Planalto do NORTE de Lisboa	Planalto, vertentes e topos	Predominância de ocupação urbana de baixa e média densidade	Planalto, áreas de topo e vertentes do Norte da cidade com baixa rugosidade aerodinâmica
Planalto do SUL de Lisboa	Planalto	Predominância de ocupação urbana de média e elevada densidade	Planalto do Sul da cidade com alta rugosidade aerodinâmica

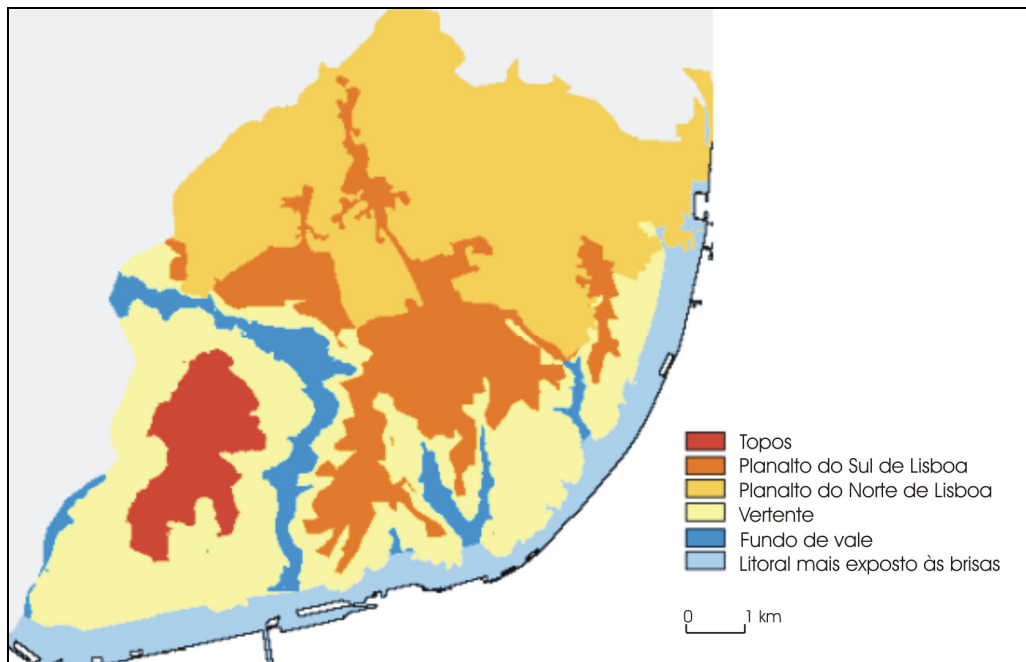


Fig. 15- Classes de ventilação

Fig. 15 - Ventilation classes

3.4. O mapa dos climatopos

O mapa dos climatopos (fig. 16) foi elaborado com base na morfologia urbana (fig. 12) e nas classes de ventilação (fig. 15 e Quadro II). Para evitar um número demasiado elevado de climatopos (24), resultante do cruzamento das duas tipologias, procedeu-se a uma simplificação, através do agrupamento em 8 classes, como está representado na figura 16. Esse agrupamento é parcialmente subjectivo, baseado no juízo feito pelos autores em relação à importância relativa para o ordenamento de cada uma das tipologias (morfologia urbana ou classes de ventilação) em cada área da cidade (Fig. 16); procurou-se, por outro lado, eliminar classes com representatividade muito reduzida. Cada uma das classes, que seguidamente se descrevem, corresponde a *grupos de climatopos*, embora, para simplificar, sejam por vezes denominados por *climatopos*.

No *Planalto Norte de Lisboa*, dada a relativa uniformidade do relevo, considerou-se que a morfologia urbana é o factor fundamental de diferenciação climática, distinguindo-se assim três climatopos (**números 4, 5 e 6** na figura 16).

A **Sul do limite aerodinâmico**, ainda no *Planalto*, a extensão muito reduzida das áreas de baixa densidade levou ao agrupamento das classes de média e baixa densidade numa única (nº 2, fig.16). A impossibilidade de, a esta escala, distinguir as particularidades climáticas das áreas de planalto e de vertentes, levou a utilizar apenas o critério morfologia urbana nas classes **1 e 2**.

Os *espaços verdes* (nº3, fig.16) foram também considerados como um climatopo único a Sul do limite aerodinâmico, com excepção das áreas englobadas nos fundos de vale e na faixa ribeirinha (ver parágrafo seguinte). Para Norte, foram apenas agregados a essa classe os espaços verdes de estrutura arbórea, dado que as áreas verdes abertas têm, do ponto de vista aerodinâmico (que se considera ser o mais importante nesta área), um comportamento muito semelhante às áreas de baixa densidade de construção (**nº6**, figura 16), às quais foram agregadas.

Finalmente, utilizou-se apenas o critério topográfico para a delimitação dos climatopos *faixa ribeirinha* (nº 7, fig.16) e *fundos de vale* (nº8, fig.16), independentemente da densidade e tipo de ocupação; esta opção justifica-se, no caso da *faixa ribeirinha*, pela frequência com que esta é afectada pelas brisas do Tejo ou do Oceano; no caso dos *fundos de vales*, pela importância que assumem os fenómenos de drenagem nocturna e de canalização do vento;.

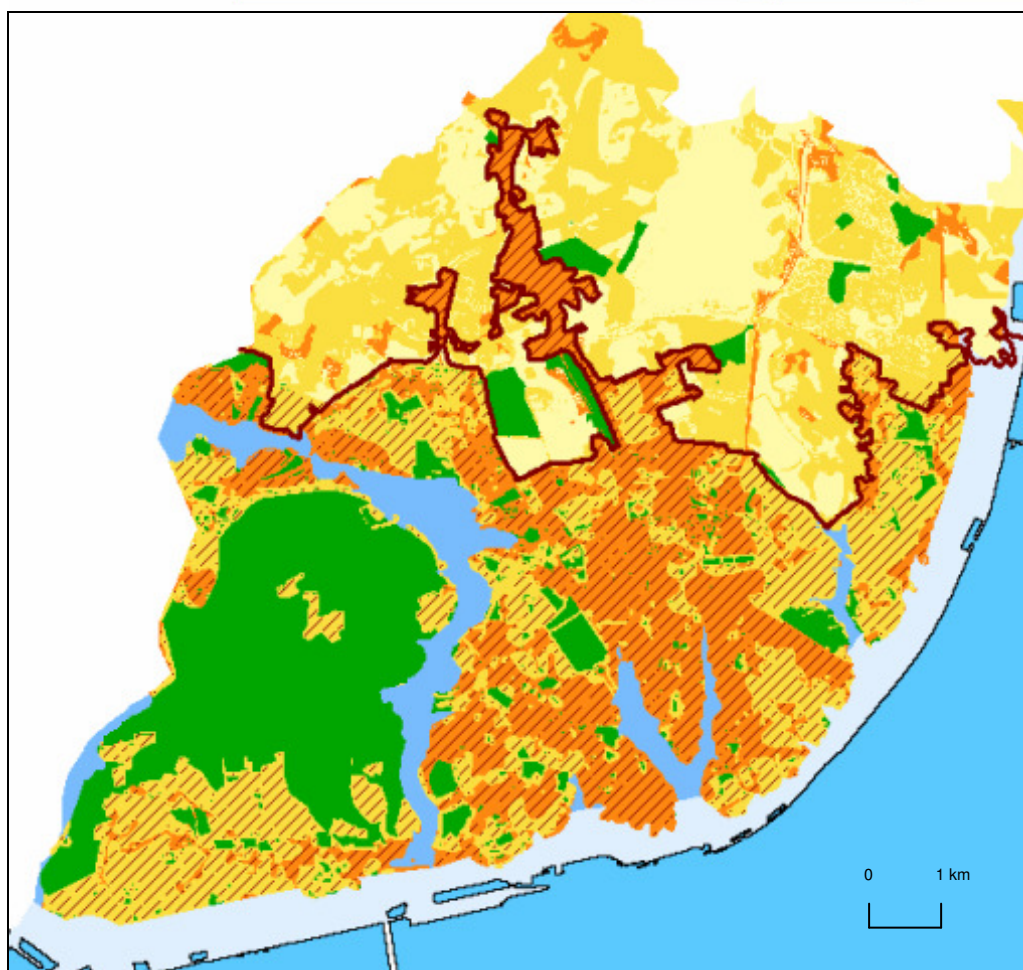
Os climatopos são sucintamente descritos no Quadro II.

