



# Metodologia de Avaliação do Clima Urbano



PROGRAMA  
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA  
ESPAÑA ~ PORTUGAL  
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA  
2007 - 2013

Unión Europea  
FEDER

Invertimos en su futuro



## Ficha Técnica

---

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CLIMA URBANO

Projeto “BIOURB”/POCTEP-UE; Parceiros: CMB, CIDAUT, EREN, ICCL, IPB, AT e CMM

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Artur Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança e Centro de Investigação da Montanha)

AUTORES

Artur Gonçalves, António Castro Ribeiro, Filipe Maia e Manuel Feliciano

(Instituto Politécnico de Bragança e Centro de Investigação da Montanha)

APOIO TÉCNICO

Arsénio Araújo e Miguel Vaz Pinto

2014

*Projeto “BIOURB – Diversidade bioconstrutiva transfronteiriça, edificação bioclimática e a sua adaptação à arquitetura e urbanismo moderno.”*

*Este projeto enquadra-se no Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal que se desenvolve com o apoio da UE e com o financiamento comunitário pelos programas FEDER e POCTEP.*

# Índice

<b>FICHA TÉCNICA .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>4</b>
<b>1 A AVALIAÇÃO DO CLIMA URBANO.....</b>	<b>5</b>
<b>2 METEOROLOGIA URBANA .....</b>	<b>9</b>
2.1 Seleção dos locais de monitorização.....	10
2.2 Particularidades da medição das variáveis climáticas em contexto urbano .....	12
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA URBANO – MODELO DE ANÁLISE.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Monitorização .....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Definição dos locais de monitorização.....	15
3.1.2 Caracterização dos locais de monitorização .....	16
<b>3.2 Análise dos dados de temperatura e humidade.....</b>	<b>17</b>
3.2.1 Tratamento da informação .....	17
3.2.2 Avaliação da intensidade do efeito de ilha de calor .....	18
3.2.3 Construção de mapas de isolinhas.....	19
<b>3.3 Análise da Velocidade e Direção do Vento .....</b>	<b>20</b>
3.3.1 Construção de gráficos de vento .....	20
3.3.2 Interpretação da direção e velocidade do vento .....	21
<b>4 MAPEAMENTO DO CLIMA URBANO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Metodologia Geral .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 Levantamento .....	24
4.1.2 Preparação .....	24
4.1.3 Análise.....	25
4.1.4 Síntese e formulação.....	25
4.1.5 Revisão .....	26
<b>4.2 Mapas de Análise em Sistemas de Informação Geográfica .....</b>	<b>27</b>
4.2.1 Volumetria do edificado.....	27
4.2.2 Fração de superfície impermeabilizada .....	28
4.2.3 Áreas verdes (Potencial de arrefecimento) .....	28

4.2.4 Fatores dinâmicos .....29

**4.3 Mapeamento Climático ..... 30**

4.3.1 Carga térmica potencial .....31

4.3.2 Fatores dinâmicos potenciais.....32

4.3.3 Rugosidade.....32

**4.4 Interpretação do Clima Urbano ..... 34**

**4.5 Estratégias de Intervenção ..... 34**

**5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....36**

**ANEXO 1 - FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORIZAÇÃO (EXEMPLO) .....37**

**ANEXOS 2 - METODOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE DADOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA..... 38**

Definição de Isolinhas (Software ArcGis 9.2) ..... 39

Mapeamento do Índice Volumétrico (Software ArcGis 9.2) ..... 39

Mapeamento da Percentagem de ocupação do terreno ..... 40

Mapeamento dos efeitos da vegetação ..... 40

TPI – Topographic Position Index (Esri ArcGis 9.2 e ArcView 3.2) ..... 41

## Índice de Figuras

---

<b>Figura 1</b> – Elementos do estudo do clima urbano (Fonte: Adaptado de Oke (sd) em Voigt, 2007)	5
<b>Figura 2</b> – Importância do clima urbano na da intervenção bioclimática urbana .....	6
<b>Figura 3</b> – Modelo de integração dos elementos de análise e intervenção bioclimática no domínio do Projeto BIOURB .....	7
<b>Figura 4</b> - Representação esquemática da mesoescala e das camadas verticais das áreas urbanas (CLP – camada limite planetária; CLU - camada limite urbana; CLR – camada limite rural). Adaptado de WMO (2007). .....	9
<b>Figura 5</b> - Representação esquemática das escalas local (A) e microescala (B) das áreas urbanas (CEU – camada da estrutura urbana). Adaptado de WMO (2007).....	10
<b>Figura 6</b> – Pormenor do registo de fotografias “olho de peixe” .....	17
<b>Figura 7</b> – Exemplo de perfil típico do Efeito de Ilha de Calor Urbana (fonte: Wikimedia Commons) .....	18
<b>Figura 8</b> – Sobreposição de gráficos WRPLOT View sobre imagem no software GoogleEarth ....	21
<b>Figura 9</b> – Modelo geral de construção de um Mapa de Clima Urbano .....	23
<b>Figura 10</b> – Modelo de Análise do Clima Urbano.....	27

## Índice de Tabelas

---

<b>Tabela 1</b> – Zonas Climáticas Locais (ZCL).....	11
<b>Tabela 2</b> – Camadas usadas no mapeamento do clima urbano. ....	33

# 1 A Avaliação do Clima Urbano

Num mundo crescentemente urbanizado, as temáticas relativas às cidades ganham relevância. A qualidade de vida nestes locais depende, para além de outras variáveis, do clima, pela forma como este condiciona o conforto no espaço exterior e se relaciona com as condições que encontramos nos espaços interiores dos edifícios que habitamos. Esta é, no entanto, uma relação de duplo sentido, pois o clima determina a adaptação de edifícios e estruturas urbanas ao contexto climático, as quais por sua vez acabam por influenciar as condições microclimáticas. Esta temática tem vindo a afirmar-se como um campo de investigação e atuação complexo, na medida em que está associado a sistemas dinâmicos de diferentes escalas que interagem entre si. Neste sentido, cumpre desenvolver metodologias de análise que possam informar os processos de decisão, fomentando a introdução de estratégias de planeamento que promovam uma melhoria da qualidade do ambiente urbano.

A complexidade do estudo do clima urbano é apresentada por Oke (sd. cit. in Voigt, 2007) como consequência da interação de um conjunto diversificado de fatores como:

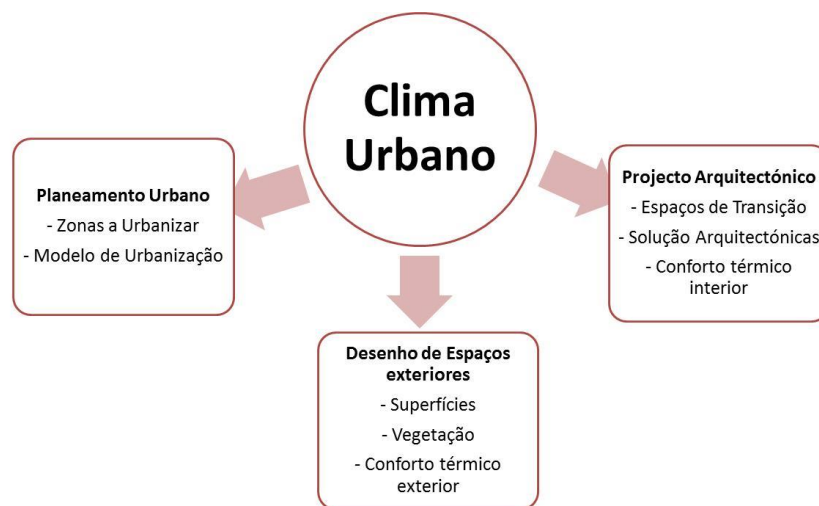
- As características do território, onde se desenvolve a cidade com uma dimensão e forma particular;
- Os processos climáticos, como os que dependem das variações diárias e sazonais;
- As condições meteorológicas em dias particulares, como as que resultam das diferentes condições de vento, nebulosidade e estabilidade atmosférica.
- Acresce ainda, que o espaço urbano, no seu próprio metabolismo, incorpora distorções nas condições climáticas locais, pela presença de fontes térmicas urbanas e pelas emissões atmosféricas que, entre outros aspetos, alteram as trocas energéticas entre o sistema solo/atmosfera.



**Figura 1** – Elementos do estudo do clima urbano (Fonte: Adaptado de Oke (sd) em Voigt, 2007)

No projeto BIOURB, foi assumida a necessidade de incorporar o pensamento bioclimático no desenvolvimento de cidades e outros núcleos populacionais. Para o efeito, assume-se o potencial contributo da análise do clima urbano para diversos níveis de intervenção (**Figura 2**):

- Planeamento Urbano, ajudando a definir o modelo de ocupação que se ajuste às condições climáticas determinadas pelo território, com a definição de usos e atividades compatíveis;
- Desenho dos Espaços Exteriores, adequando os elementos que conformam o espaço urbano às características climáticas do local, combinando edifícios, superfícies e vegetação para potenciar a ocorrência de condições de conforto térmico exterior;
- Projeto Arquitetónico, procurando adequar as características dos edifícios às condições do clima local, minimizando o seu impacte nessa mesma realidade, enquanto incorpora soluções equilibradas na perspetiva do conforto interior e dos espaços de transição.



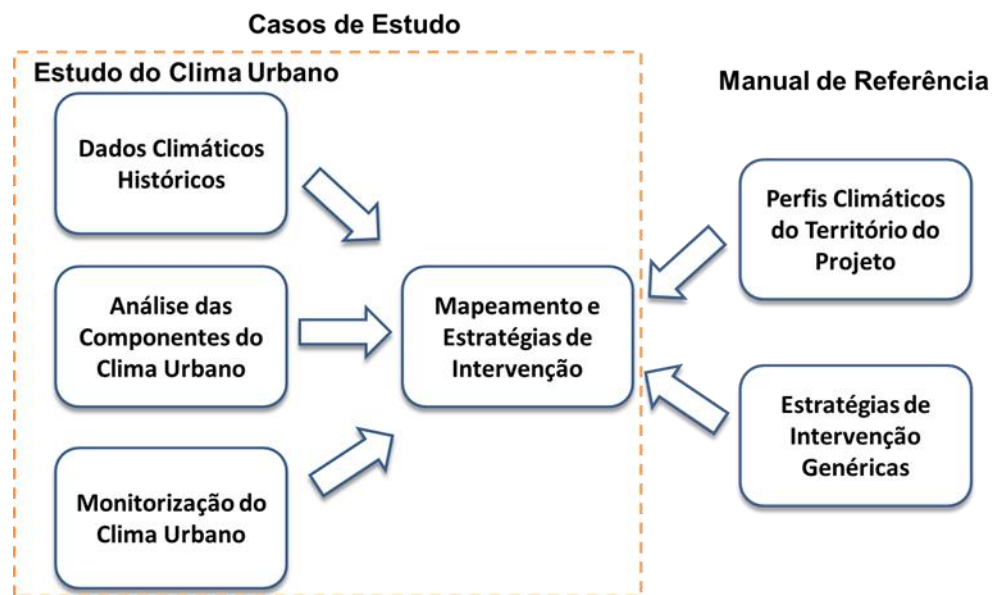
**Figura 2** – Importância do clima urbano na da intervenção bioclimática urbana

Segundo Ren, Ng, and Katzschner (2010), embora se tenha vindo a assistir em vários países a um progresso significativo a nível da análise do clima urbano, as diferentes metodologias utilizadas têm de ser melhoradas e devem ser validadas para uma diversidade mais ampla de estruturas urbanas e de condições climáticas. Este projeto propôs-se contribuir para o conhecimento científico e técnico, através da validação de metodologias existentes, bem como da adequação dos elementos de monitorização e análise ao contexto local.

