



RELATÓRIO

FASE 3 | JUNHO 2020

Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para Áreas Críticas na Cidade de Lisboa

Cartografia
de Vulnerabilidade Térmica:
Mapeamento dos Efeitos
das Ondas de Calor em Lisboa
Face às Projecções Climáticas



ONDAS de CALOR LISBOA

Em parceria com:



75
anos

Cofinanciado por:



IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA

Fase 3 – Relatório final de cenarização e mapeamento de medidas de mitigação das Ilhas de Calor Urbano

Relatório

23/06/2020

(revisto em setembro de 2020)



IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

De acordo com o Contrato de Aquisição de Serviços Nº 19042458 designado “Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para Áreas Críticas na Cidade de Lisboa” celebrado entre o Município de Lisboa e o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, IGOT-ULisboa.

FICHA TÉCNICA

Coordenador	António Lopes
Membro da Equipa	João Vasconcelos
Membro da Equipa	Ezequiel Correia

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Índice

1. Introdução	4
2. metodologia e Dados	6
2. Classes de ventilação.....	8
2.1 Unidades morfoclimáticas.....	9
2.2 Limite aerodinâmico.....	14
3. Unidades de uso e ocupação dominante do solo	15
4. Determinação das Unidades de resposta climática homogénea de Lisboa.....	16
5. Avaliação climática para o concelho de Lisboa	19
5.1 Mapa da avaliação climática	19
5.2 ORIENTAÇÕES CLIMÁTICAS.....	21
Bibliografia	29
ANEXO	31

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH), vulgarmente denominadas como climatopos podem ser descritas como áreas com características e respostas climáticas semelhantes entre si (Alcoforado, 1999; Baumüller, J, 2015, Scherer *et al.*, 1999). Do ponto de vista físico são áreas homogéneas em termos de topografia, exposição, ventilação natural, morfologia urbana que, dependendo da diversidade dos tipos de uso e ocupação do solo, interagem de modo particular com a camada limite da atmosfera.

A criação de um sistema de avaliação climática através de cartografia para o planeamento urbano que traduzisse as características climáticas locais foi inicialmente proposta por Knoch (*Über das Wesen einer Landesklima-aufnahme*) na década de 50 do séc. XX (Ren *et al.* 2010). Esta metodologia foi mais tarde desenvolvida (nos anos 70), para encontrar medidas de adaptação e mitigação nas regiões onde a atmosfera se encontrava altamente poluída pela indústria metalúrgica, sobretudo nos vales do Reno e do Rhur (*Ruhrgebiet*).

A metodologia de avaliação climática para o planeamento recorre ao mapeamento de dois níveis de informação:

- i) Cartografia das “funções climáticas”, onde são especializadas as características da superfície que influenciam o clima da área em estudo, como sejam as unidades de relevo, a morfologia urbana entre outros e;
- ii) Cartografia de avaliação climática, onde são apresentadas recomendações para cada unidade identificada, a diversas escalas de intervenção territorial.

Em Portugal, os estudos pioneiros sobre o clima urbano desenvolvidos no Centro de Estudos Geográficos nos anos 80 do século passado permitiram identificar, pela primeira vez, o contributo das características urbanas na sobrecarga térmica de algumas áreas da cidade (figura 1). A identificação da ilha de calor urbano em Lisboa e a análise dos elementos que influenciam este tipo de resposta climática foi fundamental para o aprofundamento da investigação sobre o clima urbano em Portugal (Alcoforado, 1992).

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Figura 1. Desvios térmicos em relação ao aeroporto (1 de fevereiro de 1985)

Fonte: Alcoforado, 1992

Na sequência destes trabalhos, a investigação sobre o clima urbano em Lisboa sofreu um profundo desenvolvimento na década de 90 e até ao início da década seguinte tendo permitido estudar em detalhe diversas dimensões do clima na cidade, com especial destaque para os estudos sobre os campos de vento regional (Lopes, 2002; 2003) e local (Alcoforado, 1987, Andrade e Lopes, 1999; Lopes, 1995; 1998; 2003), as características da ilha de calor urbano (Alcoforado, 1986; 1992; 1998; Alcoforado *et al*, 2000) o balanço energético (Lopes, 2002; 2003; Lopes e Vieira, 2001), a qualidade do ar (Andrade, 1994; 1996) e o conforto bioclimático (Andrade, 1998; 2003; Baltazar, 2014; Nouri *et al*, 2018).

No ano de 2001 iniciou-se o projeto CLIMLIS - *Princípios climáticos para o planeamento urbano*, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e coordenado pela Professora Maria João Alcoforado, cujo objetivo principal era o de produzir e traduzir informação climática sobre a cidade de Lisboa (sobretudo sob a forma cartográfica) e de estabelecer normas diretamente aplicáveis no planeamento urbano. A natureza aplicada dos estudos do clima urbano então produzidos contribuiu para que em 2003, no âmbito dos estudos de revisão do Plano Diretor Municipal (PDM) de Lisboa, fosse estabelecida uma parceria entre o Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa e o Departamento de Planeamento Estratégico da Câmara Municipal de Lisboa para a realização do projeto intitulado “Orientações Climáticas para o Planeamento e o Ordenamento em Lisboa”.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Os resultados desse projeto deram origem à publicação de um relatório e da cartografia dos climatopos, assim como de recomendações climáticas para a mitigação do efeito de ilha de calor urbano e para a promoção das condições de ventilação natural na cidade (Alcoforado *et al.*, 2005), tendo vindo a constituir-se um quadro de referência no PDM, entretanto aprovado.

Posteriormente, a criação de mapas climáticos para o planeamento tem vindo a ganhar relevo e a ser aplicado em diversos municípios e, também, em diferentes Planos de Adaptação às Alterações Climáticas, às escalas intermunicipal (e.g. PMAAC-AML, PIAAC - Viseu Dão/Lafões, OESTE - PIAAC) e municipal (e.g. PMAAC Leiria, PMAAC Loulé, PAMAAC Loures, PAMAAC Odivelas, entre outros).

Nas últimas décadas, vários trabalhos académicos aplicados ao clima urbano de Lisboa (e outras cidades) têm oferecido importantes avanços no conhecimento científico e permitido consolidar conceitos. É neste sentido que, quinze anos depois da aplicação pioneira do conceito de climatopos e de recomendações climáticas no PDM de Lisboa, o presente relatório tem por objetivo central atualizar os Climatopos de Lisboa (agora também conhecidos por Unidades de Resposta Climática Homogénea) e fornecer orientações climáticas para o planeamento urbano de acordo com as melhores práticas internacionais.

2. METODOLOGIA E DADOS

Neste trabalho foi atualizada a informação produzida para os primeiros mapas climáticos de 2005¹, recorrendo a técnicas e ferramentas de análise espacial mais robustas, nomeadamente através da inclusão de métricas da morfologia urbana com relevância climática². Alerta-se, nesse sentido, que por alguns procedimentos terem sido atualizados recorrendo a metodologias distintas, os valores dos índices de geometria e densidade urbana são naturalmente, diferentes entre os dois períodos. Desse modo, a leitura comparativa entre os dois documentos (mapa dos climatopos de 2005 e de 2020), requer cuidados interpretativos adicionais.