Quadro II - Caracterização dos climatopos

Table II – Climate characterization

Unidade	Tipo de ocupação	Classes de ventilação	% da cidade ocupada	Principais áreas na cidade	Comportamento aerodinâmico	Comportamento térmico
1	Elevada densidade de ocupação	Vertentes Planalto Sul de Lisboa Topos	15	Área central Benfica Lumiar	Alta rugosidade ($z_0 \geq 1\text{m}$); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor muito frequente e de intensidade máxima
2	Espaços desocupados ou de fraco nível de ocupação (média e baixa densidade)	Vertentes Planalto Sul de Lisboa Topos	19	Área oriental Benfica Belém/ Alcântara Espaços intersticiais próximos do centro	Rugosidade média ou baixa ($z_0 = 0.5 - 1\text{m}$); redução moderada da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
3	Espaços verdes (E.V.- excluindo E.V. não arborizados no Planalto Norte de Lisboa)	Vertentes, Planalto Sul de Lisboa, Planalto Norte de Lisboa (E.V. arborizados), Topos	19	Monsanto, Parque Eduardo VII e Cidade Universitária	Variável (dependente da arborização)	Áreas frescas (tanto de dia como de noite)
4	Elevada densidade de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	2	Periferia Norte	Alta rugosidade ($z_0 \geq 1\text{m}$); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
5	Densidade média de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	16	Periferia Norte	Rugosidade média ou baixa ($z_0 = 0.5 - 1\text{m}$); redução moderada da velocidade média do vento	Variável ou ilha de calor moderada
6	Espaços desocupados ou de baixa densidade de ocupação	Planalto Norte de Lisboa	14	Periferia Norte	Baixa rugosidade ($z_0 < 0.5$); fraca redução da velocidade do vento	Variável
7	Diversa	Frente ribeirinha exposta às brisas	10	Áreas ribeirinhas oriental e meridional	Diversa; áreas particularmente expostas às brisas	Dependente da exposição e da direcção do vento
8	Diversa	Fundos de vale	6	Diversa	Diversa; áreas de canalização do vento; drenagem de ar frio em noites de arrefecimento radiativo	Condições extremas (dependentes da ocupação)

	Topo	Vertente	Planalto do Sul de Lisboa	Planalto do Norte de Lisboa	Frente Ribeirinha	Fundo de vale
Ocupação urbana de elevada densidade	1			4	7	8
Ocupação urbana de média densidade	2			5		
Ocupação urbana de baixa densidade				6		
Espaços Verdes	3					



Climatopos		Densidade de construção	
Áreas construídas	A Norte do limite aerodinâmico	Elevada	
		Média	
		Baixa	
	A Sul do limite aerodinâmico	Elevada	
		Média e baixa	
Espaços Verdes		Baixa	
Frente Ribeirinha		Variável	
Fundo de vale		Variável	
Limite aerodinâmico			

Fig. 16 - Climatopos de Lisboa.

Fig. 16 - Climatopes of Lisbon

4. Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa

4.1. Introdução

Consideramos que, para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e promover a sustentabilidade urbana, é essencial considerar os aspectos do clima urbano no ordenamento.

Orientações climáticas são as medidas que possam contribuir para mitigar ou melhorar as componentes do clima urbano, consideradas como adversas para a saúde e conforto humano, ou que originem ambientes (interiores ou exteriores) pouco eficientes sob o ponto de vista energético, com base na alteração dos factores que condicionam as referidas componentes.

Em Lisboa propõem-se várias orientações climáticas de modo a atingir os seguintes objectivos: **mitigar a ilha de calor urbano** e as suas consequências e **melhorar as condições de ventilação e a qualidade do ar** (fig.17).

As boas condições de ventilação na cidade são essenciais para que a qualidade do ar seja aceitável numa metrópole onde os níveis de poluição se têm vindo a agravar nos últimos anos (Ferreira, 2004). Também são necessárias para mitigar as consequências da ilha de calor, sendo um factor de arrefecimento do ar.

As condições de ventilação, que se pretendem promover (fig.17) dependem da interacção entre sistemas de vento (a diversas escalas) e as características da cidade (naturais e artificiais). Os principais sistemas de vento a considerar já foram referidos (vento regional, condicionado pelos sistemas sinópticos; brisas de origem térmica entre o estuário ou o Oceano e a cidade; sistemas de drenagem local de ar frio, em noites calmas e sem nebulosidade e que é condicionado pela topografia).

Quanto à mitigação da IC (2º objectivo, fig. 17), salienta-se que a diminuição da sua intensidade não é um objectivo climático universal, aplicável em todas as cidades do globo. A IC pode ser um constrangimento nas cidades de clima muito quente e uma vantagem em cidades com clima de Invernos longos e rigorosos, ou em climas frios (a menos que interfira na destruição do *permafrost*, tornando mais frágeis os alicerces dos edifícios (Klene et al., 2003).

No caso de Lisboa, em que as estações do ano são contrastadas, a ilha de calor urbano poderá ser vantajosa durante o Inverno (contribuindo para um menor consumo energético para aquecimento). Pelo contrário, no Verão, está na origem de desconforto térmico, com possível agravamento das situações extremas de vagas de calor e do aumento de consumo energético para o arrefecimento dos edifícios.

O conforto pode ser indirectamente determinado através de índices bioclimáticos, um dos quais – a temperatura fisiológica – foi aplicado a Lisboa por Andrade (2003). Este índice é baseado no balanço energético do corpo humano e permite a avaliação das condições termofisiológicas humanas, que constituem um factor determinante do conforto térmico. H. Andrade (2003) mostrou que os valores mais elevados de temperatura fisiológica correspondem às áreas de maior intensidade da IC em Lisboa. Em ocasiões de vaga de calor, as situações de desconforto térmico,

mais acentuadas no centro da cidade, podem transformar-se em ocasiões de grande stress térmico e ter consequências indesejadas na morbilidade e na mortalidade dos cidadãos. Refira-se que, nas últimas vagas de calor estivais o número de óbitos terá sido incrementado nas cidades devido sobretudo à falta de arrefecimento nocturno, período do dia em que a intensidade da IC é maior.

Do ponto de vista económico, os raros estudos sobre o assunto em cidades com clima de tipo Mediterrâneo mostram que a poupança de energia para aquecimento no Inverno é menor do que as despesas extra para arrefecimento durante o Verão (Dimoudi e Nikopoulou, 2003; Santamouris, 2001; Hassid et al., 2000), ainda com uma consequência negativa: a libertação de mais CO₂ para a atmosfera.