Procurando responder a este desafio, o Instituto Politécnico de Bragança desenvolveu, em conjunto com a Escola Superior de Arquitetura da Universidade Politécnica de Madrid, uma metodologia que visa o reconhecimento das condições climáticas, em contextos particulares, na sua relação com estratégias de desenho bioclimático urbano. Nesta formulação, pretendeu-se contribuir para a interpretação e posterior intervenção sobre núcleos populacionais no domínio do espaço transfronteiriço do POCTEP (Norte - Castilha-Leão), tendo-se assumido a produção de dois elementos complementares:

- A elaboração de um Manual de Desenho Bioclimático, desenvolvido em colaboração com a Universidade Politécnica de Madrid que, partindo da interpretação dos perfis climáticos de aglomerados populacionais integrados no âmbito geográfico do projeto, define um conjunto de estratégias de Planeamento Bioclimático Urbano, incorporando normas e orientações várias<sup>1</sup>.

- O Desenvolvimento e aplicação de um Modelo de Análise Bioclimático Urbano (**Figura 3**), assumindo a construção de uma metodologia que parte da análise do contexto local, por intermédio da leitura das características mais relevantes, associadas ao território e às estruturas urbanas, que depois são relacionadas com os dados meteorológicos, por análise de registos históricos e de registos de uma rede de monitorização meteorológica. Como resultado deste processo são enunciadas as principais características que definem o clima local, na forma de tipologias climáticas e enunciadas estratégias que se ajustem ao contexto local.



**Figura 3** – Modelo de integração dos elementos de análise e intervenção bioclimática no domínio do Projeto BIOURB

O presente documento apresenta as bases metodológicas para o Mapeamento do Clima Urbano. Estando organizado em torno dos seguintes capítulos:

- No primeiro capítulo são apresentados os mecanismos de monitorização aplicáveis ao clima urbano, identificando os principais parâmetros climáticos que podem ser estudados, os instrumentos meteorológicos associados, assim como aspetos práticos relativos à monitorização meteorológica.

<sup>1</sup> Documento disponível em [www.biourb.net](http://www.biourb.net).

- No segundo capítulo são apresentados os principais mecanismos de monitorização meteorológica adotados, começando pela definição dos locais para a instalação de sensores, como devem ser catalogados e descritos, definindo-se em seguida o modelo de análise de dados de: temperatura e humidade, incluindo a interpretação do efeito de ilha de calor urbano; e de velocidade e direção do vento.

- Finalmente, no terceiro capítulo são apresentados os mecanismos de mapeamento do clima urbano, incluindo a caracterização dos elementos territoriais e das estruturas físicas, recorrendo a mapas de síntese, que culminam com a definição de estratégias e ações de planeamento concretas.

A aplicação prática desta metodologia decorreu em dois contextos transfronteiriços complementares, correspondendo a aglomerados urbanos muito distintos: uma cidade de pequena a média dimensão portuguesa, a cidade de Bragança, e um pequeno aglomerado populacional espanhol, Trabanca (Salamanca). Estes casos surgem como exemplo ilustrativo da aplicação da metodologia proposta, sendo as análises e resultados apresentados em dois documentos separados.

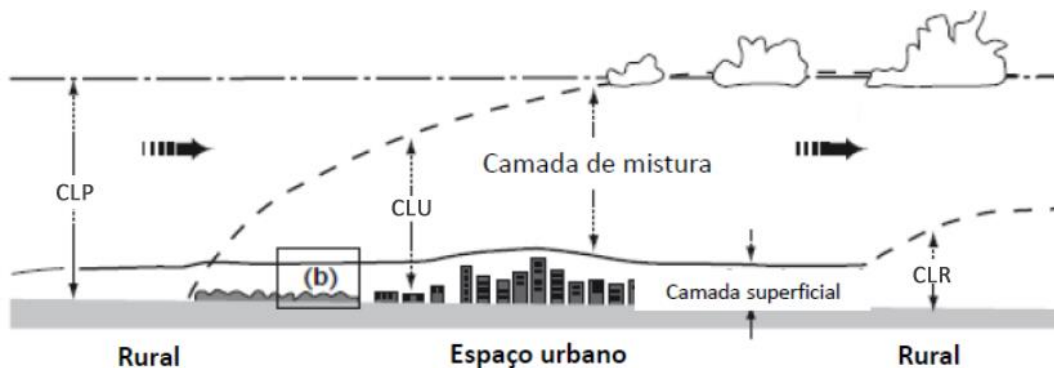
## 2 Meteorologia Urbana

Na avaliação do clima urbano é fundamental que a medição das variáveis meteorológicas e o tratamento dos dados obedeça a critérios que assegurem a interpretação dos principais fenómenos que se desenvolvem nessa escala. Nesta secção pretende-se fornecer informação sobre a seleção dos locais de medição, a instalação dos sensores meteorológicos e a interpretação dos dados medidos em contexto urbano. Pois, apesar da elevada complexidade e diversidade dos ambientes urbanos, é possível obter informação meteorológica relevante para várias finalidades, incluindo a avaliação do clima urbano e o mapeamento climático, sempre e quando se disponha de equipamento adequado e se respeitem algumas regras elementares.

Um aspeto central na monitorização do clima em contexto urbano são as suas escalas, temporal e espacial. A definição da escala espacial de monitorização é fundamental para a seleção do local de medição das diferentes variáveis meteorológicas. Importa, assim, introduzir o conceito de escala e tipos de escala no contexto urbano.

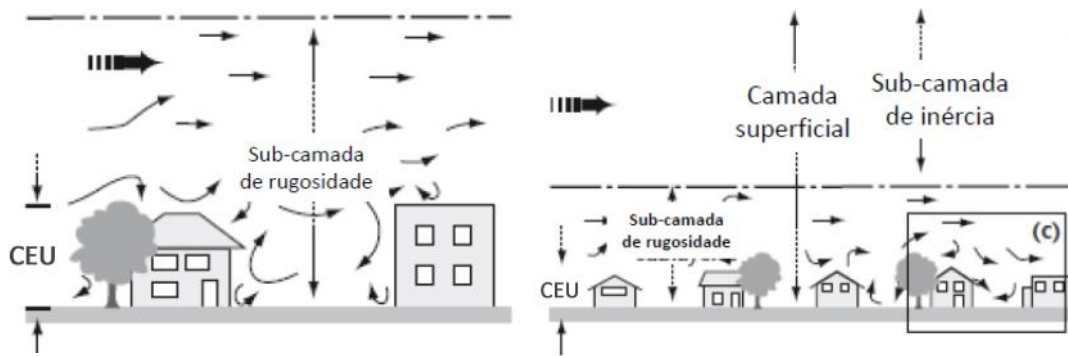
Adotam-se aqui as definições propostas por Oke (2006) para os diferentes tipos de escalas no contexto urbano e que se classificam em microescala, escala local e meso-escala (**Figura 4 e 5**):

- A *microescala* reflete a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (edifícios e as suas partes constituintes; ruas e praças, pequenos jardins).
- A *escala local* é a escala que corresponde aos efeitos climáticos de um conjunto urbano particular, por combinação dos efeitos de elementos urbanos e territoriais, podendo corresponder seja a um tipo de ocupação do solo diferenciado (bairro, parque urbano), seja a condições topográficas específicas (vale, colina, etc.).
- A *mesoescala* corresponde à influência integrada da cidade compreendendo vários climas locais. Podem igualmente considerar-se como efeitos de mesoescala os efeitos 'extra urbanos', de dimensão aproximada ou superior à da própria cidade (sistemas de brisas, barreiras topográficas, etc.).



**Figura 4** - Representação esquemática da mesoescala e das camadas verticais das áreas urbanas (CLP – camada limite planetária; CLU - camada limite urbana; CLR – camada limite rural).

Adaptado de WMO (2007).



**Figura 5** - Representação esquemática das escalas local (A) e microescala (B) das áreas urbanas (CEU – camada da estrutura urbana). Adaptado de WMO (2007).

## 2.1 Seleção dos locais de monitorização

Quando se pretende determinar a localização dos sensores de monitorização meteorológica é necessário, em primeiro lugar, definir claramente os objetivos da monitorização. No caso de se instalar apenas uma estação meteorológica, deve decidir-se se o objetivo é monitorizar o impacto (influência) da cidade, de uma área representativa de uma zona da cidade ou se pretende avaliar um local particular, em que seja necessário avaliar ou caracterizar aspetos climáticos específicos. A combinação de diferentes sensores e estações meteorológicas, permitirá avaliar, em simultâneo, diferentes processos melhorando a leitura que se faz do clima urbano.

A definição de Zonas Climaticamente Homogêneas ou Zonas Climáticas Locais (ZCL), com características similares na sua capacidade de modificar o clima local é essencial para assegurar um critério da homogeneidade espacial para a localização de sensores ou estações meteorológicas. Esta classificação, tal como definida originalmente por Oke (2006)(Tabela 1), previa a definição de zonas com características homogêneas, desde espaços marcados pela alta densidade de edifícios, na categoria 1, até aos espaços com características rurais, na categoria 7. As diferentes classes traduzem diferentes condições urbanas, com variações ao nível da relação entre os edifícios e o espaço livre. Esta classificação pressupõe ainda que espaços agregados numa única classe apresentem interações semelhantes com alguns dos parâmetros meteorológicos.

A classificação das ZCL traduz uma hierarquia decrescente do impacto potencial do espaço urbano sobre o clima. Esta definição pode constituir uma primeira aproximação na definição da localização de sensores e estações meteorológicas, com o propósito de identificar zonas onde existe uma maior probabilidade de encontrar efeitos climáticos particulares, como por exemplo o efeito de ilha de calor urbano. Se a escala de análise se centrar no clima local, deve partir-se da análise do efeito de porções relevantes do espaço urbano, como as ZCL, sendo necessário evitar influências microclimáticas estranhas e compreender outros fenómenos locais ou de mesoescala que influenciem os resultados da monitorização.

Se o interesse do estudo do clima urbano incluir também a avaliação de efeitos específicos (e.g. o efeito da topografia na drenagem de ar frio, através dos vales e encostas em direção às zonas urbanas; o efeito de barreiras naturais ou artificiais na velocidade e direção do vento; ou o efeito dos vales dos rios ou de massas de água na formação de nevoeiros, entre outros) deve ser implementada uma rede de monitorização que permita igualmente amostrar esses efeitos.