À semelhança do mapa climático de 2005, também na construção dos climatopos atuais se optou por um procedimento metodológico composto em três fases (Figura 2). São elas:

¹ <https://arcg.is/1bvWGz>

² Para mais informações sobre a atualização das métricas urbanas, em especial os indicadores de densidade urbana e de rugosidade aerodinâmica, consultar Correia, 2019

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

- » Classes de ventilação
- » Unidades de uso e ocupação dominante do solo
- » Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH);

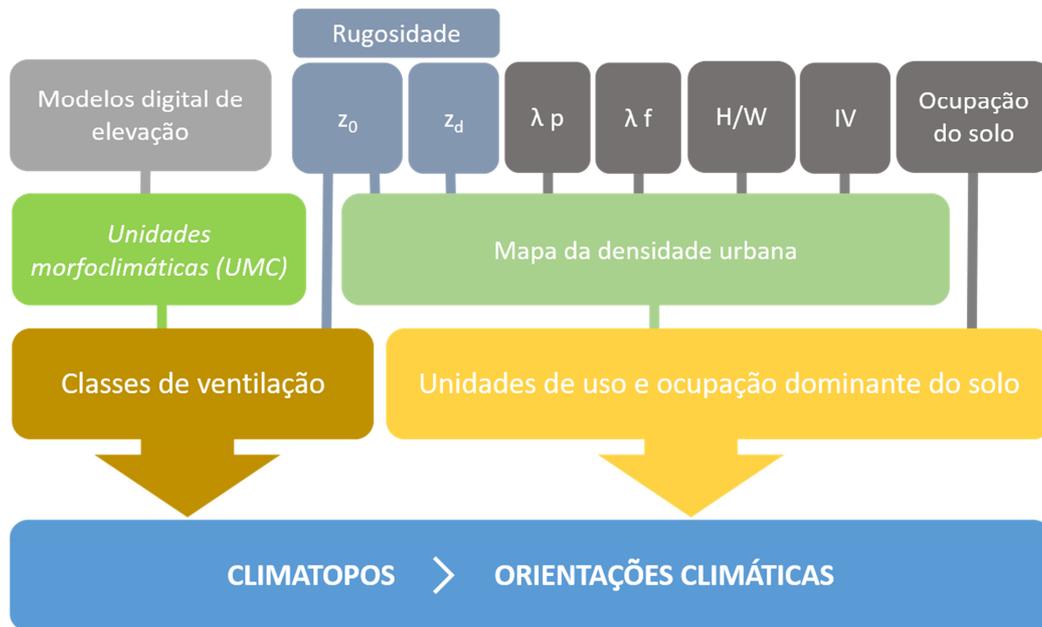


Figura 2. Etapas e processos para a obtenção das classes de ventilação, das classes de Ocupação Dominante do Solo e das Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH).

No presente trabalho foram usadas as seguintes fontes de informação (Tabela 1):

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Tabela 1. Fontes de informação usadas nos procedimentos da avaliação climática em Lisboa.

		Informação de base	Fonte da informação	
Classes de ventilação	Unidade morfoclimáticas	Modelo digital de terreno	CML (2005)	
	Rugosidade aerodinâmica	Rugosidade aerodinâmica z_0 ³	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
Unidades de uso e ocupação dominante do solo	Espaços verdes	Arvoredos; vegetação arbustiva, herbáceas e culturas.	CML (2019)	Geodados CM Lisboa; <i>Cartografia da biodiversidade</i> , v. 4
	Áreas construídas (densidade urbana)	Rugosidade aerodinâmica z_0	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
		Rugosidade aerodinâmica z_d ⁴	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
		Razão H/W ⁵	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
		Índice de volumetria (IV) ⁶	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
		Densidade da área frontal (λ_f) ⁷	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
		Densidade do edificado (λ_p) ⁸	IGOT/UL 2020	Correia, 2019
	Outras áreas	Áreas predominantemente livres ou desocupadas	CML (2019)	Geodados CM Lisboa; <i>Cartografia da biodiversidade</i> , v. 4
Corredores de ventilação	Classes de ventilação	IGOT/UL 2020		
	Densidade urbana	IGOT/UL 2020	Correia, 2019	
	Rede Viária	CML (2020)	Geodados CM Lisboa	

2. CLASSES DE VENTILAÇÃO

As classes de ventilação representam áreas com comportamento aerodinâmico homogéneo, dependente das condições topográficas e da rugosidade urbana (Alcoforado *et al.*, 2005), ou seja, resultam do cruzamento das unidades morfoclimáticas, definidas a partir da função do relevo como fator climático e da rugosidade aerodinâmica (z_0).

³ z_0 : comprimento da rugosidade aerodinâmica (*roughness length*); corresponde à altura acima do plano de deslocamento em que a velocidade do vento é igual a zero, assumindo uma variação logarítmica no perfil do vento com a altitude (*American Meteorological Society*, 2019)

⁴ z_d : altura do plano de deslocamento (*zero-plane displacement*): parâmetro que representa o nível onde o fluxo médio de quantidade de movimento é absorvido (Lopes, 2003); corresponde à altura acima do solo onde a velocidade é teoricamente zero e a partir da qual se desenvolve o perfil de velocidade (Madeira, 2019).

⁵ Razão H/W: quociente entre a altura dos edifícios (H) e a distância que os separa (W).

⁶ IV: índice de volumetria; avalia o preenchimento tridimensional de uma dada área através do quociente entre o volume edificado numa dada unidade de análise e o volume máximo nessa unidade

⁷ λ_f : densidade de área frontal; quociente a área das fachadas expostas à direção predominante do vento e a área da unidade de análise

⁸ λ_p : densidade do edificado; obtido através do quociente entre a área ocupada por edifícios e a área total da unidade de análise

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

2.1 UNIDADES MORFOCLIMÁTICAS

As grandes tipologias de relevo com distintas respostas climáticas locais são obtidas a partir da aplicação de critérios topográficos, altitudinais e morfológicos e tendo em atenção o seu significado no que refere aos fatores do clima à escala regional e local. Importa salientar que estas unidades foram obtidas à escala do município de Lisboa, sendo que para estudos de carácter pormenorizado será necessário recorrer a uma análise detalhada das unidades morfoclimáticas apropriadas à escala de trabalho utilizada.

Tabela 2. Unidades de relevo e funções climáticas que serviram de base metodológica à definição de Unidades Morfoclimáticas em Lisboa.

Unidade	Definição
Topos e Planalto	<p>Esta unidade é constituída por áreas bem ventiladas, quando não têm uma ocupação do solo que aumente demasiado o atrito da superfície. Quando a rugosidade aerodinâmica é baixa, a velocidade do vento pode sofrer acelerações a barlavento e nos topos mais elevados dos relevos. Na realidade, dependendo da direção predominante do vento, do ângulo que é formado entre o fluxo e o alinhamento dos relevos, e a velocidade de escoamento do ar, podem-se formar zonas de turbulência mais ou menos complexas, sobretudo na zona de cavidade do fluxo a sotavento.</p> <p>O vento, desde que não escoe em sistemas de circulação fechada (normalmente, em sistemas de brisas), é considerado um fator eficaz de dispersão de poluentes atmosféricos. Áreas com maior velocidade do vento estão associadas a climatopos com potencial de arrefecimento pelo vento.</p>
Vales e vertentes	<p>São geralmente áreas onde se formam sistemas de brisas decorrentes de contrastes térmicos locais. Nos fundos dos vales e nas vertentes formam-se brisas de montanha descendentes (drenagem de ar frio e sistemas de ventos catabáticos). A acumulação de ar frio (denominado “lago de ar frio”) ocorre frequentemente no Inverno, especialmente em noites anticiclónicas durante as quais se regista forte arrefecimento radiativo das superfícies. Em altitude, contracorrentes de drenagem fecham um ciclo de aquecimento superior e arrefecimento na superfície. Quando este sistema de brisas ocorre, formam-se cinturas térmicas (atmosfera junto ao solo mais aquecida) nas partes superiores ou intermédias dos vales.</p> <p>Sob o ponto de vista das funções climáticas destes sistemas, o aumento da frequência de nevoeiro e geada durante a estação fria pode colocar problemas às culturas mais sensíveis e de desconforto térmico para as populações. Como são sistemas locais de recirculação, podem ocorrer situações agravadas quando há emissões excessivas de poluentes, empobrecendo a qualidade do ar junto ao solo, por baixo da camada de inversão térmica.</p> <p>Nas noites de Verão, essa circulação pode refrescar o ambiente e beneficiar termicamente os locais com ocupação humana. Neste caso, a função climática traduz-se num fator de alívio do stresse térmico humano. Todavia, os fundos dos vales perpendiculares ao vento dominante (normalmente menos bem ventilados) podem estar mais aquecidos, sendo normalmente áreas de maior stresse térmico.</p>
Frente ribeirinha	<p>Esta área não delimita a área de penetração das brisas do Tejo e do Oceano, importantes fatores de arrefecimento da atmosfera urbana, durante o Verão, mas representa a faixa que lhes está mais exposta e onde os cuidados para o favorecimento da sua circulação na cidade devem ser prioritários.</p>

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Tal como foi referido anteriormente, nas áreas bem ventiladas (como por exemplo as áreas de planalto) existe uma maior exposição à influência do vento regional. O registo do vento na estação de Lisboa/Portela permite observar uma fortíssima predominância de ventos de N e NNW, mais vincada entre os meses de maio a setembro. Apesar de não serem direções predominantes, os rumos de NE sobressaem entre novembro e fevereiro (Figura 3).