Saliente-se, ainda, que o clima não é estacionário, estando sujeito a flutuações e variações: assim, as orientações climáticas têm de ser equacionadas à luz de estudos recentes, que apontam para um aumento da temperatura do ar e do desconforto bioclimático e para um aumento da frequência dos fenómenos extremos (IPCC, 2001; Watson et al., 1997; Santos et al., 2001; Andrade, 2003). Numa situação de aquecimento global, os custos de uma cidade sobreaquecida podem aumentar devido ao incremento da mortalidade, associada a vagas de calor (recorde-se o impacto das duas recentes vagas de calor estival, em 2003 e 2004) do desconforto humano, dos custos para arrefecimento dos edifícios e da poluição oxidante e do consumo de água.

Em suma, o balanço entre, por um lado, os benefícios que a ilha de calor urbano propicia no Inverno e, por outro lado, os custos directos e indirectos e a gravidade dos constrangimentos estivais (nomeadamente o acréscimo da mortalidade durante as vagas de calor), levaram-nos a considerar a mitigação da ilha de calor urbano como um objectivo desejável. Trata-se de uma meta proposta para o conjunto da cidade, mas isto não impede que, numa escala de maior pormenor e em situações particulares, se encontrem soluções microclimáticas para minimizar o arrefecimento dos edifícios ou dos espaços públicos no Inverno.

É possível, através da adequada manipulação de factores como a estrutura e arranjo espacial dos edifícios, a cor e características térmicas dos materiais e a presença de vegetação e de água, minorar os aspectos negativos do clima urbano e maximizar os positivos. Contudo, essa intervenção deve ser fundamentada no conhecimento das condições climáticas urbanas e das suas complexas interacções, sendo de evitar as

generalizações simplistas, a partir de esquemas teóricos gerais ou de exemplos exógenos.

As orientações climáticas para o ordenamento urbano são aplicáveis às áreas delimitadas no mapa da figura 18. Serão apresentadas, em 4.2., diversas medidas gerais para atingir os dois principais objectivos acima referidos. Em 4.3, serão dadas orientações espacializadas para seis climatopos.

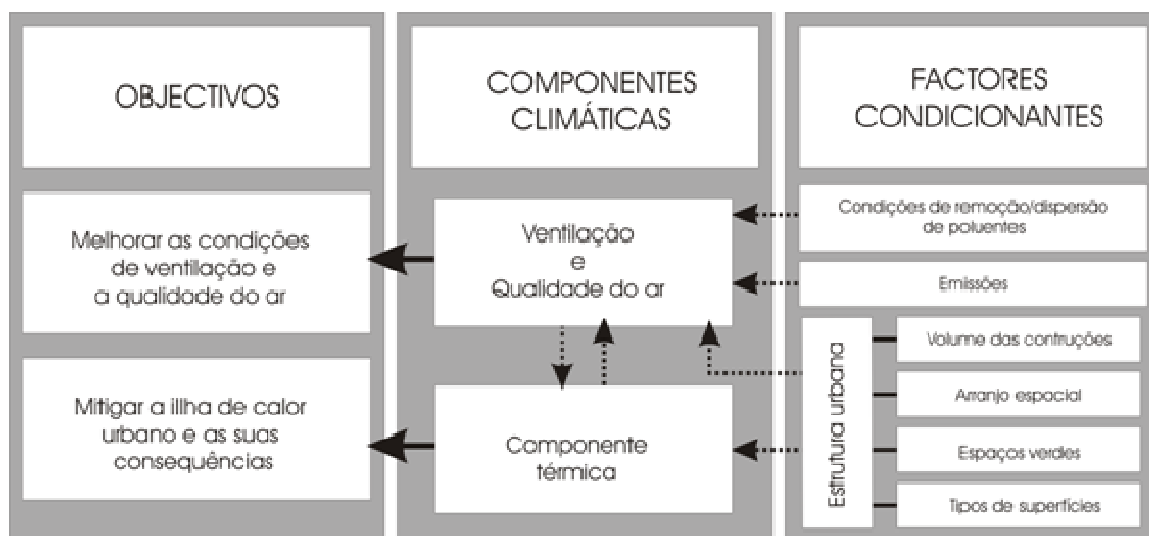


Fig. 17 –Procedimentos para melhorar a qualidade do clima urbano

Fig. 17 –Procedures to improve urban climate quality

4.2. Orientações gerais

4.2.1. Melhoria da ventilação no espaço urbano

Neste caso, as medidas diferem bastante em função da escala considerada. Se, por um lado, é necessário criar uma série de corredores de ventilação que facilitem a circulação dos ventos de gradiente no conjunto da cidade, é necessário velar que, no interior dos bairros, existam áreas abrigadas, sobretudo se forem destinadas a lazer no exterior ou se forem locais de passagem frequente. O estudo microclimático será alvo de posterior publicação.

4.2.2. Mitigação da ilha de calor urbano

A mitigação da ilha de calor pode ser conseguida mantendo uma elevada fracção de céu visível (SVF, ver 2.1), criando espaços verdes e escolhendo materiais de construção adequados.

a) Manutenção de um SVF elevado

A disposição dos elementos construídos, quanto à altura, espaçamento e disposição condiciona quer o balanço de radiação (e consequentemente as condições térmicas), quer as condições de ventilação, as quais também influenciam o campo térmico urbano.

Uma morfologia urbana caracterizada por prédios altos com ruas estreitas, ou seja, uma relação H/W elevada (ver nota de rodapé em 2.1), reduz a fracção de céu visível (*sky view factor, idem*) e modifica de vários modos o balanço radiativo, diminuindo a radiação global (efeito de sombra) e a radiação reflectida (pequeno comprimento de onda), além de incrementar a retenção da radiação infra-vermelha ao nível das ruas. Um aumento da densidade urbana tem também uma influência negativa sobre as condições de ventilação.

Assim, durante os dias de Verão, uma estrutura urbana densa poderá provocar alguma melhoria das condições de conforto no exterior, devido a um aumento das áreas de sombra (embora estas estejam mais dependentes da disposição dos edifícios do que da sua densidade), desde que esse efeito não seja contrariado pela redução da circulação do ar. Durante a noite, pelo contrário, o *stress* térmico é extremamente intensificado em áreas de baixo SVF. Neste sentido, uma das principais orientações para mitigar a ilha de calor urbano passa pela intervenção no volume das construções e na relação H/W, que deverá ser ≤ 1 (Alcoforado, 1994; Andrade, 2003; Lopes, 2003). Um H/W = 1 significa que a altura de um edifício é igual à distância que o separa dos outros edifícios, obedecendo, desta forma, ao artigo 59º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951), ainda em vigor.

Num estudo sobre a utilização racional de energia no interior dos edifícios

(Gonçalves et al., 2004), foi considerado aconselhável para Lisboa o predomínio de ruas Este-Oeste, em detrimento de ruas orientadas Norte-Sul. Foram aconselhados valores H/W na ordem de 0.6. Note-se que as relações propostas têm apenas em consideração o acesso solar aos edifícios, de forma a melhorar o seu comportamento energético, não entrando em conta com as condições de ventilação nem com o conforto no exterior dos edifícios.

b) Criação de espaços verdes

Os espaços verdes desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis, contribuindo para o arrefecimento da cidade, através do efeito de sombra e da evapotranspiração (Oke, 1989; Alcoforado, 1996; Spronken-Smith and Oke., 1998; Andrade, 2003, Andrade e Vieira, 2005) e para a filtragem de poluentes na atmosfera urbana (Beckett et al., 1998; Kuttler e Strassburger, 1999; Upmanis et al., 1999; 2001). No interior dessas áreas, o tipo de vegetação, a topografia, a presença de planos de água e algumas construções podem proporcionar condições microclimáticas muito diversificadas (Alcoforado, 1996; Andrade, 2003; Andrade e Vieira, 2005).