**Tabela 1 – Zonas Climáticas Locais (ZCL)**

ZCL	Descrição	Esquema	Classe de Rugosidade <sup>1</sup>	Rácio H-W <sup>2</sup>	% Construção (impermeab.) <sup>3</sup>
1	Tecido urbano denso e com edifícios altos (ex. torres de escritórios)		8	> 2	> 90
2	Alta densidade e com edifícios de 2 a 5 pisos (ex. zonas centrais)		7	1 – 2,5	> 85
3	Média densidade com moradias, lojas e apartamentos (ex. bairros residenciais)		7	0,5 – 1,5	70-85
4	Baixa densidade com edifícios amplos e espaços de estacionamento (ex. zonas comerciais)		5	0,05-0,2	70-95
5	Baixa densidade suburbana. 1 a 2 pisos. (ex. Bairros residenciais suburbanos)		6	0,2-0,6	35-65
6	Uso misto com amplos edifícios em espaços abertos (ex. hospitais, universidades, etc.)		5	0,1	< 40
7	Espaços semi-rurais com casas dispersas e usos agrícolas (ex. quintas)		4	> 0,5 Dependente das árvores	<10

1. Medida da Rugosidade de acordo com a escala de Davenport (Grimmond et al., 2000), que traduz um incremento proporcional no efeito por aumento da altura e densidade dos edifícios.
2. Razão H-W, que traduz a relação entre a altura dos edifícios ou das árvores e a largura das secções das ruas com as que formam corredores de circulação do ar.
3. Proporção do solo coberto por estruturas construídas (edifícios, estradas, pavimentos e outras superfícies impermeáveis). Este indicador tem particular influência nos balanços energéticos do solo e no potencial para a ocorrência de humidade e de efeitos de evapotranspiração devido à presença de vegetação.

Após a escolha do tipo de ZCL e/ou do(s) efeito(s) que se pretende estudar, cabe definir a localização específica dos sensores dentro da área de estudo. Nessa perspetiva, o passo seguinte consistirá numa análise detalhada desses espaços de referência para a seleção dos locais específicos de monitorização. A homogeneidade do local é um conceito difícil de aplicar no contexto urbano. Impõe-se, por isso, para a escolha de locais, a adoção de critérios de razoabilidade, que devem ter em conta as características próprias de cada espaço urbano, que frequentemente determinam uma maior diversidade do que seria expectável pela aplicação de modelos teóricos de análise, pois raramente um único local se encontra sobre a influência de um único fator urbano ou contexto territorial. Contudo, é fundamental evitar locais que cujas características interfiram nas medições e que, de alguma forma, não sejam representativos do

contexto a monitorizar. A título de exemplo pode referir-se como situações urbanas particulares: zonas pavimentadas de estacionamento em áreas predominantemente verdes e com rega; zona com manchas húmidas ocasionais numa área predominantemente seca; edifícios com uma altura muito superior à altura média da ZCL; locais próximos da saída de exaustão dos túneis. Por último, sempre que possível, deve evitar-se zonas de transição entre diferentes tipos de ZCL.

Pela natureza incremental da construção das cidades, a transição entre ZCL corresponde habitualmente a uma variação de tipologias desde espaços rurais na envolvente até espaços mais artificiais no seu interior, onde poderemos encontrar um maior contraste face às condições climáticas naturais do local. Nesta perspetiva, poderá equacionar-se a localização das estações meteorológicas (ou de sensores) assumindo também transições entre o espaço rural e o urbano. Este critério é particularmente relevante para a interpretação dos efeitos da circulação do ar no espaço urbano e para o reconhecimento da intensidade do efeito de ilha de calor urbano.

Não menos relevantes são ainda aspetos práticos como a autorização dos proprietários dos terrenos, a presença de estruturas de suporte e a segurança dos equipamentos. No caso da propriedade dos terrenos, poderá optar-se pela colocação dos sensores no espaço público, fornecendo dessa forma informação sobre as condições nos locais onde a população circula habitualmente, embora esta opção deva ser equacionada tendo em conta a segurança dos equipamentos, não estando isenta da necessária autorização pelas autoridades locais. Quanto às estruturas de suporte, em particular quando se tratar de sensores de pequena dimensão, estas consistem habitualmente em postes de iluminação, ou outras estruturas existentes, cuja localização pode condicionar a colocação do sensor.

## ***2.2 Particularidades da medição das variáveis climáticas em contexto urbano<sup>2</sup>***

Após a seleção do local para a instalação de uma Estação Meteorológica é necessário considerar a posição dos vários sensores de medição que a compõem. Primeiramente recomenda-se que os sensores fiquem afastados de obstáculos como edifícios, árvores, paredes, entre outros. Não sendo possível, em muitas áreas urbanas, cumprir estes critérios, recomenda-se que a estação

---

<sup>2</sup> As recomendações e considerações referidas neste texto são, na sua maioria, extraídas do Guia dos Instrumentos Meteorológicos e Métodos de Observação da Organização Meteorológica Mundial (WMO) elaborado por Oke (2006).

meteorológica fique centrada num espaço aberto em que a área envolvente, traduzida pela razão  $Z_H/W^{(3)}$  seja representativa do local.

Os sensores de medição da temperatura do ar devem estar protegidos de todas as fontes de radiação e adequadamente ventilados, devem ser colocados sobre a superfície representativa do local. No caso das estações urbanas, estas devem ser colocadas, por questões de segurança, a uma altura entre 3 e 5 metros, enquanto no caso das estações rurais, quando não exista esse constrangimento, os sensores devem localizar-se entre 1,25 e 2 metros. Em zonas de edificação densa estes equipamentos devem estar localizados a uma distância de 5 a 10 m dos edifícios com altura entre 20 a 30 metros.

A localização dos sensores de humidade do ar deve obedecer às mesmas regras referidas para os sensores de temperatura. Em ambiente urbano, a degradação dos sensores é maior devido à poluição do ar (pó, óleos, poluentes diversos) e, por isso, os cuidados de manutenção e limpeza são acrescidos, devendo a limpeza dos filtros dos sensores ser feita regularmente. No caso dos psicrómetros convencionais, a manga húmida deve ser substituída regularmente.

Quando a intenção é a monitorização do vento de fundo, sobre a camada inferior da atmosfera, a medição da velocidade e direção do vento é altamente sensível à distorção do fluxo pelos obstáculos. A escolha da altura de medição em zonas urbanas é, por isso, um verdadeiro desafio. Em ZCL de baixa altura e densidade a medição deve ser feita a uma altura de 10 metros estando os obstáculos a uma distância 10 vezes essa altura. Em zonas mais densas, com uma relativa uniformidade e densidade, a altura deverá ser de 1,5 vezes a altura média dos edifícios/árvores. Esta medição exige grandes investimentos e é habitualmente substituída por medições em contexto não urbano, o que resulta numa leitura que pode não refletir fielmente as condições do vento de fundo no local.

Na medição da precipitação em áreas urbanas deve evitar-se a colocação dos pluviómetros próxima de obstáculos (edifícios, árvores) que intercetem a precipitação. Os erros associados à medição da precipitação estão muitas vezes relacionados com a inadequada localização dos pluviómetros ou pluviógrafos, especialmente em relação ao campo do vento na sua vizinhança. A complexidade espacial do campo do vento próxima de obstáculos pode originar concentrações muito localizadas de precipitação ou ausência de precipitação. Os locais de elevada turbulência, como os telhados dos edifícios, devem ser evitados, assim como a proximidade de superfícies suscetíveis de provocar salpicos.

A radiação solar constitui a fonte fundamental de energia no sistema climático e é uma variável climática cuja medição, nas estações meteorológicas urbanas, é fundamental. A medição da radiação solar global deve ser feita livre de quaisquer obstruções acima do plano de medição,

---

<sup>3</sup>  $Z_H$  é a altura média e  $W$  é a distancia espaçamento médio, ambos correspondentes a elementos de rugosidade com edifícios ou arvores.

sejam estruturas fixas (edifícios, árvores, mastros) ou efémeras (nuvens geradas por condutas de exaustão ou chaminés). Os sensores devem estar nivelados e colocados em suportes fixos sem vibrações. Assim, uma plataforma alta, estável e acessível como os telhados dos edifícios altos é frequentemente a melhor solução. A limpeza das cúpulas dos piranómetros deve ocorrer em intervalos regulares e frequentes e no caso de ambientes muito poluídos a frequência deve ser diária.

A medição de outros fluxos radiantes como a radiação difusa, radiação ultravioleta, radiação de grande comprimento de onda da atmosfera, embora seja desejável e útil para várias aplicações, raramente é medida em contexto urbano, sendo o custo dos instrumentos e a potencial utilização dos dados fatores determinantes da decisão.

A radiação de pequeno comprimento de onda refletida pela superfície, a radiação de grande comprimento de onda emitida pela superfície e a radiação líquida raramente são medidas nas estações meteorológicas urbanas. Assim, deixa de ser possível determinar, por esta via, parâmetros importantes como o coeficiente de reflexão das superfícies ou a temperatura média radiante da superfície.

A maior dificuldade na medição dos fluxos radiativos, refletidos ou emitidos pela superfície, em contexto urbano, está relacionada com a necessidade de colocação dos sensores, orientados para a superfície, de forma a amostrar uma área representativa. Quando colocados sobre uma superfície relvada, os sensores colocados a uma altura de 2 metros, 90% do fluxo medido tem origem na superfície circular com um diâmetro de 2 metros. Numa área urbana a altura de medição tem que ser claramente superior para amostrar uma área que integre e seja representativa das múltiplas características de uma determinada ZCL. Recomenda-se que os radiómetros orientados para a superfície sejam colocados a uma altura no mínimo igual a 2 vezes a  $z_H$  e que as propriedades radiativas da superfície sejam representativas do local de medição.

## 3 Caracterização do Clima Urbano – Modelo de Análise

### 3.1 Monitorização

Tal como referido anteriormente, a definição de uma rede de monitorização ajustada à realidade em análise constitui um importante ponto de partida no processo de caracterização do clima urbano. Esta ação é determinante para a definição do valor qualitativo dos dados meteorológicos.

#### 3.1.1 Definição dos locais de monitorização

A escolha dos locais deve obedecer à necessidade de compreensão das diferentes características do espaço urbano. Entre os aspetos anteriormente enunciados cumpre salientar, pela sua relevância, que a seleção de locais deve atender aos seguintes fatores:

- Variação das características do espaço urbano, tendo como referência a classificação do espaço em função dos diferentes tipos de ZCL. Idealmente deve proceder-se à marcação inicial das ZCL, para posteriormente se proceder à seleção dos locais de monitorização, escolhendo, tanto quanto possível, locais próximos do centro dessas mesmas zonas.
- Relação com efeitos associados a processo territoriais, particularmente relevantes em contexto de elevada complexidade topográfica, sendo conveniente identificar locais onde melhor se possam caracterizar esses processos. São exemplos destes locais os espaços de acumulação e transporte de massas de ar frio, as zonas expostas a ventos dominantes, variações altimétricas ou espaços sombrios como resultado de efeitos topográficos (ex. vales profundos ou declives acentuados orientados a norte).
- Gradiente urbano-rural, que em grande medida se traduz na transição entre ZCL, mas que poderá ser ajustado para acomodar possíveis transições desde o espaço rural até ao centro dos aglomerados urbanos.

Adicionalmente deverá ainda considerar-se:

- A dispersão no espaço urbano, pois a caracterização do clima urbano está naturalmente dependente da representatividade espacial da análise.
- Critérios de localização específica dos sensores, anteriormente apresentados.



### 3.1.2 Caracterização dos locais de monitorização

Desde o início do processo devem caracterizar-se os locais de monitorização, como forma de compreender o contexto que se pretende monitorizar. Nessa perspetiva, assume especial relevância a recolha de dados de caracterização.