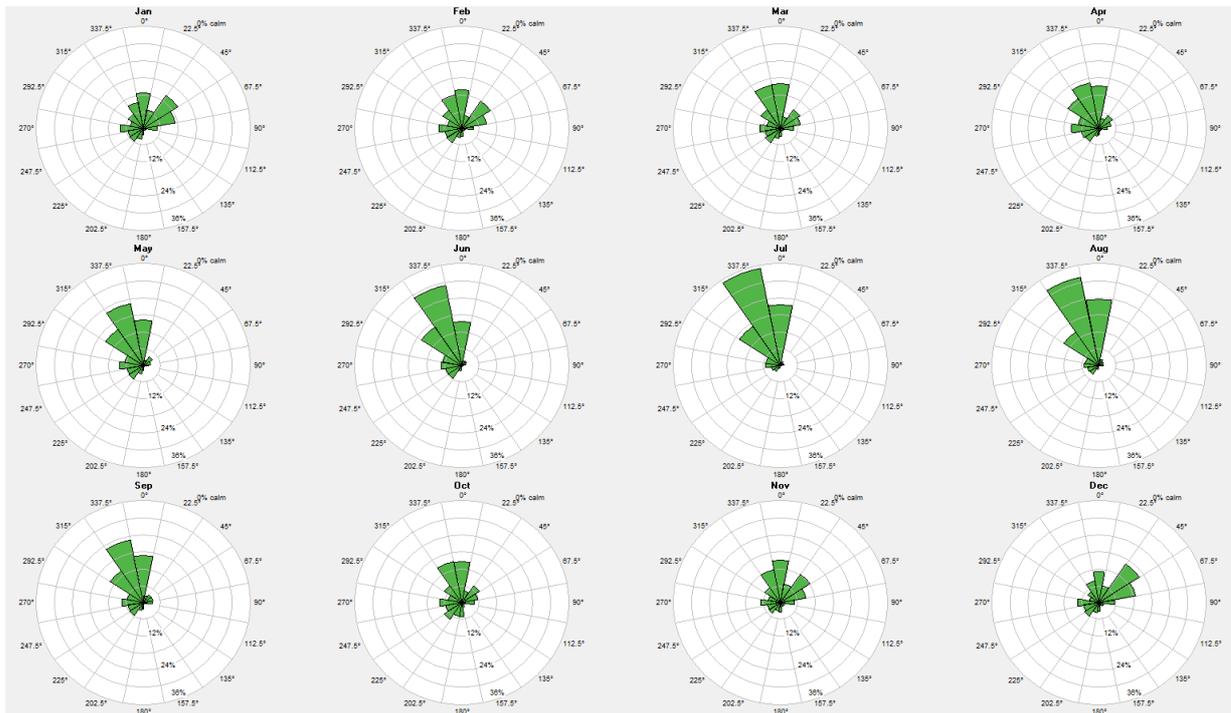


Figura 3 – Regimes de ventos anuais em Lisboa Portela (1974-2016)

A comparação da velocidade média do vento registada na estação de Lisboa/Portela (exposta ao vento regional) e na estação de Lisboa/Geofísico (localizada no interior da cidade e envolta no edificado urbano) permite identificar uma expressiva diminuição da velocidade do fluxo no interior da cidade (Figura 4), o que sugere a influência da rugosidade urbana na modificação dos padrões de vento em Lisboa.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

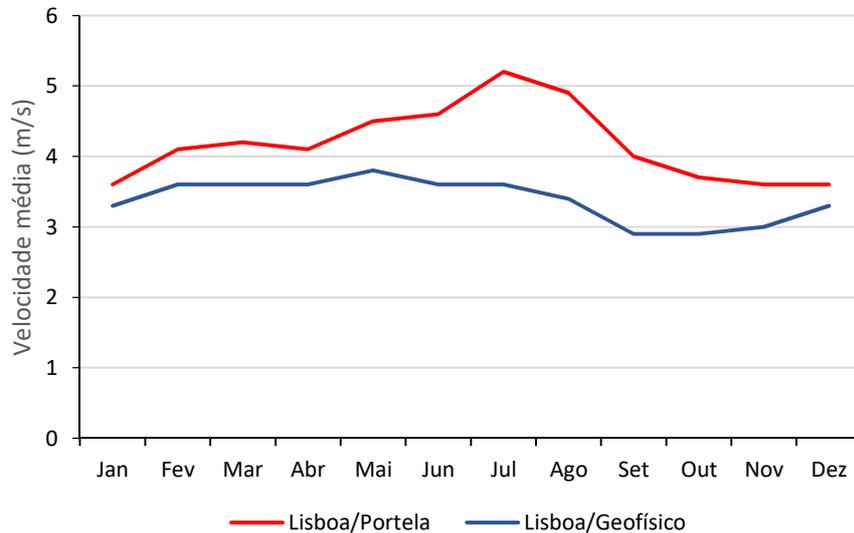


Figura 4 - Velocidade média do vento nas duas estações meteorológicas analisadas em Lisboa (2006-2016).

De facto, a alteração da rugosidade aerodinâmica no norte de Lisboa e o seu impacto na redução da velocidade do vento no setor meridional encontra-se bem documentado e pode ser consultada em Lopes (2003) e Lopes et al., (2011). Os principais resultados destes estudos demonstraram a 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. Quando comparada a simulação de crescimento da cidade com o cenário dos anos 80, é possível identificar uma perda de velocidade do vento de cerca de 22 % junto ao solo, no sul da cidade (Figura 5). Com base nestes trabalhos foi ainda possível identificar pela primeira vez o “limite aerodinâmico” que permitiu individualizar as áreas no norte da cidade onde a rugosidade aerodinâmica⁹ é predominantemente inferior a 0,7m e que se distinguem dos valores mais elevados observados no sector meridional.

⁹ Avaliada pelo comprimento de rugosidade (z_0)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

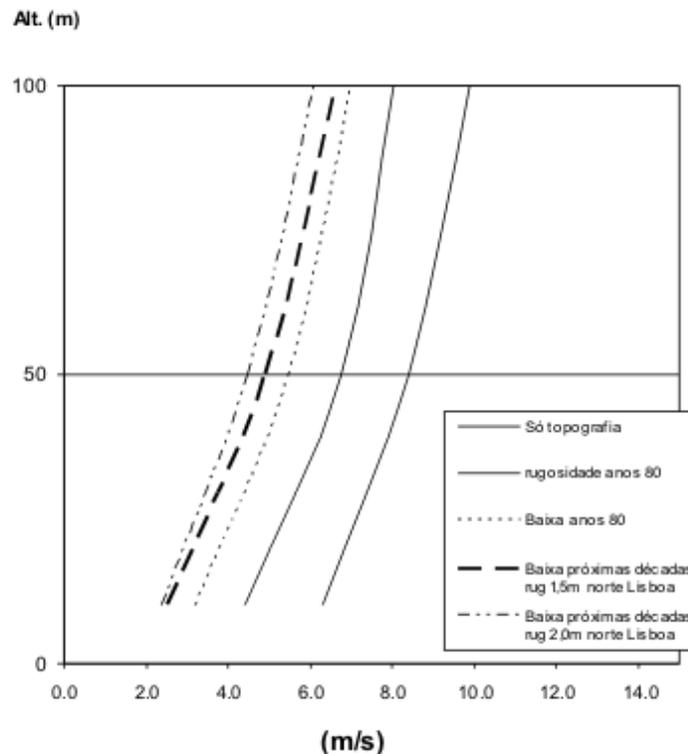


Figura 5. Simulação da velocidade média do vento estival em Lisboa. A maior redução (linhas a tracejado) corresponde a cenários do tipo *business as usual* (aumento da área com rugosidade aerodinâmica superior a 1m, Lopes, 2003).