Com base em diferentes estudos, já realizados ou em curso, estima-se que seja necessária uma dimensão mínima aproximada de 8 ha para que um espaço verde influencie razoavelmente, em termos térmicos, as áreas urbanas envolventes (Andrade e Vieira, 2005); contudo, áreas verdes de menores dimensões podem trazer outros benefícios microclimáticos importantes às áreas urbanas (Andrade, 2003; Andrade e Vieira, 2005).

c) Selecção de materiais de construção e de cobertura adequados

Poder-se-á controlar a temperatura de superfície, seleccionando materiais em função das suas características físicas como o **albedo, a condutibilidade térmica e a capacidade calorífica** (Oke, 1991; Doulos et al., 2004). O revestimento das coberturas dos edifícios com material impermeabilizante de cor escura contribui fortemente para a absorção de radiação e para o sobreaquecimento estival no interior dos edifícios e, também, para o aumento da ilha de calor urbano de superfície, sendo por isso particularmente desaconselhado.

4.3. Orientações espacializadas

Como foi referido, os objectivos climáticos a atingir em Lisboa são os mesmos no conjunto da cidade; no entanto, as medidas necessárias para os atingir variam no espaço, fundamentalmente em função da posição topográfica, da proximidade do Tejo e principalmente da morfologia urbana.

No quadro III resumem-se algumas orientações concretas para cada um dos 6 grupos de climatopos definidos na figura 18, para cumprir os objectivos fixados atrás.

Quadro III – Quadro-resumo das orientações climáticas espacializadas para o ordenamento em Lisboa

Table III – Summary of spatialized guidelines for planning in Lisbon

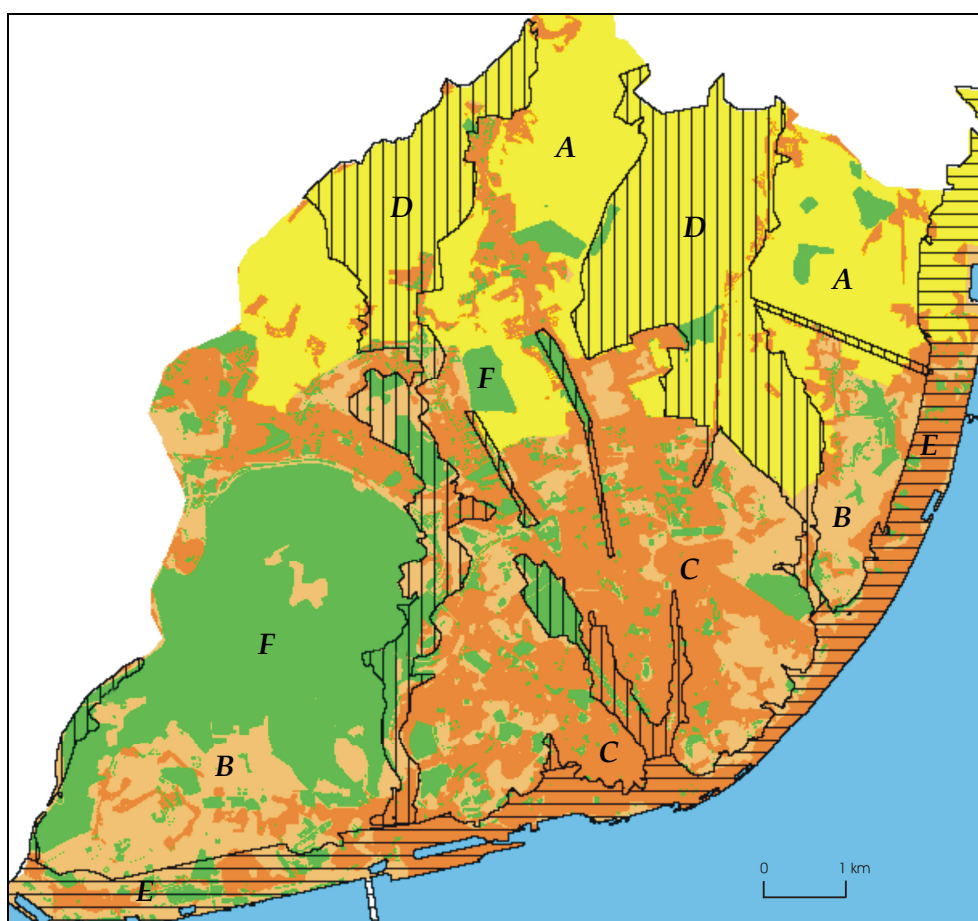
Grupos de climatopos	Orientações
A Área de baixa densidade de construção do Norte de Lisboa (4+5+6 na fig.16)	1. Manter corredores de ventilação com orientação N-S (NW-SE a NE-SW) 2. Manter uma razão $H/W \leq 1$ nas construções urbanas 3. Criar espaços verdes extensos no interior e entre as áreas edificadas
B Áreas construídas de média densidade a Sul do limite aerodinâmico (2, fig.16)	1. Preservar os fundos dos vales de novas construções e da ocupação com vegetação densa 2. Manter uma razão $H/W \leq 1$ nas construções urbanas 3. Criar espaços verdes de média dimensão e preencher os espaços intersticiais com vegetação
C Áreas construídas de alta densidade (1+4, fig.16)	1. Preservar os fundos dos vales de novas construções e da ocupação com vegetação densa 2. Manter nas construções urbanas uma razão H/W o mais elevada possível (se possível ≤ 1); evitar o aumento do número de pisos dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais 3. Ocupar os espaços intersticiais com vegetação, de preferência caducifólia 4. Utilizar materiais de construção e cobertura de baixa conductividade e albedo elevado

Grupos de climatopos	Orientações
D Corredores de ventilação (ver texto)	1. Impedir a construção de edifícios altos ou médios coma fachada orientada perpendicularmente aos ventos dominantes (N-NW) 2. Evitar a plantação de manchas arbóreas densas que impeçam a circulação dos ventos dominantes
E Frente Ribeirinha (7, fig.16)	1. Evitar a construção de edifícios altos ou médios coma fachada orientada paralelamente à margem do Tejo 2. Manter corredores abertos perpendiculares ou oblíquos em relação à margem do Tejo
F Espaços verdes (3, fig.16)	1. Manter os espaços verdes existentes e favorecer a manutenção de pequenos jardins e logradouros com vegetação 2. Nos espaços verdes de lazer, favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia 3. A barlavento das áreas de permanência (por exemplo esplanadas), criação de barreiras de árvores de folha persistente 4. Nos espaços verdes de protecção, favorecer manchas densas de árvores de folha persistente

Área de fraca densidade de construção do Norte de Lisboa (A)

No conjunto de **climatopos A**, de **fraca densidade de construção do Norte de Lisboa** foram agrupadas as áreas de baixa e média densidades e os espaços verdes de estrutura não arbórea, situados a Norte do limite aerodinâmico (comparar figuras 16 e 18). Faz-se notar que, a Norte do referido limite, existem já numerosas, embora felizmente ainda pouco extensas, áreas de alta densidade de construção (cor ocre no mapa da figura 18).