No âmbito deste projeto, foram desenvolvidas fichas de caracterização (em anexo), das quais constam:

- Caracterização do contexto urbano, incluindo o registo por fotografia aérea e outros registos fotográficos, que ajudem a compreender a características dos locais de monitorização;
- Registo fotografia de olho de peixe, com o qual é possível obter uma representação exata do semi-hemisfério sobre o local de monitorização, permitindo o cálculo posterior do fator de visão do céu, variável de grande relevância na interpretação das características dos locais e que consta numericamente e graficamente da ficha.
- Outros parâmetros de caracterização dos espaços, que incluem variáveis de descrição das características da envolvente dos edifícios, incluindo a rugosidade, albedo médio e a percentagem de espaços artificiais. Estas características dizem respeito à envolvente dos locais de monitorização pelo que caberá definir o contexto de análise. No âmbito do presente projeto avaliaram-se um conjunto de parâmetros, considerando o seu valor médio, que descrevem a envolvente numa extensão correspondente a um raio de 25 metros.
- Descrição do contexto topográfico, determinado pela presença de diferenças na forma do terreno que podem ser classificadas com recurso à análise do índice topográfico TPI, que será apresentado mais adiante.

Entre os outros elementos, destas fichas (ver anexo) poderá constar ainda uma descrição textual das características dos locais.

#### ***Registo de Fotografia Olho de Peixe***

O registo de fotografias de “olho de peixe” pode constituir um importante contributo para a caracterização dos locais de monitorização, não apenas porque permite uma leitura visual da envolvente dos pontos de medição, mas também porque permite determinar com precisão o fator de visão do céu, um dado relevante para a interpretação do balanço radiativo no espaço urbano.

O equipamento necessário para o registo de fotografias de olho de peixe consiste, naturalmente, numa câmara fotográfica equipada com uma lente especial, denominada de “olho de peixe”, que deve fazer um registo preciso e proporcional da visão semi-hemisférica de cada local.



**Figura 6** – Pormenor do registo de fotografias “olho de peixe”

O registo deve fazer-se junto da localização dos sensores meteorológicos, com a câmara fotográfica orientada na vertical, apontando ao Zénite<sup>4</sup> do local. Para o efeito, deve usar-se um tripé flexível e afinar-se a projeção com recurso a um medidor de nível de bolha. O medidor de nível, que consta também de alguns tripés, deve ser usado para confirmar diversas posições do registo, no eixo vertical e horizontal, validando a posição da lente no momento do registo.

## **3.2 Análise dos dados de temperatura e humidade**

### **3.2.1 Tratamento da informação**

A informação obtida a partir dos sensores meteorológicos deve ser organizada para efeitos do tratamento de dados. Os sensores e estações meteorológicas podem incorporar uma integração de dados com base em intervalos regulares, frequentemente de 10 minutos, momento no qual se regista a média correspondente. Outros valores como máximos e mínimos das variáveis meteorológicas são igualmente registados pela maior parte dos sensores, ainda que isso possa depender da programação dos aparelhos.

Os dados recolhidos, uma vez convertidos para formatos compatíveis, podem ser trabalhados para fornecer informação adicional para a análise climática. Neste contexto, é particularmente relevante avaliar a evolução das variáveis ao longo do dia, considerando as relações existentes entre os padrões de temperatura, humidade relativa do ar e velocidade do vento em diferentes momentos, aquilatando os diferentes efeitos resultantes da combinação dos fatores que atuam à escala urbana. Existem outras variáveis relevantes, mas como o objetivo consistia em avaliar um amplo conjunto de locais em simultâneo, conseguindo avaliar o clima urbano de um modo abrangente, apenas estas foram estudadas neste projeto.

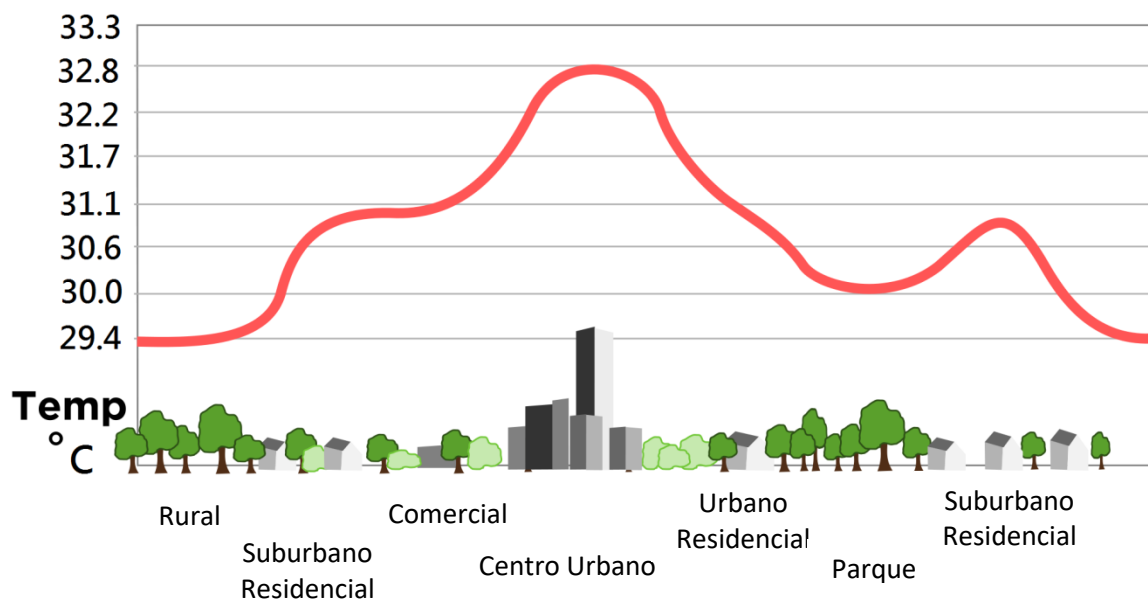
---

<sup>4</sup> O Zénite corresponde ao ponto (imaginário) que é intercetado por um eixo vertical (também imaginário) traçado a partir de um local sobre a superfície terrestre e que se prolonga até ao infinito na esfera celeste.

### 3.2.2 Avaliação da intensidade do efeito de ilha de calor

Um dos fenómenos mais representativos das modificações introduzidas nas condições climáticas à escala urbana corresponde ao efeito de “ilha de calor urbana” (EICU) caracterizado pelo aumento relativo da temperatura do ar do espaço urbano face às áreas rurais circundantes (He *et al.* 2007) (Figura 7).

A intensidade deste efeito pode ser medida em função de diferentes indicadores, tendo como referencia a interpretação das diferenças existentes entre as temperaturas no interior dos núcleos urbanos e a envolvente rural. Estas diferenças entre locais podem referir-se às médias da temperatura máxima, durante o dia, ou às médias da temperatura mínima, durante a noite, momento em que este fenómeno atingirá uma maior intensidade. Dada a elevada variabilidade das condições ao longo do ano nas latitudes médias, deve estudar-se ainda as diferenças ao longo das estações do ano.



**Figura 7** – Exemplo de perfil típico do Efeito de Ilha de Calor Urbana (fonte: Wikimedia Commons)

Uma outra interpretação aplicável corresponde à intensidade máxima do EICU, que traduz as diferenças máximas diárias registadas, em simultâneo, entre os contextos rurais (na envolvente) e os contextos urbanos. Este indicador fornece uma noção do alcance máximo do EICU, podendo ser interpretado pela distribuição das suas frequências, incluindo a sua mediana, e a distribuição pelos diferentes quartis.

A localização de pontos de medição em diferentes locais da cidade, correspondendo a diferentes ZCL, permite ainda que as diferentes intensidades do EICU sejam interpretadas na sua relação com o contexto urbano, considerando a sua agregação em classes ou a sua interpretação enquanto locais singulares.

O EICU assume também expressão nos valores da humidade relativa do ar. Esta condição é habitualmente associada a uma maior aridez existente no espaço urbano, mas cabe recordar

que este parâmetro não mede diretamente o vapor de água presente na atmosfera, pois toma como referencial o potencial de saturação do ar para avaliar a sua fração húmida. O nível de saturação do ar em vapor de água aumenta à medida que a temperatura aumenta, razão pela qual estas duas variáveis se encontram relacionadas. Pese embora esta circunstância, autores como Olgay (1998 [1963]) recorreram ao seu valor como um indicador com influência para o conforto térmico, em particular quando próximo de valores extremos (menos de 20% e mais de 80%).

### ***A influência do vento e da estabilidade atmosférica***

A intensidade do EICU varia significativamente com as condições sinópticas do momento e, em particular, com as condições de estabilidade ou instabilidade. Nesta perspetiva é conveniente avaliar essas condições interpretando registos que documentem as condições meteorológicas, como sejam os registos de imagem satélite ou cartas meteorológicas, atividade que pode fornecer importantes indicações para a leitura do clima em escalas mais alargadas.

Sendo a circulação do ar e, em particular, a intensidade do vento um fator de atenuação das diferenças de temperatura no espaço urbano, pelo efeito de convecção que promove a mistura do ar na camada superficial, o seu valor deve ser considerado na interpretação da intensidade do EICU. Assim, os dados devem ainda ser interpretados considerando diferentes categorias de intensidade do vento, determinando para esses casos diferentes níveis de intensidade do EICU. Nos estudos desenvolvidos no presente projeto foram considerados intervalos compreendidos entre 0 e 1,5 m/s, 1,5 e 3 m/s, 3 e 4,5 m/s e mais de 4,5 m/s. Foram ainda elaborados gráficos de frequência entre a intensidade do efeito de ilha de calor e a variação da intensidade do vento.

### ***Fator altitude***

Em alguns aglomerados urbanos, quando em presença de terrenos com uma orografia complexa, deve considerar-se os efeitos da variação da altitude na temperatura e que resultam em diferenças na densidade do ar, motivando diferentes efeitos quer se considere o período noturno ou diurno.

Neste particular, e no caso da avaliação do EICU, recomenda-se que se proceda a uma correção diferencial da temperatura, em função dos gradientes registados em altitude no contexto rural próximo, quando possível, ou, em alternativa, recorrendo ao gradiente adiabático.

### **3.2.3 Construção de mapas de isolinhas**

Os mapas de isolinhas são particularmente úteis na representação de dados meteorológicos quando se dispõe de um conjunto de pontos de medição dispersos numa base espacial representativa e relativamente uniforme. O seu princípio consiste na integração dos dados para a obtenção de mapas que representam uma aproximação à variação de dados entre os pontos de monitorização existentes. Embora pressuponham uma simplificação na interpretação das condições reais, este método facilita a leitura dos processos em análise, pois traduz

especialmente as diferenças que poderão existir no espaço urbano, pelo que contribuem de modo gráfico para a interpretação da realidade em análise.

A produção de mapas de isolinhas pode assumir diferentes métodos de interpolação, os quais podem ser aplicados e interpretados por recurso a software específico, como no caso da extensão de Geostatistic Analyst, do software ArcGis 9.3. Entre as opções de interpolação disponíveis, o processo *Kriging*, também denominado por *krigagem*, é um dos mais utilizados, tendo sido o método escolhido para os estudos do projeto BIOURB.

A *Krigagem* é uma metodologia geostatística que considera as características espaciais de auto-correlação de variáveis, quando estas se constituem como variáveis distribuídas no espaço (ou tempo). Neste método, os dados obtidos por amostragem num determinado conjunto de pontos podem ser usados para parametrizar a estimativa dos valores constantes da restante superfície em análise. O seu princípio de funcionamento consiste em assumir que o valor num local será tanto mais próximos dos registados nos pontos de amostragem quanto mais próximos estes estejam entre si, perdendo esta relação intensidade à medida que o afastamento entre pontos vai aumentando.