As brisas do oceano e do estuário do Tejo são fenómenos locais e regionais de advecção de origem térmica, que se desencadeiam quando existe um forte gradiente térmico e de pressão entre o corpo de água (estuário e ou oceano) e o continente. As brisas ocorrem em cerca de 35% dos dias de Verão, entre o fim da manhã e o princípio da tarde, quando a redução momentânea da velocidade do vento regional permite o desenvolvimento de mecanismo de advecção local. No final da tarde, período em que a Nortada é mais frequente, o sistema de ventos locais interrompe-se, retomando a predominância do fluxo regional (Alcoforado, 1987; Vasconcelos et al., 2004). Embora estes fenómenos sejam de carácter local, a sua importância para a cidade pode ser muito significativa.

Num estudo baseado em registadores térmicos situados no Parque das Nações e nas Instalações da Universidade de Lisboa na Cidade Universitária (Vasconcelos, 2006), foi possível identificar que naqueles dias de verão em que não se desenvolvem as brisas do estuário, a diferença entre estes dois setores da cidade não excedia 0,5°C. Contudo, nos dias em que foram registadas

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

brisas do estuário do Tejo, o Parque das Nações registava em média menos 3,5°C do que a Cidade Universitária (Figura 6), sugerindo uma significativa capacidade de arrefecimento do ar por parte das brisas do estuário e, por outro lado, uma incerteza sobre a sua área de influência na cidade.

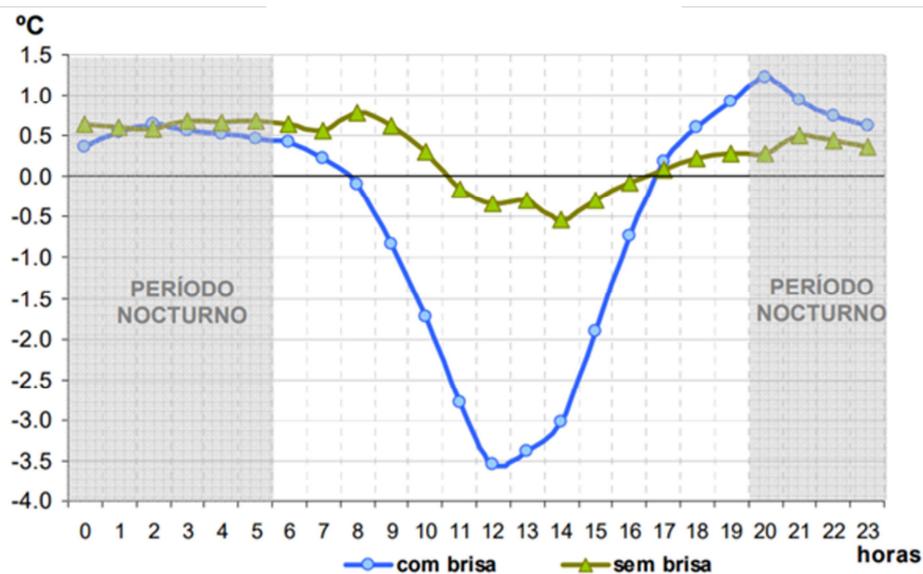


Figura 6. Diferenças médias horárias da temperatura do ar entre o Parque das Nações e a Cidade Universitária em dias de brisa, e dias com ausência de brisa. Período de 23/07/2004 a 28/09/04

Estes trabalhos revelam a importância deste sistema de ventos locais para o ambiente urbano. No entanto, a compreensão do sistema de brisas em Lisboa é ainda muito insuficiente. Não existe atualmente uma rede de registadores em Lisboa com dados que permita analisar detalhadamente a sua complexidade e espacialização. Persistem ainda importantes dúvidas sobre o contributo efetivo das brisas no arrefecimento do ar urbano, assim como na compreensão do seu contributo para o conforto bioclimático e para a dispersão de poluentes. Adicionalmente, importa perceber até onde, e em que condições, se dá a sua progressão e de que modo a rugosidade urbana as afeta.

A resposta a estas questões poderá dar importantes contributos para a recomendação de orientações climáticas que possam integrar de um modo mais completo o sistema de brisas no planeamento.

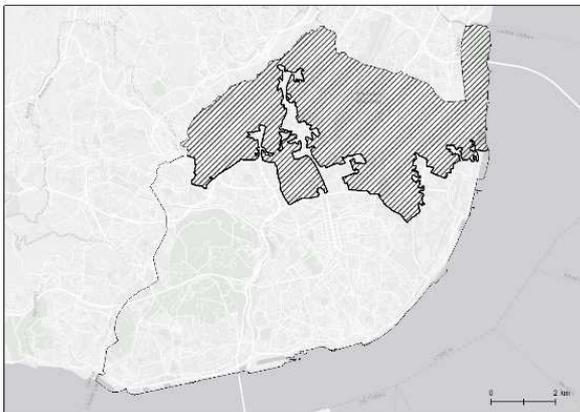
IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

2.2 LIMITE AERODINÂMICO

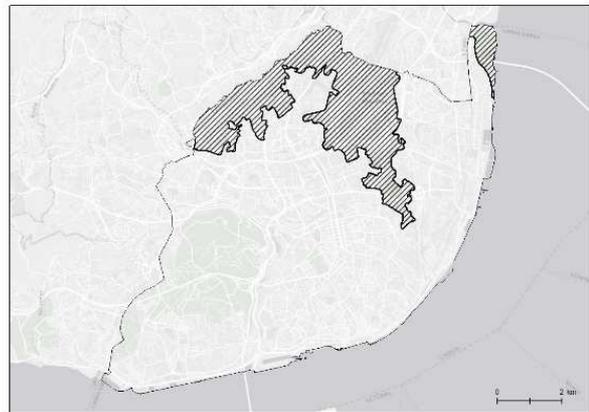
A recente atualização do mapa da rugosidade em Lisboa permitiu a atualização do limite das áreas no setor setentrional onde a rugosidade aerodinâmica, traduzida pelo comprimento de rugosidade (Z_0), é predominantemente inferior a 0,7m (Correia, 2019).

É possível observar uma dramática alteração entre 2005 e 2020 (Figura 7). Em 2005, o limite norte da cidade ocupava 34,8% da cidade e em 2020 esse valor reduziu-se para menos de metade, ocupando somente 16,9%.

Recorde-se, que o método de cálculo da densidade urbana de 2005 se baseou em procedimentos e em informação diferente do método de 2020. Por este motivo não se deverá assumir que a redução do setor setentrional se justifica somente por um aumento da densidade de construção urbana neste período. Todavia, isso não deverá igualmente impedir de constatar que o progressivo e gradual aumento da densificação urbana em algumas áreas da cidade, como sejam as Laranjeiras, Altos dos Moinhos, Parque da Nações, entre outras, terá também contribuído para esse retrocesso para norte do limite aerodinâmico entre os dois períodos.



Limite aerodinâmico e setor setentrional calculados em 2005



Limite aerodinâmico e setor setentrional atualizados em 2020

Figura 7. Comparação entre o limite aerodinâmico e setor setentrional da cidade em 2005 e 2020.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

3. UNIDADES DE USO E OCUPAÇÃO DOMINANTE DO SOLO

As unidades uso e ocupação do solo são definidas em função da interferência das formas e tipos de ocupação do solo nas condições de ventilação e nos balanços radiativo e energético, na camada limite atmosférica.

Os tipos de ocupação do solo podem ser muito diversos e a sua função climática depende das características térmicas, propriedades radiativas (fatores de absorção, reflexão e emissão), rugosidade aerodinâmica, conteúdo de água, biomassa, etc. Nas escalas locais (com dimensões horizontais entre as centenas a milhares de metros e movimentos verticais confinados sobretudo à camada limite atmosférica - na ordem das centenas de metros), as respostas climáticas são diferentes nas seguintes classes, como se descreve na Tabela .

Tabela 3. Unidades de uso e ocupação dominante do solo e funções climáticas.