Na área **A**, a IC não é muito intensa e a rugosidade é relativamente baixa, devido às características do tecido urbano. Assim, estes são os locais de Lisboa que oferecem actualmente menor resistência à circulação do vento regional. Esta situação deverá ser mantida pois trará consequências positivas (em termos de ventilação, qualidade do ar, temperatura do ar e conforto para os cidadãos) não só para estes bairros, mas também para todos os que se encontram a sotavento.



A		Área de fraca densidade de construção do Norte de Lisboa
B		Áreas construídas de média densidade
C		Áreas construídas de alta densidade
D		Corredores de ventilação
E		Frente ribeirinha
F		Espaços verdes

Fig. 18 - Delimitação das áreas para as quais são definidas orientações climáticas para o ordenamento urbano

Fig. 18 –Areas for which climate guidelines for planning were prepared

Nesta área, traçaram-se *corredores de ventilação* com orientação N-S (NW-SE a NE-SW), que correspondem a áreas alongadas nas direcções acima mencionadas e que serão referidos em conjunto como conjunto de climatopos D.

Uma das orientações é **de manter uma baixa rugosidade**, o que se poderá alcançar deixando espaço suficiente entre os edifícios, cumprindo a relação $H/W \leq 1$ e não construindo edifícios com fachadas altas e extensas perpendiculares aos ventos dominantes. Assim será minimizada a redução da velocidade do vento a sotavento. Recomenda-se também **se criem espaços verdes** de grande dimensão no interior dos diversos bairros e nas áreas entre eles, uma vez que ainda existem espaços disponíveis para o efeito,

Áreas construídas de média densidade (B)

São aqui agrupados os climatopos, que se designaram genericamente por *áreas construída de média densidade a Sul do limite aerodinâmico* e ocupam espaços particularmente extensos no sector oriental da cidade e no SW (comparar figuras 16 e 18).

Tratam-se de áreas em que a IC é mais frequente e mais intensa do que na anterior. A rugosidade é maior devido sobretudo às características das estruturas urbanas. Para manter uma suficiente ventilação deverão ser preservados os fundos de vales de novas construções (nomeadamente a SE da cidade).

No caso de novas construções, dever-se-á, se possível, manter a razão $H/W \leq 1$. Sugere-se ainda a criação (ou manutenção) de espaços verdes de média dimensão e o preenchimento dos espaços intersticiais com vegetação.

Áreas construídas de alta densidade (C)

As **áreas construídas de alta densidade** ocorrem sobretudo a Sul do limite aerodinâmico em localizações diferenciadas: no centro histórico da cidade, de topografia acidentada, nos planaltos das “Avenidas Novas”, ao longo do Tejo, a SE da cidade e ao longo dos principais eixos viários (Benfica, Lumiar). São as áreas de maior densidade de ocupação do solo e onde a modificação das condições climáticas pela cidade é mais pronunciada: além da deterioração das condições de ventilação, resultado do maior atrito (devido à densidade de construção e, em certos interflúvios, também à topografia) e consequente redução da velocidade média do vento, a ilha de calor é aqui a mais intensa e a mais frequente (valores medianos entre 3 a 4°C). No

entanto, é uma área que se encontra consolidada, praticamente sem deixar margem à aplicação de medidas, que modifiquem positivamente as características climáticas. Contudo, em certos bairros em reconversão, sugerem-se as seguintes recomendações:

- a preservação do fundo dos vales de novas construções e de ocupação com vegetação densa
- a criação de logradouros de elevada qualidade climática, nos ainda existentes espaços intersticiais, aconselhando-se a utilização de vegetação caducifolia.

Para a diminuição da IC, a plantação de jardins suspensos e nos terraços dos edifícios, preconizados por alguns autores (Baumüller et al., 2005), não parece ser uma solução que se adapte, em geral, às características dos edifícios mais antigos de Lisboa (sobretudo a nível dos telhados), embora possa ser pontualmente utilizada.

Nos espaços intersticiais recomenda-se a plantação de vegetação, de forma a contribuir para o arrefecimento das superfícies e do ar, através do aumento da evapotranspiração, de modo a proporcionar condições microclimáticas favoráveis.

A manutenção da razão H/W o mais baixa possível (se possível inferior a 1), evitando aumentar o número de pisos dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais. A utilização de materiais de construção e de cobertura de baixa condutividade e de albedo elevado.

Corredores de ventilação (D)

Nas três áreas atrás mencionadas, uma das orientações recorrentes é a necessidade de manter áreas abertas, alongadas no sentido dos ventos dominantes (NW-SE a NE-SW) por onde os ventos regionais possam ser conduzidos, contribuindo para a melhor qualidade do clima e do ar no conjunto da cidade. Os *corredores de ventilação* propostos na figura 18 foram delimitados seguindo diferentes critérios, que se consideraram corresponder a condições propícias à circulação do vento regional:

- Nos climatopos B e C
 - Fundos de vale (construídos ou não) com sentido N/S e NW/SE (relembre-se que os ventos dominantes em Lisboa sopram de Norte⁹ em 23.4% das

⁹ Dados referentes à estação de Lisboa Gago Coutinho no período de 1990/2004

ocorrências e de Noroeste em 21.9%; às 18h, no Verão, a frequência dos ventos de N e NW atinge 70%).

- Áreas contíguas com baixa densidade de construção ou espaços verdes não arbóreos.

- Nos climatopos A

- Vias de circulação largas (3 ou mais faixas de circulação em cada sentido, orientadas no sentido dos ventos dominantes).

- Uma via de circulação de orientação aproximadamente Oeste/Este (WNW/ESE) foi também incluída nos *corredores de ventilação*. Tal justifica-se porque se pretende maximizar a penetração das brisas do estuário do Tejo no sector oriental de Lisboa, em que elas são menos velozes e menos espessas. O ideal seria a criação de outros corredores W-E no sector Leste da cidade.

Para manter e/ou evitar obstruir estes corredores, sugere-se que além de se impedir a construção de edifícios altos ou médios, com fachadas orientadas perpendicularmente aos ventos dominantes, se evite a plantação de maciços arbóreos densos, que constituem igualmente obstáculos importantes à circulação do ar.

Frente Ribeirinha (E)

A *Frente ribeirinha* foi delimitada pela curva de nível de 20 metros de altitude. Essa delimitação reflecte a necessidade de salvaguardar a penetração das brisas na cidade. Essa penetração é variável em função da intensidade da brisa e do vento regional; em certos casos, uma brisa de SE pode atingir o Aeroporto e Avenidas Novas e, noutros dias, as brisas de Este podem não ultrapassar poucas centenas de metros da margem. Portanto, a “frente ribeirinha” não delimita a área de penetração das brisas, mas representa a faixa que lhes está mais exposta e onde os cuidados para o favorecimento da sua circulação na cidade devem ser prioritários

A frequência das brisas estivais (entre 30% a 35% dos dias de Verão) faz com que o seu contributo para o conforto térmico dos habitantes seja significativo, tanto mais que ocorrem sobretudo associadas aos dias mais quentes (Alcoforado, 1987; Andrade, 2003).

Recomenda-se assim que, ao longo da frente ribeirinha, seja evitada a

construção de edifícios altos ou médios paralelos à margem do Tejo, sendo igualmente de evitar a plantação de manchas arbóreas densas nessas áreas. É também recomendado que sejam deixadas livres de construção vias de penetração com um eixo perpendicular ou oblíquo em relação à margem do Tejo.