Para a realização deste estudo, foi aplicada uma interpolação por *krigagem* comum, na medida em que o seu objetivo consistia em descrever de modo gráfico o potencial de variabilidade espacial dos dados climáticos. Entre as limitações deste método deve salientar-se que a sua aplicação só é possível quando se disponha de dados relativos a 10 ou mais pontos<sup>5</sup>.

No caso do estudo do clima urbano, foram elaborados mapas para as médias dos valores máximos e mínimos diários da temperatura e da humidade, por estação do ano, para o período de análise.

### 3.3 *Análise da Velocidade e Direção do Vento*

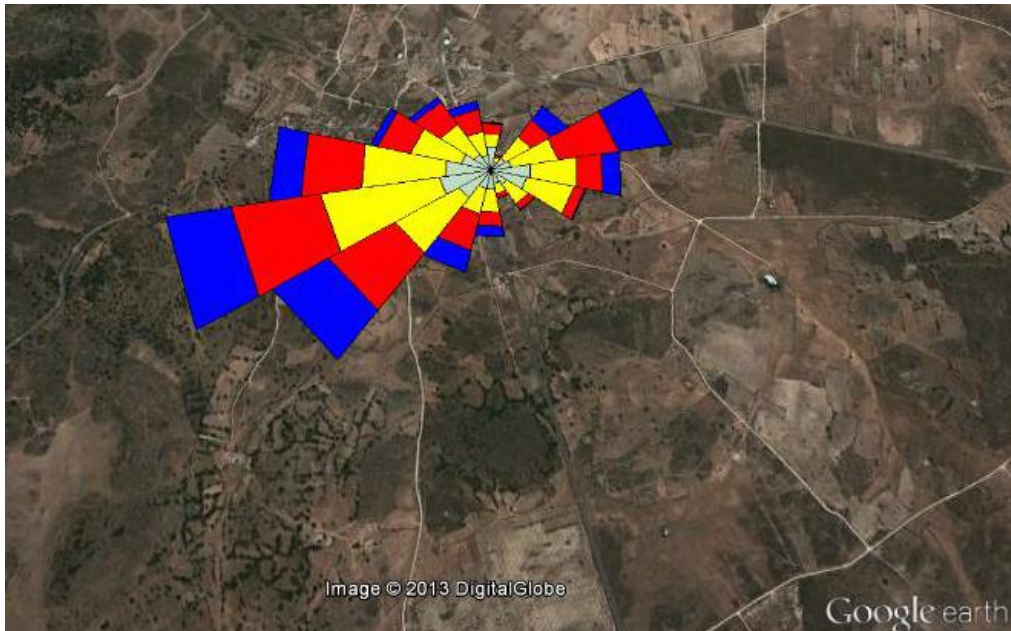
#### 3.3.1 *Construção de gráficos de vento*

Na interpretação das características do vento recorre-se frequentemente a gráficos que descrevem aspetos como a intensidade e a frequência do vento. Quando o objetivo é analisar as características do vento em diferentes sentidos, recorre-se aos denominados Hodógrafos. Estes gráficos representam, em simultâneo, os valores de intensidade discriminando entre diferentes quadrantes ou octantes de incidência do vento. Estes gráficos incorporam a informação obtida a partir de sensores de intensidade e direção do vento de um modo visualmente simples e apelativo.

---

<sup>5</sup> Por este motivo, esta análise apenas se aplicou ao estudo do clima da cidade de Bragança, pois o número de pontos amostrados em Trabanca (Espanha) é inferior a este valor mínimo.

Na construção de gráficos pode recorrer-se a *software* de análise de folhas de cálculo convencional, construindo gráficos de “teia de aranha” ou de “radar”, onde se podem integrar os dados médios da frequência e intensidade para as diversas direções do vento<sup>6</sup>.



**Figura 8** – Sobreposição de gráficos WRPLOT View sobre imagem no software GoogleEarth

Existe ainda software específico para a construção de gráficos mais elaborados, como o *WRPLOT View*, que permite a representação das frequências por intensidade do vento, para os diferentes octantes, o que acrescenta informação à análise e pode resultar particularmente útil para compreender o modelo de distribuição do vento na sua incidência sobre estações meteorológicas ou noutros pontos de medição. Este software, permite a produção de gráficos que podem depois se sobrepostos a mapas em ambiente GoogleEarth, o que favorece a representação e comunicação dos dados.

### 3.3.2 Interpretação da direção e velocidade do vento

A intensidade e direção do vento dependem das condições presentes num determinado local, e que são determinadas pela interação entre os processos de formação do vento de maior escala e as características de contexto local, como sejam as condições topográficas particulares e as interações motivadas por estruturas artificiais ou pela vegetação. Nesta perspetiva, a interpretação dos dados meteorológicos deve considerar a possível influência nas medições das características próprias dos locais onde se encontrem os sensores ou as estações meteorológicas.

<sup>6</sup> Diversos gráficos deste tipo constam do Manual de Desenho Bioclimático do projeto BIOURB.

Os dados das estações meteorológicas das entidades oficiais fornecem importantes indicações sobre as condições de vento na envolvente dos núcleos urbanos, mas estão habitualmente localizadas em situações rurais ou peri-urbanas, pelo que poderão não encontrar correspondência nas alterações resultantes da presença de efeitos topográficos localizados, para além dos efeitos associados ao microclima urbano.

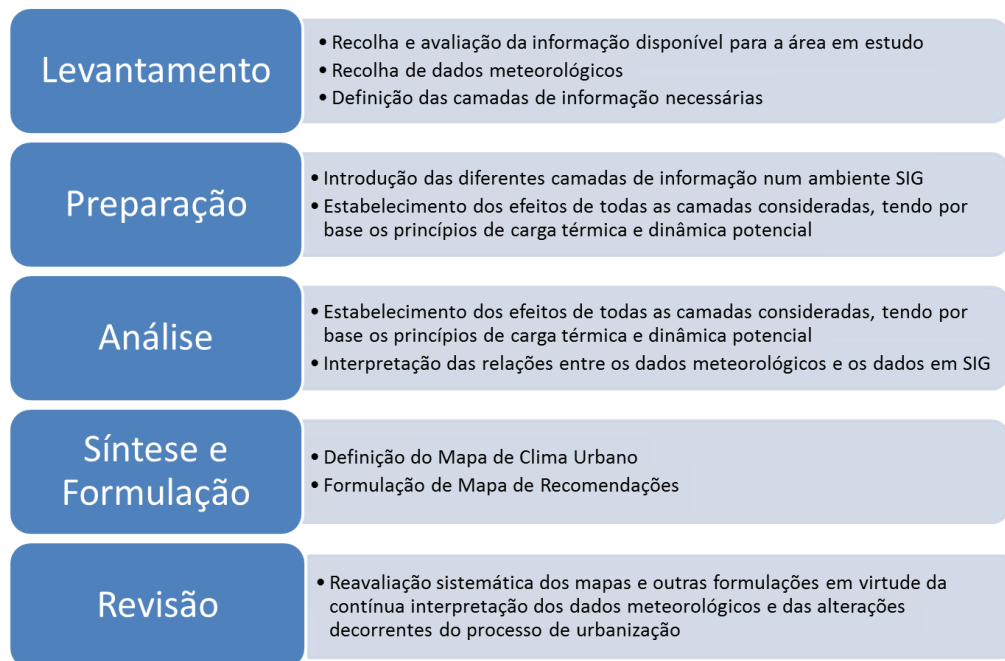
Para melhor compreender a variação do vento no espaço urbano devem instalar-se sensores de velocidade e direção do vento em contextos específicos, que possam confirmar potenciais efeitos da rugosidade e forneçam indicações precisas sobre alterações registadas localmente. Na impossibilidade de medir todos esses processos, deve proceder-se à amostragem de locais particulares onde sejam expectáveis efeitos localizados, que porventura possam repetir-se em mais locais do espaço urbano.

## 4 Mapeamento do Clima Urbano

### 4.1 Metodologia Geral

O Mapeamento de Clima Urbano (MCUrb) tem surgido como uma ferramenta de apoio aos processos de decisão e ao processo de planeamento, facilitando a interpretação das condições climáticas de uma zona urbana. Partindo deste pressuposto, esta ferramenta deve desempenhar um papel importante no apoio à definição de recomendações urbanísticas, podendo contribuir para minimizar os efeitos negativos do processo de urbanização, através do incremento das condições propícias ao conforto térmico, bem como através da promoção da melhoria da qualidade do ar (Burghard, Katschner, Kupski, Chao, & Spit, 2010).

O MCUrb deve identificar as zonas que são mais favoráveis e as mais problemáticas do ponto de vista térmico, assim como a forma como os edifícios podem afetar a circulação do vento na cidade (E. Ng, Katschner, & Wang, 2007). Esta ferramenta combina sinergicamente vários parâmetros climáticos (ex. velocidade e direção de vento, temperatura do ar, humidade relativa, ou outros), com informação topográfica, da paisagem, do edificado e outros elementos construídos da cidade, de modo a apresentar os fenómenos e os problemas climáticos numa cartografia específica. Dada a complexidade do clima urbano, e para além dos fatores físicos referidos, o desenvolvimento do MCUrb apoia-se também em critérios qualitativos e subjetivos, com o propósito de referenciar fenómenos de difícil interpretação e/ou para os quais se disponha de dados insuficientes (Scherer, Fehrenbach, Beha, & Parlow, 1999).



**Figura 9** – Modelo geral de construção de um Mapa de Clima Urbano

O processo de MCUrb (**Figura 9**) depende do desenvolvimento sequencial de tarefas que levam à descrição de um conjunto de características típicas do comportamento climático no espaço

urbano. Devem informar as decisões no domínio do planeamento do espaço urbano e o desenvolvimento de estratégias de desenho urbano, assentes numa leitura das condições particulares de cada local.

O processo que conduz à definição do MCUrb pode ser descrito como constando de cinco etapas complementares (**Figura 6**), sendo estas: o levantamento, a preparação, a análise, a síntese e formulação e a revisão.

#### 4.1.1 Levantamento

Nesta etapa devem ser reunidos elementos que ajudem a caracterizar e compreender os processos inerentes ao clima urbano. Estes elementos podem ser agregados em dois grupos: por um lado, a morfologia do território, incluindo não apenas o espaço urbano, mas também a sua envolvente; e, por outro, as características do espaço urbano, considerando não apenas as características de ocupação do solo como também o edificado. A informação é trabalhada para definir um conjunto de indicadores de referência, que posteriormente são reinterpretados para a construção de índices de classificação das condições locais.

Em paralelo, decorre a monitorização dos dados meteorológicos, anteriormente descrita, que fornece importantes elementos para a compreensão das condições climáticas urbanas, e que no contexto particular deste estudo consistiram na análise das variáveis: temperatura do ar, humidade relativa do ar e intensidade e direção do vento.

#### 4.1.2 Preparação

Uma vez definido o modelo de análise, o passo seguinte corresponde à construção de um conjunto de camadas de base, através das quais se definem os parâmetros de análise. Esta informação, que deve ser inventariada, corresponde a três conjuntos diferenciáveis de informação:

- Características territoriais que, tendo por base um modelo de análise topográfica, permitem interpretar elementos diferenciadores da morfologia do território;
- Características de uso do solo, que correspondem ao modelo de ocupação, descrito em diferentes tipologias, por interpretação da combinação entre elementos artificiais (edifícios e espaços pavimentados) e a vegetação;
- Características do espaço construído, incluindo parâmetros relativos aos edifícios, incluindo a sua volumetria.