Unidade	Definição
Áreas urbanas	Áreas urbanas de densidade variada e com rugosidades aerodinâmicas superiores a 0,5m (nas áreas de menor densidade), mas frequentemente acima de 1m (nas áreas mais densas). A velocidade do vento é reduzida pelo atrito provocado pelos elementos urbanos, apesar de, à microescala, nalgumas ruas poderem verificar-se acelerações devido ao efeito de canalização (<i>venturi</i>). Estas acelerações ocorrem em áreas de estreitamento, esquinas de edifícios, etc., sobretudo nas ruas alinhadas e mais expostas aos ventos dominantes (NW, N, NE). Devido a vários fatores, como a geometria urbana (compacidade do edificado, a sua orientação e altura), solos e superfícies impermeáveis, cores dos edifícios e materiais que promovem a retenção de calor, emissões poluentes e de calor antropogénico, pouca vegetação e diminuição do efeito de advecção e velocidade do vento, formam-se normalmente ilhas de calor urbano que chegam a atingir intensidades (entre os locais mais aquecidos de áreas densas e os mais frescos nos arredores) na ordem dos 3 a 6 ^o C (valores médios obtidos a partir de estudos em cidades portuguesas).
Espaços verdes	Áreas florestais, de matas mais ou menos densas, formadas por espécies folhosas e coníferas; Parques urbanos; Jardins. Normalmente, a vegetação arbórea que as compõem possuem elementos superiores a 20 m de altura e fraca permeabilidade ao vento na zona do fuste. Constituem normalmente áreas de rugosidade aerodinâmica (z_0) superior a 0,7m. São espaços normalmente mais frescos devido ao sombreamento (diminuição da radiação solar direta que chega ao solo) e ao fenómeno de evapotranspiração que reduz a temperatura do ar.
	Áreas relvadas: apesar de ocorrer evapotranspiração (dependendo da quantidade de biomassa verde e de água fornecida através de rega), o seu potencial de arrefecimento é menor.
	Outros espaços cultivados ou com vegetação arbustiva e herbácea. São áreas com rugosidade aerodinâmica menor (normalmente inferior a 0,2m) e mais bem ventilados do que os espaços florestados. Apesar de ocorrer evapotranspiração (dependendo da quantidade de biomassa verde e de água fornecida através de rega), o seu potencial de arrefecimento é menor podendo mesmo produzir um aquecimento, ainda que ligeiro, nas horas de maior exposição solar.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

No presente relatório, distinguiram-se três graus de densidade urbana - elevada, média e baixa (consultar Correia, 2019) - através da conjugação dos índices cartografados e outros parâmetros como a densidade de edifícios (λ_p), a densidade da área das suas fachadas expostas ao vento dominante (λ_f) e a altura acima do solo onde a velocidade do vento é teoricamente zero e a partir da qual se desenvolve o seu perfil de velocidade (Z_d) (Correia, 2019). Identificaram-se, ainda, as áreas verdes correspondentes à vegetação de estrutura predominantemente arbórea, assim como as áreas que são predominantemente constituídas por vegetação arbustiva, herbácea ou por culturas devido ao reconhecido efeito moderador dos extremos térmicos em meios urbanos.

4. DETERMINAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA CLIMÁTICA HOMOGÉNEA DE LISBOA

As Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH) de Lisboa foram determinadas a partir do cruzamento das classes de ventilação com as formas predominantes de ocupação e uso do solo. Este cruzamento gera uma excessiva densidade de critérios e conduz a uma análise muito complexa e de difícil interpretação e generalização. Por esse facto, entendeu-se como preferível apresentar um número baixo de classes, de modo a que as funções climáticas de cada unidade territorial fossem entendíveis e claras. Esse agrupamento é parcialmente subjetivo, 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; procurou-se, por outro lado, eliminar classes com representatividade muito reduzida.

Considerando-se que a densidade urbana é um fator de diferenciação climática fundamental distinguiram-se as áreas de alta, média e baixa densidade.

Os espaços verdes foram considerados em duas classes: uma classe de áreas constituídas por arvoredos, cujo papel na redução da incidência solar direta e arrefecimento da atmosfera urbana por via da evapotranspiração são determinantes na redução do efeito de ilha de calor urbana; as áreas predominantemente constituídas por vegetação herbácea, arbustiva e/ou de culturas que assumem importantes funções do ponto de vista da evapotranspiração - sobretudo quando são irrigadas e do favorecimento da ventilação natural.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Foi ainda individualizada a classe de “outras áreas” que, não sendo espaços edificados ou compostos por estruturas verdes, são áreas predominantemente livres ou desocupadas, caracterizadas por uma rugosidade aerodinâmica muito baixa e que, por tal, desempenham um importante papel no favorecimento dos campos de vento na cidade.

Para a delimitação dos climatopos “frente ribeirinha” e “fundos de vale”, utilizou-se apenas o critério topográfico, independentemente da densidade e tipo de ocupação; esta opção justifica-se, no caso da frente ribeirinha (cota 20m), pela frequência com que esta é afetada pelas brisas do Tejo ou do Oceano; no caso dos fundos de vales, pela importância que assumem os fenómenos de drenagem noturna de ar mais fresco e de canalização do vento.

O mapa final das URCH (Figura 8) contém, assim, todas as funções e serviços climáticos possíveis de serem potenciados para mitigar/adaptar os efeitos esperados de aquecimento ou arrefecimento, ventilação (ou sua falta), de modo a minimizar especialmente o stress térmico (para pessoas, culturas e atividades) e reduzir os efeitos adversos que se projetam com as alterações climáticas.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

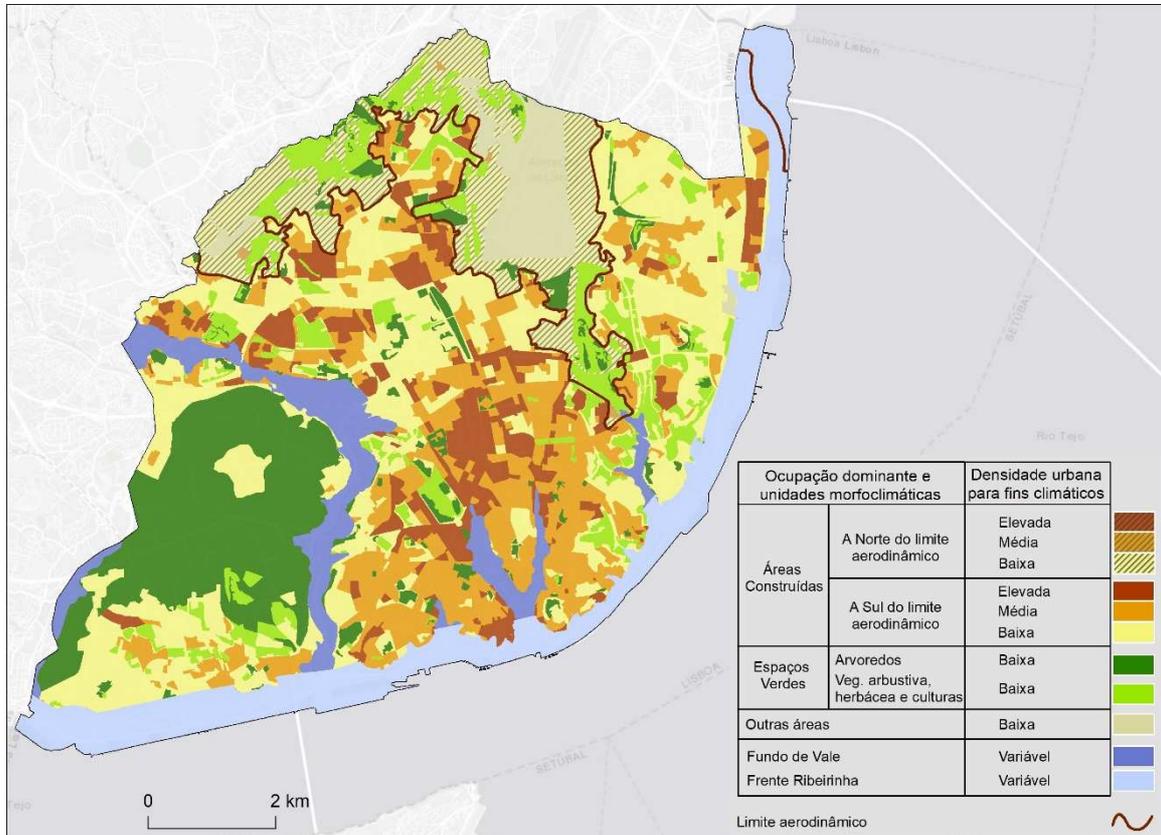


Figura 8. Unidades de Resposta Climática Homogénea/Climatopos 2020 (URCH).