Espaços Verdes (F)

Os *espaços verdes* desempenham importantes funções climáticas, biológicas, hidrológicas, sociais e culturais nas áreas urbanas. A informação utilizada para a delimitação destes espaços foi cedida pela CML, tendo sido completada através da observação de fotografia aérea e de trabalho de campo, para identificação das suas características.

Nas áreas verdes destinadas essencialmente ao lazer das populações, considera-se que deve existir uma estrutura diversificada (por exemplo, alternância de áreas relvadas e arborizadas), o que permite criar condições microclimáticas propícias a diferentes actividades e tipos de população e em diferentes tipos de tempo. Em geral, devem ser aproveitadas as potencialidades da vegetação caducifólia, de forma a proporcionar sombra no período estival (quando esta é mais necessária) e permitir (embora com limitações) a passagem da radiação solar no Inverno. Contudo, em áreas em que o abrigo do vento seja necessário (locais de permanência, como as esplanadas), a criação de sebes densas de folha persistente pode ser desejável¹⁰. O papel da vegetação deve ser bem estudado, uma vez que a inserção de um conjunto de árvores pode piorar localmente as condições de dispersão de poluentes através da redução da velocidade do vento.

Nos espaços verdes de protecção, cuja principal função é a filtragem de certos poluentes atmosféricos, a vegetação de folha persistente é mais eficaz.

¹⁰ Este tema será retomado no estudo levado a cabo na escala microclimática. Parecem por vezes existir conflitos entre as orientações na escala do conjunto da cidade (mesoclimática) e a aquelas que se fazem para determinados bairros (escala microclimática)

Remate

Os principais resultados do trabalho desenvolvido no âmbito do projecto entre o CEG e a CML “Orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa” dizem respeito, quer ao processo de interacção os investigadores e os agentes de planeamento (nomeadamente com os técnicos do Departamento de Planeamento Estratégico da Câmara Municipal de Lisboa), quer aos resultados obtidos, relativamente ao conhecimento do espaço urbano, em termos dos factores condicionantes do clima urbano e à espacialização das orientações climáticas.

No diálogo desenvolvido com os técnicos do planeamento da CML, foram definidas as principais linhas das propostas. Pode considerar-se que esta troca de informação e experiência funcionou nos dois sentidos, com o objectivo de permitir o

ajustamento, sempre difícil, entre os resultados da investigação e as necessidades do planeamento.

Foi possível, para o grupo de investigadores do CEG, compreender melhor as necessidades dos agentes do planeamento, em termos da informação necessária, da adaptação da linguagem e das formas de apresentação da informação. Além disso, começaram a estruturar-se os conhecimentos sobre o clima urbano de Lisboa, obtidos no âmbito de investigação anterior, em termos das necessidades para o planeamento e o ordenamento urbanos. No sentido inverso de transferência de informação, ter-se-á conseguido chamar a atenção dos agentes de planeamento para a importância das componentes climáticas do ambiente urbano, para a complexidade dos processos e factores envolvidos e para a necessidade de evitar soluções normalizadas e desajustadas do contexto climático e urbano em causa.

Como principais resultados deste processo, são de salientar dois mapas e as respectivas notícias explicativas. O primeiro desses mapas, “mapa dos climatopos” foi um passo intermédio indispensável para permitir organizar espacialmente o espaço urbano, em termos de “resposta climática potencial”. No segundo mapa, agrupam-se os climatopos para os quais são enumeradas orientações climáticas para o planeamento/ordenamento.

Nas áreas do Norte da cidade, ainda com densidades construção relativamente baixas, considera-se prioritário evitar o aumento da rugosidade aerodinâmica, o que permitirá, por um lado, manter condições climáticas aceitáveis nestes espaços e, por outro lado, impedirá a deterioração das condições de ventilação a sotavento, que teriam consequências negativas para ilha de calor urbano e a qualidade do ar.

Nas áreas do Sul de Lisboa, em grande parte já “consolidadas”, as orientações propostas procuram evitar piorar a situação existente, impedindo o aumento da densidade e altura da construção e mantendo (e se possível aumentando) a área verde.

Os espaços verdes deverão obviamente ser mantidos ou alargados (salienta-se, do ponto de vista climático, a importância dos espaços verdes de média e grande dimensão); no entanto, é necessário um adequado planeamento, com vista a potenciar a sua utilização e reduzir possíveis aspectos ambientais negativos.

Nos “corredores de ventilação” e na “frente ribeirinha” propõem-se medidas muito concretas para facilitar a circulação do vento, quer do vento regional dominante do quadrante Norte, quer das brisas do estuário e do oceano e, assim, contribuir para o melhoramento das condições térmicas e de qualidade do ar em toda a cidade.

Bibliografia

- Alcoforado, M. J. (1985) - Dois exemplos de utilização de termografias obtidas de avião. *Primeiro Seminário sobre Cartografia Temática e Cadastral*, LNEC, Lisboa:12- 23.
- Alcoforado, M. J. (1986) - Contribution to the study of Lisbon's heat island. Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, 26: 165-176.
- Alcoforado, M. J. (1987) - Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXII (43): 71-112.
- Alcoforado, M. J. (1989) - Représentativité temporelle des mesures itinérantes. Exemple de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 2: 69-74.
- Alcoforado, M. J. (1991) - Influence de l'advection sur les champs thermiques urbains à Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 4: 29-35.
- Alcoforado, M. J. (1992a) - Lisbon's thermal patterns. *Pre-congress meeting of the Commission on Climatology, 27th international Conference of the IGU*, Pennsylvania:100-108.
- Alcoforado, M. J. (1992b) - O clima da região de Lisboa. *Contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, Lisboa: 347.
- Alcoforado, M. J. (1996) - Comparaison des ambiances bioclimatiques estivales

d'espaces verts de Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9: 273-280.

Alcoforado, M. J. (1998) - Estudos de clima urbano em Portugal. In Garcia-Fernández, F. et al. (eds) *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e IberoAmericanas*. Madrid, Editorial Parteluz: 41-66.

Alcoforado, M. J. (1999) - Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia, Lisboa*, XXXIV (67-68): 83-94.

Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H. (1998) - Studies on urban Climatology in the area of Lisbon. In Alcoforado, M.J. et al. ed. *Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora: 45-46.

Alcoforado, M. J.; Lopes, A.; Andrade, H. (1999) - Cartes thermiques et cartes du "risque" d'occurrence de basses températures en milieu urbain a Lisbonne. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 12: 433-441.

Alcoforado, M. J.; Lopes, A. ; Andrade, H. (2000) - A ilha de calor de Lisboa. Aspectos e problemas da sua representação cartográfica. *Jornadas sobre Clima e Aplicação*, Bragança, 23-25 de Janeiro: 9-10.

Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2003) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, vol.1: 21-24.

Alcoforado, M. J.; Vieira, H. (2004) - Informação climática nos planos directores municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, 37/38: 103-118.

Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2005) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, versão electrónica.

Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R. (2005) - *Contribuição para a sustentabilidade urbana: orientações climáticas para o planeamento e o ordenamento em Lisboa*. Relatório elaborado para a CML.

Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R. (2005) - Observational studies about Summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on day-time regional and urban thermal patterns. *Merchavim* (no.6). Department of Geography and the Human Environment. University of Tel Aviv, Israel. 21p. (em impressão).