Nesta etapa, é indispensável definir um critério de subdivisão do espaço urbano em unidades de análise. Para o efeito, assumiu-se como referencial o conceito de Quarteirão (em contexto urbanizado) ou de zonas (em contextos peri-urbanos ou rurais), considerando, em ambos os casos, áreas nunca inferiores a um hectare. Na marcação destas subdivisões em Portugal, um importante ponto de partida pode corresponder às subsecções estatísticas, identificadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) como espaços homogéneos, numa extensão que se assemelha, no contexto urbano, à definição de quarteirão. No contexto espanhol, as secciones censales podem igualmente ser um ponto de partida para a análise do espaço urbano, a sua

dimensão é no entanto geralmente superior à das subsecções estatísticas. A marcação disponibilizada pelo INE deve, em todo o caso, ser adaptada na sua geometria para melhor responder aos critérios de delimitação das unidades de interpretação, que neste caso particular deverão corresponder às ZCL, o que em muitos casos resulta da agregação ou desagregação de dados e da inclusão ou exclusão de áreas ocupadas por espaços verdes.

Dadas as características do projeto BIOURB, procurou-se, tanto quanto possível, a utilização de parâmetros e elementos disponíveis ao nível dos serviços de cartografia autárquicos ou de outras instituições, evitando-se modelos de interpretação excessivamente complexos, dificilmente aplicáveis pela generalidade dos municípios. Caso estes dados não estejam disponíveis, deverá proceder-se à sua obtenção a partir da interpretação de ortofotomapas, atualmente bastante difundidos, e/ou de outro tipo de levantamentos de dados de caracterização.

### 4.1.3 Análise

A análise do clima urbano consiste na leitura complementar de camadas de informação geográfica, previamente classificadas para representar a intensidade do efeito que descrevem, apresentando uma previsão dos efeitos esperados nas condições climáticas locais.

Para a análise do clima urbano torna-se importante a definição dos conceitos de carga térmica e de efeitos dinâmicos potenciais que contribuem de modo decisivo para as condições climáticas locais. A sua análise assenta na interpretação de informação que descreve elementos com influência nestes dois efeitos complementares (Acero, 2012; E Ng, Katzschner, Wang, Ren, & Chen, 2008):

- Carga térmica potencial – que traduz a maior tendência para a acumulação de calor no interior das cidades, como resultado do menor albedo das superfícies, dos efeitos de acumulação de calor em espaços urbanizados, para além dos efeitos complementares do aquecimento por fontes antrópicas. A carga térmica potencial assume grande relevância na ocorrência do EICU.
- Dinâmica potencial – Para além dos efeitos mais estáticos da presença de diferentes superfícies e elementos artificiais no espaço urbano, existe uma importante relação com os fatores dinâmicos da drenagem do ar na cidade, que influem nas características do clima urbano.

A construção do modelo de análise é acompanhada da interpretação dos dados meteorológicos, pelos quais aferir da correspondência entre a previsão dos efeitos climáticos e a sua efetiva ocorrência. Este processo é, de todos, o mais complexo e exige longos períodos de interpretação e análise. Os meteorologistas com um amplo conhecimento dos mecanismos de interação entre o contexto urbano (particular) e o clima podem contribuir de modo relevante para a análise, ajudando a interpretar os fenómenos numa perspetiva espaço-temporal.

### 4.1.4 Síntese e formulação

A etapa de Síntese e Formulação consiste, num primeiro momento, na definição de um conjunto de unidades de caracterização que, em virtude das suas características, se afiguram como

homogéneas. Esta simplificação ajuda a compreender as dinâmicas dos principais processos de interação cidade-clima, sendo particularmente relevantes para efeitos de planeamento urbano.

Tendo por base estas unidades de caracterização, desenvolvem-se um conjunto de estratégias de intervenção na esfera do planeamento urbano, orientadas para a atenuação de potenciais efeitos negativos na interação entre a cidade e o clima. Entre estes efeitos podem encontrar-se:

- A excessiva acumulação de calor, especialmente relevante no período de verão;
- A elevada exposição ao vento, que em contextos de menor temperatura pode resultar particularmente negativa para o conforto térmico nos espaços públicos e motivar perdas de calor nos edifícios; ou
- Os efeitos indesejados que resultam da urbanização em espaços de drenagem e acumulação de massas de ar frio, com consequências para o conforto térmico exterior e as condições térmicas dos edifícios.

Considerando as características da interação entre o contexto local e o clima, são então definidas estratégias que permitam atenuar aspetos negativos do clima urbano. Estas estratégias são representadas na forma de mapas, através da localização dos espaços que potencialmente se encontram sobre efeitos determinados, e são acompanhadas por um conjunto de recomendações para a intervenção sobre a situação existente e/ou de planeamento de processos de urbanização futuros. Ainda que o domínio do Mapeamento Climático exceda a microescala, podem estabelecer-se relações com estratégias de intervenção localizadas, como as constantes do Manual de Desenho Bioclimático.

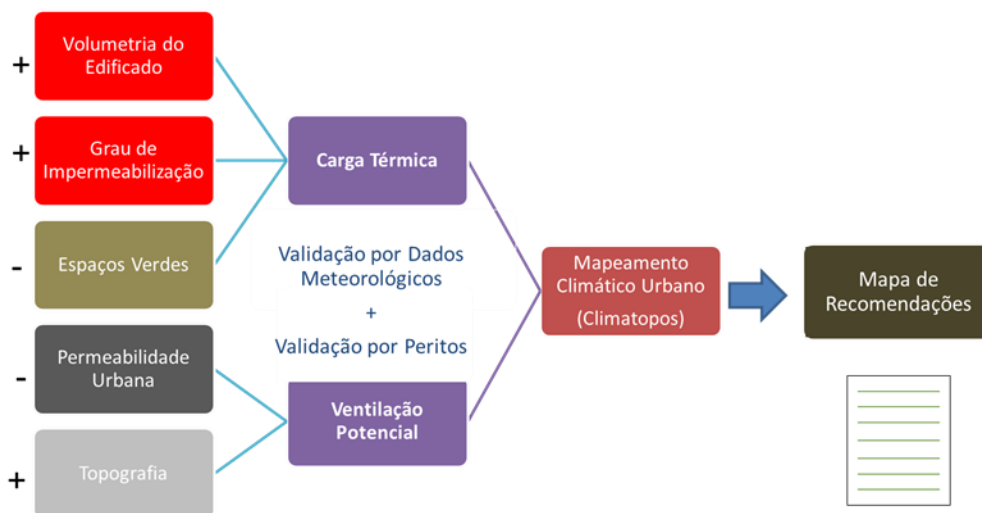
#### 4.1.5 Revisão

A necessidade de consolidação de dados meteorológicos à escala urbana, associada à dinâmica de transformação do espaço urbano, determinam que este processo seja continuado no tempo e continuamente revisto.

Finalmente recomenda-se que os dados que sustentam a análise do clima urbano sejam interpretados anualmente, consolidando os dados de caracterização, até à obtenção de um período temporal de referência, tipicamente de 30 anos. Os dados de caracterização do espaço urbano devem igualmente ser revistos anualmente. A consolidação de dados em séries temporais mais longas deverá permitir uma interpretação de processos climáticos de maiores escalas temporal e diluir efeitos relativos a anos atípicos. A obtenção de series longas de dados permitirá o estudo dos efeitos potenciais das mudanças no clima geral (ex. aquecimento global), bem como a interpretação de efeitos que resultam da transformação do espaço urbano, contribuindo ainda para a leitura de tendências na formação do Clima Urbano.

## 4.2 Mapas de Análise em Sistemas de Informação Geográfica

Na **Figura 10** descrevem-se os passos desenvolvidos para a obtenção dos mapas que sustentam o processo de análise do clima urbano do projeto BIOURB, cujas metodologias específicas em seguida se descrevem.



**Figura 10** – Modelo de Análise do Clima Urbano

### 4.2.1 Volumetria do edificado

Esta camada ajuda a explicar a capacidade de armazenamento de calor das áreas urbanas edificadas. O incremento do volume dos edifícios em relação ao solo de suporte contribui potencialmente para o incremento da acumulação de calor no espaço urbano durante o dia, reduzindo, por outro lado, a libertação de calor durante a noite. Além disso, estas superfícies exercem ainda efeitos sobre a drenagem do vento e de massas de ar, incrementando potencialmente a influência de rugosidade urbana.

Esta variável foi medida pelo índice volumétrico proposto por Lobo *et al.* (1995) que considera a relação entre o somatório do volume e a superfície de referência. O cálculo desta variável tem como referência a seguinte expressão matemática:

$$I_v = \frac{\sum V_i}{S_i}$$

$V_i$  - volume de cada um dos edifícios na unidade de análise

$S_i$  - superfície de cada uma das unidades homogéneas de análise

Os valores obtidos servem de base à definição de um conjunto de categorias que expressam a intensidade do efeito descrito e que deverão ser avaliadas no contexto específico de análise. A medida do impacto deve corresponder às diferenças nas características das unidades homogéneas de análise, correspondendo os valores nulos a condições rurais e periurbanas e os mais elevados a condições de grande concentração de edifícios.

No contexto da construção das camadas para o Mapeamento Climático foram consideradas as seguintes categorias:

$I_v$	Categoria
0 - 1	0
1 - 2	1
2 - 3	2
> 3	3

#### 4.2.2 Fração de superfície impermeabilizada

Esta camada é complementar à anterior e relaciona-se com o potencial de acumulação de calor que resulta da excessiva concentração de superfícies artificiais, a maior parte das quais de reduzido albedo, que tenderão a acumular calor sensível e a libertá-lo de forma mais lenta. Este indicador assume algumas simplificações, em particular por considerar as superfícies como um todo homogéneo. O cálculo desta variável tem como referência a seguinte expressão matemática:

$$\%_{Imp} = \frac{S_{imp\ i}}{S_i} \times 100$$

$S_{imp\ i}$  - superfície impermeável de cada uma das unidades homogéneas de análise

$S_i$  - superfície de cada uma das unidades homogéneas de análise

De modo semelhante à variável anterior, a organização dos dados assume a definição de categorias, que correspondem aos seguintes intervalos:

Fração de Superfície ocupada (%)	Categoria
< 25	0
25 - 50	1
50 - 75	2
75 - 100	3

#### 4.2.3 Áreas verdes (Potencial de arrefecimento)

Como resultado da presença de espaços artificiais, uma elevada fração da radiação de longo comprimento de onda é convertida em calor sensível, promovendo o aquecimento do ar circundante. Diversos estudos desenvolvidos na região mediterrânea (Georgi & Dimitriou, 2010; Gómez, Gil, & Jabaloyes, 2004) demonstram os benefícios da presença de vegetação nos espaços urbanos, em particular pela possibilidade de criação de espaços com um menor aquecimento em períodos de maior incidência da radiação, como resultado das diferenças nas superfícies e da presença de sombras. Esse efeito pode ser relacionado com as características dos espaços verdes e em particular com a densidade da vegetação existente (Weng, Lu, & Schubring, 2004). No entanto, subsiste uma grande variabilidade de efeitos que dependem das

características da vegetação, do seu grau de desenvolvimento e até da época do ano (como no caso da vegetação de folha caduca).

Nesta variável considera-se o efeito da existência de vegetação, assumindo-se que com o seu desenvolvimento em diferentes estratos dever-se-á verificar um incremento da interceção da radiação pelas folhas e uma maior intensidade das atividades fotossintéticas, conduzindo a uma atenuação da acumulação da carga térmica no espaço urbano (ex. evapotranspiração), contribuindo para a redução da temperatura do ar.