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

5. AVALIAÇÃO CLIMÁTICA PARA O CONCELHO DE LISBOA

A avaliação climática, expressa sobre a forma cartográfica e com as respetivas orientações climáticas, tem por objetivo fornecer ao planeamento urbano recomendações de medidas que possam 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 térmico. As orientações traduzem-se em recomendações que visem:

- i) mitigar a ilha de calor urbano e as suas consequências e;
- ii) melhorar as condições de ventilação.

5.1 MAPA DA AVALIAÇÃO CLIMÁTICA

Com base nestes dois objetivos foi produzido o mapa de orientações climáticas e traçados os grandes corredores de ventilação da cidade que correspondem a faixas de sentido norte-sul, alinhados com a direção dominante do vento regional (NW, N e NE), e que se conservam ainda relativamente desocupadas ou com uma ocupação urbana predominante de baixa densidade (Figura 9).

De notar que o mapa das orientações climáticas (Figura 9) possui uma legenda diferenciada dos climatopos (Figura 8). As classes de orientações (que constituem unidades operativas para as quais se irão fazer conjuntos de recomendações – ver secção 5.2), foram simplificadas e agregadas a partir daqueles, às quais se adicionaram os corredores de ventilação.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

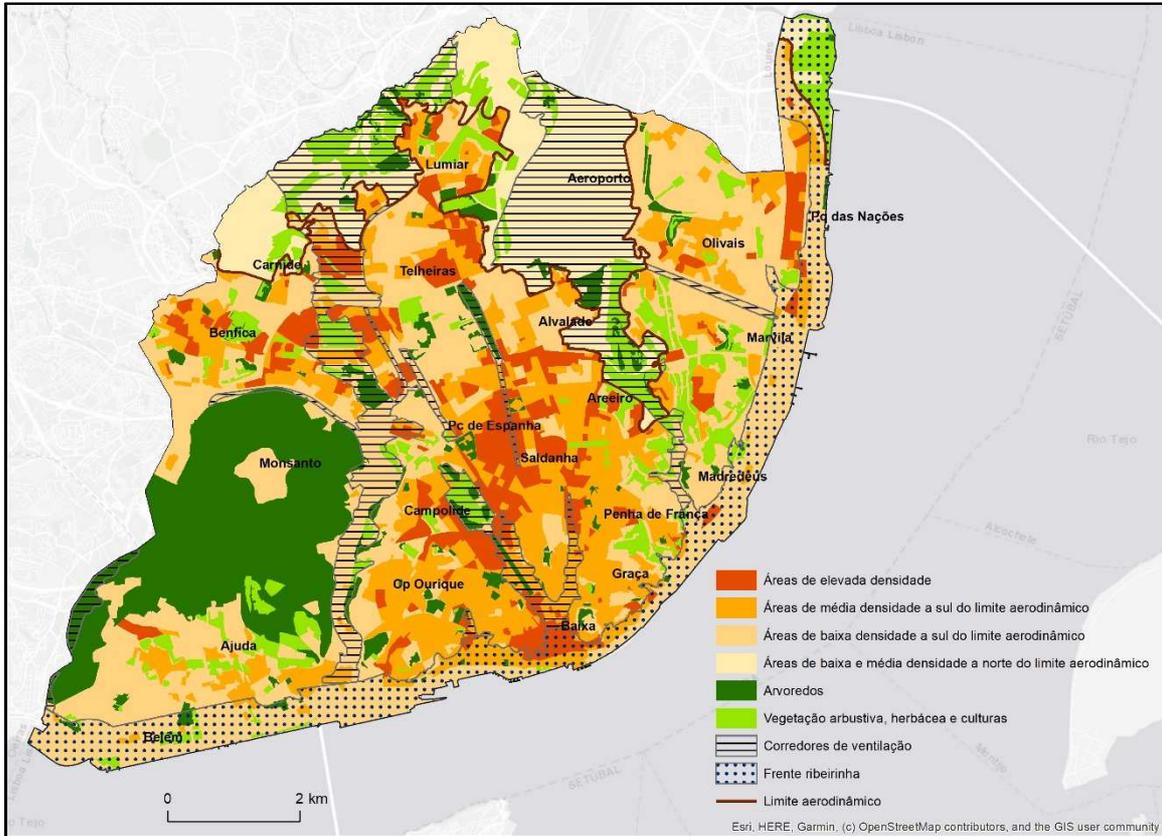
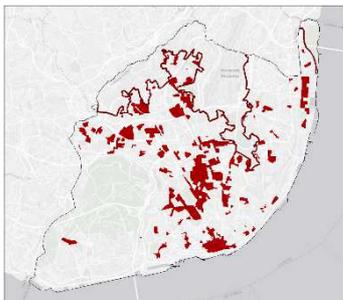


Figura 9. Mapa das orientações climáticas do concelho de Lisboa.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

5.2 ORIENTAÇÕES CLIMÁTICAS



Descrição:

Áreas de densidade urbana elevada. Esta área ocupa 9,2% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	0,79	1,52	2,51
HW	0,63	0,83	1,05
IV	0,14	0,20	0,27

Q1 = valor para o 1º quintil da série
Q3 = valor para o 3º quintil da série
 \bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Elevada rugosidade aerodinâmica, redução da velocidade do vento. Necessidade de melhorar as condições de ventilação, com ligação a corredores de ventilação e frente ribeirinha.

Efeito acentuado da Ilha de Calor Urbano (ICU), com impacto no conforto térmico e no consumo de energia para arrefecimento dos edifícios.

Necessidade de criação de condições microclimáticas favoráveis nos espaços de lazer.

Densidade urbana elevada

Orientações:

» Incentivo à manutenção de logradouros com vegetação arbórea ou arbustiva e em superfícies permeáveis.

» Nos espaços verdes de lazer, favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia; a barlavento das áreas de permanência (por exemplo locais de lazer), em ruas onde possam ocorrer acelerações pontuais do vento, devem ser criadas barreiras, preferencialmente verdes.

» O planeamento de espaços verdes para efeitos de mitigação do calor urbano deverá privilegiar a implementação de áreas de dimensão média preferencialmente com índices de biomassa elevados em detrimento de áreas predominantemente arbustivas e/ou herbáceas. Promoção de corpos de água nos jardins urbanos. Sempre que possível, os espaços verdes nas áreas de elevada densidade deverão estar ligados aos principais corredores de ventilação (Carnide/Alcântara e Aeroporto/Chelas).

» Privilegiar a ocupação de espaços intersticiais com vegetação, de preferência caducifólia.

» Nas áreas edificadas evitar o aumento da densidade, respeitando a razão $H/W \leq 1$. Evitar o aumento do número de pisos dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais.

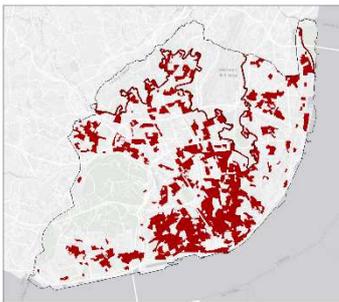
» Em novas urbanizações, evitar a orientação perpendicular ao vento dominante, de modo a diminuir a área de fachada exposta e reduzir a rugosidade aerodinâmica.

» Sempre que possível utilizar materiais de construção e de cobertura de baixa condutividade e albedo elevado (ex: telhados verdes, telhados brancos e pavimentos claros e permeáveis).

» Deve ser dada especial prioridade às áreas emergentes de densidade urbana elevada como seja o

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

sector oriental da cidade na freguesia do Parque das Nações, onde se regista o aparecimento da ilha de calor urbano. De igual modo, nas áreas já consolidadas da Baixa /Avenidas Novas, entre outras, deverão ser equacionadas soluções de microescala no espaço público que ofereçam condições de abrigo térmico estival e que promovam o conforto bioclimático (por exemplo, através do arrefecimento evaporativo por spray de água).