Andrade, H. (1994) - *Poluição Atmosférica e Clima de Lisboa. Aspectos da Variação Espacial e Temporal no Semestre de Inverno*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. Faculdade de Letras Universidade de Lisboa: 214.

Andrade, H. (1996) - A qualidade do ar em Lisboa, valores médios e situações extremas. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia, Lisboa*, XXXI (61): 43-66,

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

Andrade, H. (2003) - *Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa: 435.

Andrade, H.; Lopes, A. (1999) - A influência da radiação e da velocidade do vento no conforto térmico na área suburbana a Norte de Lisboa (Caneças). *Actas do VIII Colóquio Ibérico de Geografia*, Lisboa, Departamento de Geografia e Planeamento Regional - FCSH.

Andrade, H.; Alcoforado, M. J. - Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. Aceite para publicação na revista *Theoretical and Applied Climatology*.

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, 44p.

Barata Salgueiro, T. (1992) - *A cidade em Portugal. Uma Geografia Urbana*. Edições Afrontamento, Lisboa : 439.

Barata Salgueiro, T. (2001) - *Lisboa, Periferia e Centralidades*. Celta Editora. Lisboa:230.

Baumüller, J., Hoffman, U. e Reuter, U. (2005) - *Climate booklet for urban development. References for zoning and planning*. Baden-Württemberg Innenministerium, [Consultado em 16 de Outubro de 2005], Disponível em <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>

Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H.; Taylor, G. (1998) - Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3): 347-360.

Beckröge, W.; Kiese, O.; Otto, G., Stock, P. (1988) - *Klimaanalyse Stadt Recklinghausen*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Abt. Kartographie, Luftbildwesen und Stadtklimatologie, Essen.

Bitan, A. (1988) - The methodology of applied climatology in planning and building. *Energy and Buildings*, 11, 1-10.

Bitan, A. (1992) - The high climatic quality of the future. *Atmospheric Environment*, 26B, 3, 313-329.

Britter, R. E., Hunt, J. C. R.; Richards, K. J. (1981) - Air flow over a two-dimensional hill: studies of velocity speed-up, roughness effects and turbulence. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 107: 91-110.

Câmara Municipal de Lisboa (1994) - PDM de Lisboa.

Consiglieri, C.; Ribeiro, F.; Vargas, J.; Abel, M. (1993) - *Pelas freguesias de Lisboa. O termo de Lisboa*. Lisboa, CML: 142.

Dimoudi, A.; Nikolopoulou, M. (2003) - Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35: 69-76.

Doulos, L.; Santamouris, M.; Livada, I. (2004) - Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2): 231-349.

- Eliasson, I. (2000) - The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 48: 31-44.
- Fallot, J.M.; Alcoforado, M.J. (1988) - Mesures de l'influence de l'îlot de chaleur de Lisbonne sur les écoulements régionaux en été. *Actes des Journées de Climatologie - Mont-Rigi*. Presses Universitaires de Liège: 57-74.
- Fehrenbach, U., Scherer, D.; Parlow, E. (2001) - Automated classification of planning objectives for the consideration of climate and air quality in urban and regional planning for the example of the region Basel/Switzerland. *Atmospheric Environment*, 35: 5605-5615.
- Ferreira, F. (2004) - Qualidade do ar em Portugal e enquadramento legislativo. Workshop "Medidas de Gestão da Qualidade do Ar na AML", LNEC (apresentação oral).
- Friedrich M; Grätz; A.; Jendritzky , G. (2001) - Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account. *Meteorologische Zeitschrift*, 10(4): 267-272.
- Gonçalves, H.; Panão, M. et al. (2004) - *Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa*. Lisboa, INETI, 58p.
- Hassid, S.; Santamouris, M.; Papanikolaou, N.; Linardi, A.; Klitsikas, N.; Georgakis, C.; Assimakopoulos, D. (2000) - The effect of the Athens heat island on air conditioning load. *Energy and Buildings* (32): 131-141.
- IPCC (Intergovernmental Pannel on Climate Change) (2001) - *The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. [Consultado em 16 de Novembro de 2004]. Disponível em: http://grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/029.htm.
- Jackson, P. S.; J. Hunt, C. R. (1975) - Turbulent wind flow over a low hill.. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*: 101: 929-955.
- Klene, A.E., Hinkel, K.M.; Nelson, F.E. (2003). *The Barrow heat island study: Soil temperatures and active-layer thickness*. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, University of Zurich-Irchel, 555-560.
- Kuttler, W.; Strassburger, A. (1999) - Air quality measurements in urban green areas - a case study. *Atmospheric Environment*, 33 (24-25): 4101-4108.
- Landsberg, H. (1981) - *The urban climate*, Academic Press, New York.
- Lazar, R.; Podesser, A. (1999) - An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the tributary valleys east of Graz Austria). *Atmospheric Environment*, 33: 4195-4209.
- Lindqvist, S. (1991) - *Local climatological maps for planning*. Göteborg, Göteborgs Universitet Naturgeografiska Institutionen.
- Lopes, A. (1994) - Interpolação de temperaturas à escala do clima local. *Geo-Sistemas*, Lisboa (3): 153-157.

Lopes, A. (1995) - Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras). *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*; Lisboa, XXX, (59-60): 149-164.

Lopes, A. (1998) - Modelling night temperatures in the south of Lisbon Peninsula with a GIS. In Alcoforado, M.J. et al. ed. *Pre-Regional Conference Meeting on the Commission on Climatology*, Évora: 25-26.

Lopes, A. (2002) - The influence of the growth of Lisbon on summer wind fields and its environmental implications. *Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and the Built Environment*, UMIST, Manchester.

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 apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa: 375.

Lopes, A.; Andrade, H. (1998) - Proposta de um SIG para o Ordenamento Biofísico em Lisboa. In Garcia-Fernández, F. et al. (eds) *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*. Madrid, Editorial Parteluz: 85-91.

Lopes, A. (1998) - Contrastes térmicos nocturnos e acumulação de ar frio em áreas urbanas do Sul da península de Lisboa. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXXIII (66): 25-40.

Lopes, A.; Vieira, H. (2001) - Heat fluxes from Landsat images: a contribution to Lisbon urban planning. In Jürgens, C. (Ed.) *Remote sensing in urban areas*. Regensburg, Regensburg Geographische Schriften, 35: 169-176.

Lopes, A.; Vieira, H. (2002) - A utilização de balões cativos para o estudo microclimático do bairro lisboeta de Telheiras. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa. XXXVII (74): 151-160.

Matzarakis, A. (2005) - *Urban climate research in Germany*. IAUC Newsletter, 11, 4-6 (<http://www.indiana.edu/~iauc/>)

Mills, G. (2003) - The meteorologically utopian city revisited. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, vol. 2:227-230.

Mills, G., (2005) - Progress towards sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, versão electrónica

Montavon, C. (1998) - *Simulation of atmospheric flows over complex terrain for wind power potential assessment*. EPFL. Lausanne, Switzerland: 144.

Oke T.R. (1984) - Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, 7: 1-10.

Oke, T.R. (1987) - *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.

Oke, T.R. (1988) - Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11: 103-113.

Oke, T.R. (1989) - The micrometeorology of the urban forest. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B

(324): 335-349.

Oke, T.R. (1995) - The Heat Island Characteristics of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In Cermak, J.E. et al. (Eds.) *Wind Climate in Cities*, Kluwer Academic: 81-107.

Oke, T.R. (2004) - *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. IOM Report, n.81, WMO/TD N° 1250, Geneva, World Meteorological Organization, <http://www.wmo.ch/web/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>

Oke, T.R. (2005) - Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, versão electrónica

Oke, T.R.; Johnson, G.T.; Steyn, D. G.; Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 56: 339-358.