No âmbito desta metodologia foi considerada uma classificação de 0 a 3, onde 0 representa superfícies sem vegetação, 1 representa superfícies com uma predominância de vegetação herbácea, 2 representa superfícies de vegetação predominante arbustiva e 3 representa superfícies caracterizadas pela existência de vegetação predominantemente arbórea. Desta forma procura-se descrever diferentes níveis de arrefecimento potencial do espaço.

Vegetação Predominante	Potencial de Arrefecimento	Categoria
Sem Vegetação	Nenhum	0
Porte Herbáceo	Baixo	1
Porte Arbustivo	Médio	2
Porte Arbóreo	Alto	3

#### 4.2.4 Fatores dinâmicos

Aos fatores dinâmicos corresponde um conjunto de camadas de informação que descrevem potenciais efeitos da deslocação das massas de ar no espaço urbano. Estes podem estar associados a diferentes tipos de escoamentos atmosféricos, sendo particularmente relevantes os efeitos que resultam da incidência de ventos dominantes e da acumulação de massas de ar frio, efeitos estes particularmente distintos.

Para a definição destes espaços considera-se a classificação do terreno pelo índice de posição topográfica (Topographic Position Index) (TPI). O TPI compara posições altimétricas, tendo por base a média das diferenças existentes entre cada ponto e a altitude média da sua envolvente. Desta forma, é possível determinar a posição média de cada local face ao contexto territorial. Esta abordagem permite determinar se um determinado local se encontra, face a um território mais alargado, num espaço plano, numa depressão ou numa elevação do terreno, o que por sua vez, combinando com os declives, permite diferenciar se se trata de um fundo de vale, uma encosta ou uma cumeada (Jenness, 2006). A seleção da envolvente de referência, em combinação com a dimensão da unidade de matriz, condiciona os resultados desta análise.

Tendo sido testados diferentes alcances para este método, opta-se por recomendar que as análises se façam por comparação com uma envolvente de 2000 metros e sobre uma matriz de 10 por 10 metros (100 m<sup>2</sup>), por ser a que melhores resultados produziu no contexto dos casos de estudo deste projeto. Esta distância de referência é de resto referenciada por Jenness (2006) como um alcance adequado para a interpretação das formas mais amplas da paisagem, como as necessárias à identificação das principais bacias hidrográficas. Contudo, dependendo do

contexto topográfico de cada cidade, o raio de análise poderá ser ajustado para melhor descrever essa realidade.

O TPI, quando considerando o declive, assume uma classificação em seis tipos de formas, e em que o valor 1 corresponde às zonas de cumeada, seguindo-se um conjunto de formas até ao fundos de vale, que assumem o valor de 6.

### ***Incidência de ventos dominantes***

Na definição das zonas de incidência de ventos dominantes consideram-se as zonas expostas aos quadrantes onde estes incidem de modo mais frequente. Na identificação destas formas foram considerados os espaços classificados como cumeadas (nível 1) e as suas primeiras encostas (nível 2). No caso das primeiras encostas, destacam-se os espaços que estão expostos aos quadrantes de ventos dominantes.

### ***Zonas de acumulação de massas de ar frio***

Para a definição das zonas de acumulação de massas de ar frio foram consideradas as zonas de vale, nas quais se acumulam, durante o período noturno, as massas de ar frio, como consequência da sua maior densidade.

Na determinação espacial destes espaços considera-se novamente o TPI, associando estes processos aos espaços correspondentes a fundos de vales (nível 6) e sus primeiras encostas (nível 5).

### ***Espaços de Drenagem de Massas de Ar Frio***

No período noturno, os efeitos de drenagem de massas de ar frio podem ocorrer de modo mais intenso formando brisas noturnas. Esse processo ocorre com uma intensidade relevante em zonas declivosas. Como forma de identificar estes processos consideram-se as encostas com declive superior a 30%.

### ***Potencial interação em efeitos de ventilação - Rugosidade***

Considerando a interação entre os processos de ventilação e o espaço urbano, foram definidos os espaços de potencial alteração por abrandamento, condução, ou outros, do vento. Para a interpretação deste efeito, assumiu-se que quando os valores da rugosidade são superiores a 0,5, o potencial de ocorrência desses processos assume especial relevância.

## ***4.3 Mapeamento Climático***

A combinação das diferentes camadas de informação permite determinar um conjunto de condições típicas que traduzem alterações à escala do clima urbano.

O mapa final apresenta os diferentes processos associados ao clima urbano combinando os seguintes elementos:

- A classificação de espaços em função do seu potencial de aquecimento, que agrupa os diferentes níveis de carga térmica (potencial) em diferentes categorias, das zonas com elevado potencial térmico às zonas potencialmente mais frescas, em presença de vegetação. Esta interpretação relaciona-se em particular com a influência do EICU, o qual assume maior intensidade, no período noturno e em condições de estabilidade.
- Os fatores dinâmicos que incluem a representação de efeitos relacionados com a exposição aos ventos de fundo e aos processos de transporte de massas de ar frio.
- A rugosidade que, tendo como referência a volumetria de elementos espaciais artificiais (edifícios e estruturas) e naturais, determina um conjunto de interações entre os processos dinâmicos e os elementos no terreno, que por sua vez podem ocasionar processos de condução, abrandamento ou outros de interação com as dinâmicas das massas de ar.

### 4.3.1 Carga térmica potencial

O mapeamento da carga térmica potencial assume seis categorias fundamentais dependendo das condições presentes em cada um dos espaços representados. Neste cômputo incluem-se apenas espaços com mais de um hectare de extensão.

#### **Categoria 0:** Aquecimento Residual

Espaços rurais ou peri-urbanos onde a interferência das estruturas urbanas deverá ser residual, pelo que será expectável um comportamento térmico semelhante ao registado no contexto rural. A sua inclusão no domínio de análise urbano poderá estar associado à definição do perímetro urbano, com a inclusão de espaços que ainda não assumiram usos de valências associados a essa condição.

#### **Categoria 1:** Áreas de Transição

Estas zonas correspondem a espaços abertos caracterizados pela presença de vegetação, incluindo parques e jardins de maiores dimensões. Estes espaços apresentam um menor potencial para a ocorrência do EICU, com efeitos sobre a sua envolvente. Nestes produzem-se ainda efeitos positivos de microescala motivados pela presença de vegetação.

#### **Categoria 2:** Baixo Aquecimento

Zonas onde edifício de menor volumetria, com predominância de edifícios unifamiliares, e a presença de solos predominantemente permeáveis refletem um menor potencial de ocorrência do EICU.

#### **Categoria 3:** Aquecimento Médio

Zonas onde se combinam efeitos de impermeabilização e ocupação do solo com maiores expressões volumétricas na ocupação por edifícios do espaço urbano, incrementando o potencial para o incremento da carga térmica.

**Categoria 4:** Aquecimento médio-elevado

A combinação de efeitos de preenchimento por edifícios com a ocupação do espaço com superfícies artificiais, de menor albedo, faz com que se incrementem os processos de produção e acumulação de calor no espaço urbano.

**Categoria 5:** Aquecimento elevado

Nestas zonas é expectável um efeito máximo de acumulação de calor no espaço urbano pela combinação de efeitos resultantes impermeabilização do solo e do elevado volume do espaço edificado.

### 4.3.2 Fatores dinâmicos potenciais

A descrição dos espaços dinâmicos assume dois tipos de representação, em mancha e em setas representando vetores dinâmicos, dependendo do tipo de elemento que se pretende descrever.

**Categoria:** Zonas de elevado potencial de ventilação

Nesta categoria representam-se as zonas que pela sua posição topográfica se encontram mais expostas a ventos dominantes. Estes locais correspondem a cumeadas e encostas expostas a ventos dominantes.

**Categoria:** Zonas de Drenagem de Massas de Ar Frio

Nesta categoria são representados os declives de maior inclinação (superior a 30%), nos quais se formam brisas de drenagem de massas de ar frio durante o período noturno.

**Categoria:** Zonas de acumulação de Massas de Ar Frio

Locais onde potencialmente se verifica a acumulação de massas de ar frio, em pontos baixos da orografia local, gerando processos complementares de drenagem e de formação de brisas.

Estes processos são apresentados assumindo a forma de manchas, representando os espaços de acumulação de massas de ar frio e, complementarmente, com a representação dos fluxos que estão associados à drenagem em espaços de vale.

### 4.3.3 Rugosidade

Tal como definida anteriormente, a rugosidade traduz o potencial de interação entre os elementos presentes no território e os processos de circulação do ar, sejam eles de carácter natural, como sejam obstáculos orográficos ou vegetação, ou artificial, como no caso dos edifícios e outros elementos artificiais.

Para efeitos de mapeamento climático representam-se os espaços de rugosidade potencialmente significativa.

A **Tabela 2** apresenta um resumo da informação contida nas camadas de informação usadas na construção dos mapas de caracterização do clima urbano.

Tabela 2 – Camadas usadas no mapeamento do clima urbano.

	Camada	Efeitos Climáticos	Informação Utilizada	Classificação	N.º de Fatores
A	Volume do Edificado	Acumulação de Calor e Ventilação	Informação dos edifícios e das superfícies	Razão volume/área ( $m^3/m^2$ )	3
B	Impermeabilização da superfície	Acumulação de Calor	Informação da superfície	% da superfície artificial	3
C	Espaços Verdes	Geram espaços mais frescos, podem determinar corredores de ventilação	Informação das superfícies e caracterização da Vegetação	Tipologia de vegetação dominante por estratos	3
Da	Acumulação de massas de ar frio	Zonas mais frias no período noturno	Análise topográfica (TPI)	TPI – Zonas mais baixas face à envolvente	2
Db	Exposição a ventos dominantes	Zonas mais expostas aos efeitos dos ventos dominantes  Zonas mais frescas durante o dia	Análise topográfica (TPI)	TPI – Zonas mais altas face à envolvente  Orientação das encostas	2
E	Zonas de drenagem de massas de ar	Espaços sujeitos a brisas que resultam dos processos de drenagem de massas de ar	Declive (modelo digital de terreno)	Inclinações superiores a 30%	1
Fa	Rugosidade por edifícios	Espaços sujeitos a alterações localizadas da circulação do ar	Índice de Rugosidade ( $Z_0$ )	$Z_0 > 0,5$	1
Fb	Rugosidade por árvores	Espaços a atenuação por zonas florestais	Espaços com vegetação de porte arbóreo dominante		1

#### **4.4 Interpretação do Clima Urbano**

O Mapeamento do Clima Urbano assume a representação de um conjunto de processos que resultam da interação entre os aglomerados urbanos e o clima, incluindo os elementos identificados anteriormente e cuja interpretação depende das características do contexto em análise. e da interpretação dos dados de caracterização do clima local, obtidos por intermédio da rede de monitorização instalada. A validação progressiva desta formulação está dependente da interpretação de dados de caracterização do clima local, obtidos pela rede de monitorização instalada.

As características do espaço urbano motivam um conjunto de interações associadas a processos de escala urbana que podem ser favoráveis ou desfavoráveis em razão das condições climáticas de mesoescala. Nesta perspectiva não é possível discriminar em termos absolutos as condições de clima urbano, pois estas dependem da variação do clima ao longo do ano e inclusive das variações determinadas pelas condições sinóticas, que em ambos casos se encontram condicionadas pelas características de cada núcleo urbano.