Descrição:

Áreas de densidade urbana média a sul do limite aerodinâmico. Esta área ocupa 19,5% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	0,37	0,72	1,33
HW	0,60	0,89	1,18
IV	0,15	0,24	0,32

Q1 = valor para o 1º quintil da série
Q3 = valor para o 3º quintil da série
 \bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Elevada rugosidade aerodinâmica, redução da velocidade do vento. Necessidade de melhorar as condições de ventilação, com ligação a corredores de ventilação e frente ribeirinha.

Efeito acentuado da ilha de calor urbano (ICU), com impacto no conforto térmico e no consumo de energia para arrefecimento dos edifícios.

Necessidade de criação de condições microclimáticas favoráveis nos espaços de lazer.

Densidade urbana média meridional

Orientações:

» Nas construções urbanas evitar o aumento da densidade, respeitando a razão $H/W \leq 1$. Evitar o aumento do número de pisos dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais.

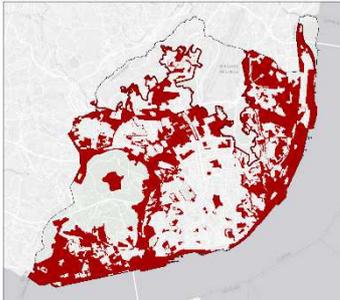
» Sempre que possível utilizar materiais de construção e cobertura de baixa condutividade e albedo elevado (Ex: telhados verdes, telhados brancos e pavimentos claros e permeáveis).

» Incentivo da manutenção de logradouros com vegetação arbórea ou arbustiva e em superfícies não permeabilizadas.

» Criar espaços verdes extensos no interior e entre as áreas edificadas (pequenos jardins e logradouros com vegetação). Onde possam ocorrer acelerações vento (efeito *Venturi*), ponderar a restrição do plantio de árvores e espécies mais resistentes e em menor quantidade para diminuir o risco de quedas com vento forte.

» Deve ser dada especial prioridade à antecipação do impacto do calor nestas áreas (tanto o desconforto térmico estival, assim como o efeito de ilha de calor urbano), através da implementação de iniciativas de planeamento de espaços públicos sombreados - por exemplo, estruturas de fachada e canópias de toldos, que não devem impedir o bom arejamento dos espaços.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Descrição:

Áreas de densidade urbana baixa a sul do limite aerodinâmico. Esta área ocupa 34,6% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	0,29	0,49	0,87
HW	0,29	0,45	0,62
IV	0,10	0,14	0,19

Q1 = valor para o 1º quintil da série

Q3 = valor para o 3º quintil da série

\bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Redução moderada na velocidade do vento. Promoção de melhorias nas condições de ventilação, com ligação a corredores de ventilação e frente ribeirinha.

Constituição de cinturas de arrefecimento do espaço urbano e promoção de condições microclimáticas favoráveis nos espaços de lazer.

Densidade urbana baixa meridional

Orientações:

» Manter uma razão $H/W \leq 1$. As ruas deverão ter uma largura que evite o sombreamento mútuo da fachada Sul dos edifícios no Inverno.

» Nas áreas topograficamente deprimidas, deverá ser dada atenção à promoção de espaços verdes predominantemente arbóreos de modo a evitar a perda excessiva de calor em noites de arrefecimento radiativo no Inverno.

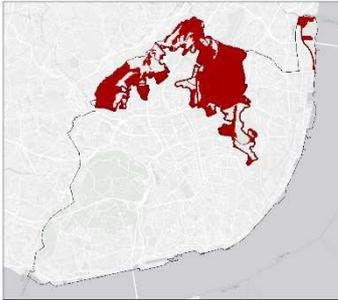
» Criar espaços verdes extensos no interior e entre as áreas edificadas (pequenos jardins e logradouros com vegetação). Onde possam ocorrer acelerações vento (efeito *Venturi*), ponderar a restrição do plantio de árvores a espécies mais resistentes e em menor quantidade para diminuir o risco de quedas com vento forte.

» Nos espaços verdes de lazer, favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia.

» A barlavento das áreas de permanência (por exemplo esplanadas), criação de barreiras de árvores de folha persistente.

» Manter desimpedidos os corredores de ventilação de menor dimensão, mas cujo papel no favorecimento de vento regional deverá ser maximizado, como por exemplo na Avenida dos Combatentes e Av. Marechal Gomes da Costa.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Descrição:

Áreas de baixa e média densidade urbana, a norte do limite aerodinâmico. Esta área ocupa 11,9% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	0,23	0,49	0,99
HW	0,13	0,29	0,46
IV	0,06	0,11	0,17

Q1 = valor para o 1º quintil da série
Q3 = valor para o 3º quintil da série
 \bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Possível redução na velocidade do vento.
Promoção de melhorias nas condições de ventilação, com ligação aos principais corredores de ventilação N-S.

Necessidade de manutenção dos conjuntos urbanos de baixo atrito aerodinâmico de modo a favorecer a circulação do vento regional com impacto no setor meridional da cidade.

Densidade urbana baixa e média setentrional

Orientações:

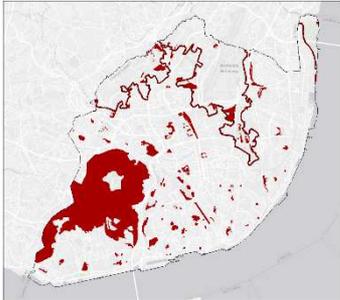
» Manter uma razão $H/W \leq 1$ nos conjuntos urbanos de modo a evitar o aumento generalizado da rugosidade aerodinâmica neste setor da cidade. Manter a camada de atrito ao vento para valores de z_0 (rugosidade aerodinâmica) inferiores a 0,7m.

» Favorecimento de construções de novos conjuntos urbanos que respeitem a circulação do vento regional e, se possível, que possam estar ligados com os principais corredores de ventilação, nomeadamente o corredor Aeroporto/Chelas e Benfica/Alcântara.

» Manter desimpedidos os corredores de ventilação de menor dimensão, mas cujo papel no favorecimento do vento regional deverá ser maximizado.

» Nos espaços verdes de lazer, favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia e à presença de corpos de água com efeito no arrefecimento

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Descrição:

Espaços verdes constituídos, predominantemente por estrato arbóreo. Esta área ocupa 14,8% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	n.a.	n.a.	n.a.
HW	n.a.	n.a.	n.a.
IV	n.a.	n.a.	n.a.

Q1 = valor para o 1º quintil da série
Q3 = valor para o 3º quintil da série
 \bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Contribuem para o arrefecimento do ambiente urbano por efeito do sombreamento e da evapotranspiração.

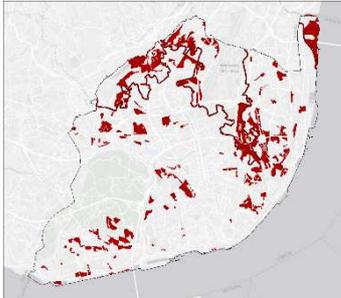
As áreas florestais desempenham o papel de produção de ar fresco.

Espaços verdes: arvoredos

Orientações:

- » Manter e, se possível, aumentar estes espaços porque desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis (contribuindo para o arrefecimento das áreas urbanas adjacentes, através do efeito de sombra e da evapotranspiração) e na biodiversidade.
- » Nas áreas de maior densidade urbana os espaços verdes deverão ser constituídos por um tipo de ocupação que privilegie elevados índices de biomassa em detrimento de áreas predominantemente arbustivas e/ou herbáceas, de modo a favorecer mais eficazmente o efeito de arrefecimento do espaço urbano.
- » Nos espaços verdes, favorecer manchas densas de árvores de folha persistente
- » A barlavento das áreas de permanência (por exemplo esplanadas), criação de barreiras de árvores de folha persistente
- » Deverão ser escolhidas para o plantio linear espécies arbóreas de acordo com o uso principal dos espaços: preferencialmente de folha caduca a acompanhar troços pedonais de forma a proporcionar sombreamento, no verão, e a facilitar a radiação solar direta no inverno; nos eixos centrais de vias de tráfego automóvel, árvores de folha perene para sombreamento do asfalto. Dever-se-á ter especial atenção aos sistemas radiculares das espécies escolhidas de modo a não constituírem superfícies rugosas ao nível pedonal.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Descrição:

Espaços verdes constituídos, predominantemente por estratos arbustivo e herbáceo. Esta área ocupa 10,1% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	n.a.	n.a.	n.a.
HW	n.a.	n.a.	n.a.
IV	n.a.	n.a.	n.a.