Oliveira, P.; Ramos, C. (2002) - Inundações na cidade de Lisboa durante o séc. XX e os seus factores agravantes. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXXVII, 74: 33-54.

Pinho, A. (2003) - Bairro de Telheiras. Aplicação de princípios climáticos à arquitectura. LNEC. Inédito: 215.

Sailor, D. J.; Lu, L. (2004) - A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Energy and Buildings*, 38: 2737-2748.

Santamouris, M. (2001) - The energy impact of the urban environment. In M. Santamouris, ed. *Londres, Energy and Climate in the Built Environment*, James & James Ltd, London: 97-109.

Santos, F.D.; Forbes, K.; Moita, R. (Eds.) (2001) - *Mudança climática em Portugal. Cenários impactes e medidas de adaptação* - SIAM. Sumário executivo e conclusões. Lisboa, Gradiva.

Saraiva, J.; Marques da Silva, F.V.; Gonçalves da Silva, F.A. (1997) - O vento, a cidade e o conforto. *IV National Meeting on Comfort in Built Environments*, Bahia, Brasil., Núcleo de Dinâmica Aplicada do LNEC, 6p.

Scherer, D.; Fehrenbach, K.; Beha, H.-D.; Parlow, E. (1999) - Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33: 4185-4193.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2001) - *Berlin Digital Environmental Atlas* www.stadtentwicklung.berlin

Simpson, J. E. (1994) - *Sea breeze and local winds*. Cambridge, Cambridge University Press.

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.

Stock, P.; Beckröge, W.; Barlag, A.B. (1991) - *Klimaanalyse Stadt Bochum*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen, 123p.

Stock, P.; Beckröge, W.; Kiese, O.; Kuttler, W. (1986) - *Klimaanalyse Stadt Dortmund*, Kommunal-verband Ruhrgebiet, Essen, 39p.

Thommes, W. et al. (2001) - *Klima und Raumplanung. Reklip*, Regionales Klimaproject, project Schluchbericht, Editions Coprur, Basel. Band 4.

Taylor, P.; J. Walmsley; J. Salmon (1983) - A simple model of neutrally stratified boundary-layer flow over real terrain incorporating wavenumber-dependent scaling. *Boundary-Layer Meteorology*, 26:169-189

Troen, I. (1990) - A high resolution spectral model for flow in complex terrain. *Ninth Symposium on Turbulence and Diffusion*. Roskilde: 417-420.

Upmanis, H.; Eliasson, I.; Lindqvist, S. (1999) - The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18: 681-700.

Upmanis, H.; Eliasson, I.; Andersson-Sköld, Y. (2001) - Case studies of the spatial variation of benzene and toluene concentrations in parks and adjacent built-up areas. *Water, Air and Soil Pollution*, 129: 61-81.

Vasconcelos, J.; Lopes, A.; Neto, J.; Salgado, R. (2004) - *Modelling estuarine breezes of Lisbon, Portugal. Preliminary results*. Proceedings of the IV Conference of the Spanish Association of Climatology, Santander: 165-171.

Watson R.; M. Zinyowera, R. Moss(ED.) (1997) -*The Regional Impacts of Climate Change: an Assessment of Vulnerability*, A special Report of IPCC Working Group II, Summary for Policymakers, WMO, UNEP: s/p.

Wilmers, F. (1988) - Green for melioration of urban climate. *Energy and Buildings*, 11: 289-299.

Zrudlo, L.R., (1988) - A climatic approach to town planning in the Artic. *Energy and Buildings*, 11: 41-63.

Índice de figuras

Fig. 1 – Mapas de localização.....	23
<i>Fig. 1 – Location Maps.</i>	23
Fig. 2 – Diagramas polares (fotografias obtidas com uma lente “olho de peixe”), representativos de diferentes morfologias urbanas de Lisboa.	31
<i>Fig. 2 – Polar diagrams (photos taken with fish-eye lenses) of different Lisbon urban structures.</i>	31
Fig. 3 – Ilha de calor nocturna de Lisboa: Temperaturas normalizadas da atmosfera referentes a noites com vento Norte moderado (Andrade, 2003).	32
<i>Fig. 3 – Nocturnal urban heat island. Normalised temperatures referring to light north winds nights.</i>	32
Fig. 4 – Padrões térmicos em Lisboa num dia de Verão (Alcoforado e Dias, 2002).	33
<i>Fig. 4 – Daytime summer thermal patterns in Lisbon.</i>	33
Fig. 5 – Padrão térmico num dia de Inverno com nevoeiro (Alcoforado e Dias, 2002).	33
<i>Fig. 5 – Lisbon thermal patterns on a foggy winter day</i>	33
Fig. 6 – Rumos do vento em Lisboa/Portela_(médias horárias, período de 1971-1980, Lopes, 2003).	36
<i>Fig. 6 – Wind directions at the Airport meteorological station_(Lisboa/Portela, hourly average, 1971-1980).</i>	36
Fig. 7 – Perfil do vento estival estimado para Lisboa, integrando todas as direcções....	38
<i>Fig. 7 – Estimated wind profile in Lisbon for all directions.</i>	38
Fig. 8 – Simulação da velocidade média do vento estival em Lisboa para as próximas décadas.(Lopes, 2003).....	39

Fig. 8 – Mean wind speed simulation in summer for the next decades.....	39
Fig. 9 – Rugosidade aerodinâmica (z_0) em Lisboa nos anos 80 (Lopes, 2003).....	40
Fig. 9 – Roughness length (z_0) in Lisbon in the 1980s.....	40
Figura 10 – Redução da velocidade da velocidade do vento estival, devido ao crescimento urbano até aos anos 80 do século XX (Lopes, 2003)	40
Fig. 10 – Wind speed decrease in summer due to urban growth until the 1980s.....	40
Fig. 11 – Procedimento para a delimitação dos climatopos	43
Fig. 11 – Procedure to climatope delimitation	43
Fig. 12 – Classificação da morfologia urbana de Lisboa para fins climáticos.....	44
Fig. 12 – Lisbon's urban morphology for climatic purposes.....	44
Fig. 13 – Relevo de Lisboa	46
Fig. 13 - Lisbon's relief	46
Fig. 14 – Unidades de relevo para delimitação das classes de ventilação	46
Fig. 14- Relief units as a first step to obtain ventilation classes.....	46
Fig. 15– Classes de ventilação.....	48
Fig. 15 – Ventilation classes	48
Fig. 16 – Climatopos de Lisboa.....	51
Fig. 16 – Climatopes of Lisbon.....	51
Fig. 17 –Procedimentos para melhorar a qualidade do clima urbano	56
Fig. 17 –Procedures to improve urban climate quality.....	56
Fig. 18 - Delimitação das áreas para as quais são definidas orientações climáticas para o ordenamento urbano	61
Fig. 18 –Areas for which climate guidelines for planning were prepared	61

Índice de quadros

Quadro I – Classes de ventilação em Lisboa.	47
<i>Table 1 – Ventilation classes in Lisbon.....</i>	<i>47</i>
Quadro II - Caracterização dos climatopos	50
<i>Table II – Climatope characterization.....</i>	<i>50</i>
Quadro III – Quadro-resumo das orientações climáticas espaciais para o ordenamento em Lisboa	59
<i>Table III – Summary of spatialized guidelines for planning in Lisbon</i>	<i>59</i>