O mapeamento do clima urbano assume, assim, a análise das características locais, caso a caso, produzindo mapas singulares. Nesta perspectiva, remete-se para os dois casos de estudo analisados como forma de melhor compreender a integração destes elementos.

No contexto climático do território em que decorre o projeto BIOURB e acrescentando complexidade à leitura dos dados, verifica-se que os efeitos da variação sazonal das características do clima urbano podem resultar em impactos diferenciados na qualidade de vida das populações. Neste particular, poderemos constatar que o incremento de temperatura noturna associado ao EICU pode motivar efeitos contrários dependendo da época do ano. No caso dos meses mais frios, o EICU deverá resultar numa melhoria das condições de conforto térmico no período noturno. Este efeito terá resultados inversos nos meses mais quentes, em que o acréscimo de temperatura poderá resultar num agravamento das condições de conforto térmico.

Igualmente variáveis serão os efeitos que resultam dos processos de acumulação de massas de ar frio ou de ventilação do espaço urbano, que poderão ajudar a atenuar os efeitos do calor excessivo, em períodos mais quentes, mas que têm um efeito negativo nos períodos mais frios do ano, acentuando as consequências das baixas temperaturas.

#### **4.5 Estratégias de Intervenção**

A definição de estratégias de intervenção resulta da análise das características identificadas anteriormente e pode assumir dois tipos fundamentais de abordagens:

- Abordagem corretiva, orientada à intervenção nos espaços urbanos mais consolidados e onde se identifiquem processos climáticos que acarretem impactes para a sustentabilidade urbana (Ex. efeito de ilha de calor urbana ou interação com a acumulação de massas de ar frio);
- Abordagem preventiva assente na definição de estratégias para a adaptação da evolução do espaço urbano às características do território e do clima local.

Ambas as perspetivas foram abordadas no Manual de Desenho Bioclimático, cabendo identificar, no contexto particular dos casos de estudo, quais os mecanismos de intervenção mais adequados e quais as propostas de planeamento que melhor respondam às condicionantes locais.



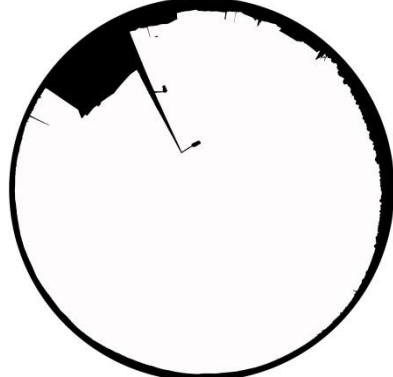
As intervenções para a melhoria do clima local deverão ser devidamente enquadradas tendo como referência os instrumentos de ordenamento do território que orientam os processos de urbanização ou de intervenção sobre o espaço construído.

## 5 Referências Bibliográficas

---

- Acero, J. A. (2012). *Urban climate modelling: Development of urban climate evaluation methods for urban planning purposes*. (PhD), University Kassel.
- Burghard, R., Katzschner, L., Kupski, S., Chao, R., & Spit, T. (2010). Urban Climatic Map of Arnhem City.
- Costa Lobo, M., Pardal, S., Correia, P., & Lobo, M. (1995). Normas urbanísticas-princípios e conceitos fundamentais. Vol. I. 2ª edição. Lisbon, *Direcção Geral do Ordenamento do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Universidade Técnica de Lisboa*.
- Davenport, A. G., Grimmond, C. S. B., Oke, T. R., & Wieringa, J. (2000). *Estimating the roughness of cities and sheltered country*. Paper presented at the 15th conference on probability and statistics in the atmospheric sciences/12th conference on applied climatology, Ashville, NC, American Meteorological Society.
- Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6), 1401-1414. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
- Gómez, F., Gil, L., & Jabaloyes, J. (2004). Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and Environment*, 39(9), 1077-1086. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.001>
- He, J., Liu, J., Zhuang, D., Zhang, W., & Liu, M. (2007). Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology*, 90(3-4), 217-226.
- Jenness, J. (2006). Topographic Position Index (tpi\_jen. avx) extension for ArcView 3. x, v. 1.3 a. Jenness Enterprises.
- Ng, E., Katzschner, L., & Wang, U. (2007). Initial Methodology of Urban Climatic Mapping – Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment. Feasibility Study. In T. R. f. P. Department (Ed.): HKSAR.
- Ng, E., Katzschner, L., Wang, U., Ren, C., & Chen, L. (2008). Working Paper No. 1A: draft urban climatic analysis map–urban climatic map and standards for wind environment–feasibility study: Technical Report for Planning Department HKSAR. Report No. WP1A. Planning Department of Hong Kong Government: Hong Kong.
- Oke, T. R. (2006). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. In WHO (Ed.), *Instruments and Observing Methods*: World Health Organization.
- Ren, C., Ng, E. Y.-y., & Katzschner, L. (2010). Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a. doi: 10.1002/joc.2237
- Scherer, D., Fehrenbach, U., 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(24), 4185-4193.
- Voogt, J. (2007). [How Researchers Measure Urban Heat Islands].
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

## Anexo 1 - Ficha de Caracterização dos Pontos de Monitorização (Exemplo)

Vista aérea		Fotografia		Fotografia de Olho de Peixe	
					
Características Locais (Raio – 25m)					
SVF	Rugosidade	Albedo médio (%)	% Superfície artificial	Land Form Slop	LandForm
0,98	0,34	15 - 25	23	Midle Slope	Open Slope
<b>Zona Climática:</b>		<i>Espaços de Transição Urbano-Rural (TUR)</i>			
<p>Notas: Trata-se de um espaço no limite do perímetro urbano, em cuja envolvente se encontram maioritariamente espaços com vegetação herbácea e algum asfalto. Um edifício plurifamiliar está presente nas imediações. O local situa-se sobre uma encosta exposta a Norte.</p>					

## Anexos 2 - Metodologias para o tratamento de dados em Sistemas de Informação Geográfica

---

## ***Definição de Isolinhas (Software ArcGis 9.2)***

---

No âmbito desta tarefa, desenvolvem-se o seguinte conjunto de atividades:

1. Criar um ficheiro de dados georreferenciados (Shape) com os dados correspondentes aos pontos da rede de monitorização. A informação deve estar organizada para conter as coordenadas dos diferentes pontos de medição e nas abcissas os diferentes parâmetros que se pretende utilizar.
2. Ativar a extensão “Geo statistical Analyst” e selecionar “Geo statistical Wizard”. Na opção “Methods” selecionar “Kriging”, identificando o ficheiro de dados (shapefile) onde se encontram organizados os dados de monitorização. Definir por fim a variável que se pretende analisar (“Attribute”) e seguir (“Next”).
3. Na opção “Geo statistical Methods”, escolher “Ordinary Kriging”, “Prediction Map”, manter os restantes parâmetros e prosseguir (“Next”).
4. Na etapa de “Semivariogram/Covariance Modeling”, as ferramentas de geoestatística disponibilizadas neste software conduzem a um possível ajustamento dos parâmetros de análise, podendo optar-se por manter as definições padrão.
5. Na etapa seguinte, acionar a opção “Surface” no menu “Preview type”, por forma a obter uma pré-visualização do mapa que irá ser originado. Este é um procedimento importante, na medida em que é também recomendável uma “suavização” ao nível da extrapolação dos dados, selecionando-se um fator de 1 no menu “Smooth”. Uma vez definidos todos os parâmetros, basta fazer “Finish” para completar o processo de krigagem.

## ***Mapeamento do Índice Volumétrico (Software ArcGis 9.2)***

---

Informação geográfica utilizada:

- Edificado (shapefile), incluindo a altura dos edifícios;
- Limites das zonas climáticas locais (shapefile).

**Procedimento:**

- 1 – Calcular a área de implantação dos edifícios. Função “Calculate Geometry”.
- 2 – Calcular o volume do edificado (v) pela projeção vertical dos edifícios a partir da área de implantação dos edifícios. Função “Calculate Field”.
- 3 – Calcular o índice volumétrico ( $I_v$ ). Função “Calculate Field”.

4 – Distribuir os valores pelos intervalos de percentagens ajustados à variação do ocupação, recorrendo à função “Select By Attributes”, por forma a categorizá-los numa escala de 0 a 3, valores estes disponibilizados num novo campo da tabela.

### ***Mapeamento da Percentagem de ocupação do terreno***

---

Informação geográfica utilizada:

- Edificado (shapefile)
- Limites das zonas climáticas locais (shapefile)

Procedimentos:

1 – Calcular as áreas na shape dos limites das zonas climáticas locais, adicionando um campo à tabela e posteriormente aplicando a função “Calculate Geometry”.

2 – Introduzir um novo campo na tabela (Limites das zonas climáticas locais) para o cálculo da fração de superfície do edificado no qual, mediante a função “Field Calculator”, é feita a divisão da área do edificado sobre a área da superfície utilizada, convertido para percentagem.

3 – Distribuir as percentagens pelos intervalos apresentados na tabela acima, recorrendo à função “Select By Attributes”, por forma a categorizá-los numa escala de 0 a 3, valores estes disponibilizados num novo campo da tabela.

### ***Mapeamento dos efeitos da vegetação***

---

Informação geográfica utilizada:

- COS 2007 (shapefile)
- Global Envolvente (shapefile)

Procedimentos:

1 – Identificar ou criar uma shape com dados da caracterização do coberto vegetal. Neste projecto utilizaram-se dados da base COS 2007 combinados com a fotointerpretação de ortofotomapas.

2 - Criar um novo campo na tabela (“**Add Field**”) para categorização (**0 a 3**) do potencial de arrefecimento dos espaços verdes.

3 – Mediante o critério onde 0 representa superfícies sem vegetação, 1 representa superfícies com uma predominância de vegetação herbácea, 2 representa superfícies de vegetação arbustiva predominante e 3 representa superfícies predominantemente caracterizadas pela existência de vegetação arbórea, classificar cada mancha recorrendo ao campo da tabela “Uso” para definirmos que usos do solo pertencem a cada uma das 4 categorias acima enunciadas. Este procedimento recorre igualmente às funções “**Select By Attributes**” (para selecionar os diferentes tipos de uso) para posteriormente efetuar a distribuição dos usos pelas diferentes categorias de vegetação predominante.

## ***TPI – Topographic Position Index (Esri ArcGis 9.2 e ArcView 3.2)***

---

### **Informação geográfica utilizada:**

- TIN dataset (raster) – Modelo Digital do Terreno

### **Procedimentos:**

1- O **Topographic Position Index (TPI)** parte de uma base cartográfica onde esteja representada a elevação do terreno que, neste caso, é uma TIN gerada a partir das curvas de nível da área de estudo pelo que a adição desta informação a um projeto em ambiente ArcView 3.2 deve constituir a primeira tarefa a ser executada.

2 – No menu “**File**”, activar a extensão “**Topographic Position Index**”.

3- No menu “**TPI**”, seleccionar a opção “**Generate Topographic Position Index**”.

4 – Definir “a vizinhança” na opção “**Define Neighborhood**”, onde será definido o raio de análise pretendido.

5 – No menu “**TPI**”, seleccionar “**Generate Slope Position Classification**” e depois “**Use existing TPI themes**”, por forma a definir as classes presentes no TPI da área em estudo, com uma classificação de **1 a 6**.



**biourb**  
diversidad | e bioconstructiva



PROGRAMA  
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA  
ESPAÑA ~ PORTUGAL  
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA  
2007 - 2013

Unión Europea  
FEDER  
Invertimos en su futuro