Q1 = valor para o 1º quintil da série
Q3 = valor para o 3º quintil da série
 \bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Contribuem para a promoção da ventilação e serviços bioclimáticos.

Espaços verdes: vegetação arbustiva, herbácea e culturas

Orientações:

- » Manter e, sempre que for possível, aumentar estes espaços porque desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis (promoção da circulação do ar e evapotranspiração) e na biodiversidade.
- » Promoção da ligação em rede ou estrutura contínua entre espaços verdes e da sua ligação aos corredores de ventilação.
- » Para um melhor aproveitamento da função de arrefecimento estes espaços deverão ser irrigados, sobretudo no período mais quente do ano. No entanto, a utilização da água deve seguir as boas práticas recomendadas para o seu uso mais eficiente, constante no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Frente ribeirinha

Orientações:

- » Evitar o aumento da rugosidade urbana por via da construção de edifícios altos ou médios com a fachada orientada paralelamente à margem do Tejo
- » Dar prioridade ao desenho urbano que mantenha abertos corredores perpendiculares ou oblíquos em relação à margem do Tejo, que favorecem a penetração das brisas do estuário.

Descrição:

Faixa que se encontra mais exposta à penetração das brisas. Esta área ocupa 11,9% da cidade.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	0,26	0,56	1,13
HW	0,42	0,73	1,17
IV	0,12	0,20	0,30

Q1 = valor para o 1º quintil da série

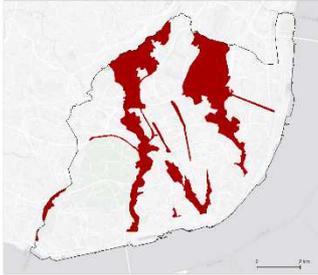
Q3 = valor para o 3º quintil da série

\bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Faixa que está mais exposta à influência das brisas e onde os cuidados para o favorecimento da sua circulação na cidade devem ser prioritários.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas



Descrição:

Áreas alongadas, orientadas na direção do vento dominante e com ocupação urbana predominantemente de baixa e média densidade. Grandes vias com potencial de favorecimento de circulação do vento regional.

	Q1	\bar{X}	Q3
z0	n.a.	n.a.	n.a.
HW	n.a.	n.a.	n.a.
IV	n.a.	n.a.	n.a.

Q1 = valor para o 1º quintil da série

Q3 = valor para o 3º quintil da série

\bar{X} = Valor mediano da série

Características:

Áreas de canalização do vento regional, importantes no favorecimento da circulação do ar no setor meridional da cidade e dispersão de poluentes.

Corredores de ventilação

Orientações:

- » Manter corredores de ventilação com orientação N-S. Reduzir a camada de atrito ao vento para valores de z0 (rugosidade aerodinâmica) inferiores a 0,7m.
- » Evitar a plantação de manchas arbóreas densas que prejudiquem a circulação dos ventos dominantes
- » Evitar a construção de conjuntos edificados com H/W >1; evitar as tipologias de construções em que a fachada com a maior área esteja orientada perpendicularmente aos ventos dominantes (N, NW e NE).
- » Áreas prioritárias para a manutenção da circulação do vento regional:
 1. Eixo Norte/Sul;
 2. Av. Marechal Gomes da Costa;
 3. A. General Correia Barreto;
 4. Av. da República

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

Bibliografia

- 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. (1999) - Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia, Lisboa, XXXIV (67-68): 83-94.
- Alcoforado, M. J.; A. Lopes; H. Andrade; J. Vasconcelos (2005) – Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa, CEG/A.I.G-E., 4, Lisboa, 81p.
- American Meteorological Society cited 2019: "aerodynamic roughness length". Glossary of Meteorology. [Available online at http://glossary.ametsoc.org/wiki/Aerodynamic_roughness_length]
- 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.
- Baltazar, S. (2014) - New bioclimatic maps of Lisbon. Physiological equivalent temperature spatial modeling. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, XLIX (98):81-94.
- Baumuller, J. (2010) - A summary of key methodolgies. *In The Urban Cimatic Map for Sustainable Urban Planning* Edition: firstChapter: Publisher: Routledge Editors: Edward Ng, Chao Ren.
- Correia, E. (2019). *Mapas Climáticos Urbanos - Geometria e densidade urbana atual. Relatório*. In, "Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das Ondas de Calor em Lisboa, face às projecções climáticas", Câmara Municipal de Lisboa.
- 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. (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.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

- 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., Alves, E, Alcoforado, M.J. & Machete, R. (2013) Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. *Advances in Meteorology*, vol. 2013, Article ID 487695
- Lopes, A., Saraiva, J., & Alcoforado, M.J. (2011) Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. *Environmental Modelling and Software*, 26 (2).
- 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.
- Madeira, M.I.D., 2019. Parâmetros aerodinâmicos em ambiente SIG. Lisboa, FCUL (Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente).
- Nouri, A. S., Lopes, A., Costa, J. P., Matzarakis, A. (2018). Confronting potential future augmentations of the physiologically equivalent temperature through public space design: The case of Rossio, Lisbon. *Sustainable Cities and Society*, 37:7–25. Doi: 10.1016/j.scs.2017.10.031.
- PNUEA (2012) – Programa Nacional Para o Uso Eficiente da Água, Implementação 2012-2020. Agência Portuguesa do Ambiente.
- 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.
- Vasconcelos, J. (2006). Avaliação climática para o planeamento urbano de Lisboa, Influência do crescimento urbano no sistema de brisas do estuário do Tejo. Dissertação de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

ANEXO

Climatopos - METADADOS

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços nº 19042458**, designado “Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para as Áreas Críticas na Cidade de Lisboa”, apresentam-se a ficha de metadados do “Mapas das orientações climáticas do concelho de Lisboa” elaborado em formato digital, cuja fundamentação científica é apresentada no relatório elaborado para o efeito.

A – Lista de mapas

Mapa 1 - Unidades de Resposta Climática Homogénea 2020 (URCH)

Mapa 2 - Mapa das orientações climáticas do concelho de Lisboa.

B – Unidade elementar de análise

Indo ao encontro das diferentes escalas de análise do projeto “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas”, onde esta operação se enquadra, e às eventuais necessidades no âmbito das ações de ordenamento e/ou de planeamento, os mapas foram elaborados com base numa atualização do dos climatopos de 2005, então integrados nos estudos do PDM de Lisboa e onde é apresentado em formato *Esri map package*.

Os mapas são acompanhados de ficheiros de simbologia para visualização em ArcGIS, v. 10.5.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 3 – Recomendações climáticas

A.1 – Mapa das unidades de resposta climática homogénea (URCH)

Designação	Climatopos2020.shp
Descrição	Unidades de resposta Climática Homogénea
Unidade de análise	Climatopos 2005
Método analítico	Cruzamento das classes de ventilação com a densidade urbana
Fontes de dados	Alcoforado <i>et al.</i> , 2005 Correia, 2019
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	FID: código identificador Classe: Código das classes das URCH

A.2 – Mapa de avaliação climática

Designação	avaliacaoclimatica2020.shp
Descrição	Mapa de avaliação climática de Lisboa
Unidade de análise	Climatopos 2005
Método analítico	Agrupamento de classes de climatopos
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	FID: código identificador unidades: Unidades do mapa de avaliação para os quais são oferecidas recomendações para o planeamento.

A.3 – Corredores de ventilação

Designação	corredores_ventilacao.shp
Descrição	Grandes faixas de ventilação alinhadas com os rumos dominantes do vento em Lisboa
Unidade de análise	Climatopos 2005
Método analítico	Atualização dos corredores de ventilação de 2005 tendo em consideração a atualização dos índices de geometria urbana atuais (Correia, 2019)
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	FID: código identificador