



G

TRUNFOS DE UMA  
**EOGRAFIA ACTIVA**

DESENVOLVIMENTO LOCAL,  
AMBIENTE,  
ORDENAMENTO  
E TECNOLOGIA

**Norberto Santos**  
**Lúcio Cunha**

COORDENAÇÃO

EXTENSÃO TEMPORAL E MAGNITUDE MÁXIMA DA ILHA DE CALOR URBANO  
– ESTUDO DE CASO EM PARANHOS, PORTO

1. INTRODUÇÃO

Componente fundamental do suporte biogeofísico de grande parte da população mundial, a atmosfera urbana é hoje um tema incontornável: cerca de 48,6% da população mundial vive em cidades<sup>1</sup> e estima-se que a taxa de urbanização continue a crescer. Numa perspectiva socioambiental, as novas políticas urbanas devem responder de forma eficaz à complexa tarefa de gerir o território no sentido da melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, pelo que se torna premente aproximar sustentabilidade e governança<sup>2</sup>.

As actividades antrópicas têm contribuído para modificar o comportamento de diversos elementos do sistema climático<sup>3</sup>, nomeadamente a temperatura do ar exterior, a velocidade do vento, a humidade, a nebulosidade e a precipitação. É sobretudo ao nível das escalas mais finas –escalas locais e microescalas– e sob uma visão sistémica da Climatologia<sup>4</sup>, que esses efeitos se tornam mais perceptíveis.

Ao longo dos tempos, foram sendo realizados estudos com o objectivo de demonstrar a existência de ilha de calor urbano em diversas cidades do mundo<sup>5</sup>. Especialmente favorecida em situações sinópticas de maior estabilidade, a Ilha de Calor Urbano (ICU) é um fenómeno associado ao aumento da temperatura nas zonas urbanas em relação às áreas circundantes não urbanizadas<sup>6</sup>, resultante da alteração do balanço energético local: o menor

---

<sup>1</sup> CIA-The World Factbook, (2005).

<sup>2</sup> Fernandes, J.A.R., Urbanismo sustentável: pela redução, reciclagem e reutilização da cidade. Revista da FLUP, II Série, Volume I, 2007, pp. 161-176.

<sup>3</sup> Cf. Relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Citado por MONTEIRO, A., Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia, Territorium, Minerva, Coimbra, 1995, pág. 55.

<sup>4</sup> A. Koestler citado por C. Monteiro, 1976.

<sup>5</sup> Londres, Chandler, 1965; Nova Iorque, Bornstein, 1968; St. Louis, Changnon Jr., 1978; Montreal, T. Oke, 1975; Columbia, Maryland, Landsberg, 1979; Uppsala, A. Sunborg, 1950 e R. Taesler, 1980; Madrid, A. López Gómez, 1984; Lisboa, M.J. Alcoforado, 1986; Porto, A. Monteiro, 1993; Coimbra, Ganho, N., 1995.

<sup>6</sup> Oke, T.R, The process of urbanization produces radical changes in the nature of the surface and atmospheric properties of a region. It involves the transformation of the radiative, thermal, moisture and aerodynamic characteristics and thereby dislocates the natural solar and hydrologic balances, Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 272.

arrefecimento urbano, ao final da tarde e à noite, traduz-se numa temperatura mínima<sup>7</sup> na cidade, mais alta do que na área rural envolvente; mas a área urbana demora mais a aquecer depois do nascer do sol, pelo que sobretudo de manhã, podem verificar-se “ilhas de frescura”, isto é, a relação  $\Delta T_{u-r}$  pode até ser negativa<sup>8</sup>.

Paranhos, a área de estudo deste trabalho, localiza-se na parte NE da cidade do Porto, na fachada atlântica do NW da Península Ibérica, num território da margem meridional da zona temperada; sofre influências da circulação proveniente do norte de África, enquadrando-se, segundo M.J.Alcoforado<sup>9</sup>, no domínio bioclimático atlântico, mas revelando também características climáticas da grande variabilidade tipicamente mediterrânica; é parte integrante de uma Grande Área Metropolitana com cerca de 1 500 000 habitantes (2005).

Num estudo sobre a ocorrência de Ilha de Calor Urbano em distintos locais da área de Paranhos, efectuado em 2005<sup>10</sup> e baseado em medições itinerantes, tivemos oportunidade de corroborar, a uma escala mais fina, os resultados de estudos anteriores<sup>11 12</sup> levados a cabo na cidade do Porto. Neste trabalho pretendemos efectuar um estudo descritivo e estatístico da evolução da magnitude máxima e da extensão espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (ICU) e estabelecer as relações entre as principais propriedades da ICU e as situações sinópticas que lhe estão associadas<sup>13</sup>. Procedemos à recolha de dados térmicos em 6 postos fixos, segundo cortes aproximadamente N-S e W-E, em espaços da cidade com diferentes características. Seguimos uma metodologia que anula o efeito do factor altitude<sup>14</sup> na variação térmica, dada a nossa convicção de que essa anulação<sup>15</sup> nos permitirá evidenciar com rigor a real magnitude e a efectiva evolução temporal da Ilha de Calor Urbano. Relativamente ao método clássico de aquisição de dados, a informação que se perde com esta metodologia em termos de extensão espacial, é compensada com a mais-valia da determinação da extensão temporal e da possibilidade de captar não só a magnitude máxima da ICU nos pontos de medição, mas ainda de verificar a evolução diária da referida magnitude.

---

<sup>7</sup> Na bibliografia temática, são sobretudo os reflexos da urbanização nas temperaturas mínimas os temas mais estudados, mas as consequências da artificialidade provocada pelo meio urbano afectam também muitos outros elementos climáticos. C f. MONTEIRO, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág.207/208.

<sup>8</sup> OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 291.

<sup>9</sup> Conjuntamente com outros autores (M. J. Alcoforado *et al.*, 1982) foram combinados os índices de Gausson e Emberger para definir cinco domínios climáticos com base nos dias biologicamente secos..

<sup>10</sup> Balkestähl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>11</sup> Monteiro, Ana., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.

<sup>12</sup> Góis, Joaquim, *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*, FEUP, Porto, 2002.

<sup>13</sup> Balkestähl, L., *Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano*, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009.

<sup>14</sup> Andersson, K., C., Ekeblad, *Högsommardagar i Sverige 1917-2003*. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Gotemburgo, 2004.

<sup>15</sup> A maior parte dos primeiros estudos sobre ilha de calor urbano realizaram-se em cidades caracterizadas por topografia bastante uniforme mas justifica-se esta metodologia dado que a cidade do Porto apresenta diferenças de altitude razoáveis e é conveniente reportar os dados a um referencial comum.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Aquisição de dados

Procedeu-se à aquisição de dados horários, coincidentes com as horas das observações da estação de referência Aeroporto-Pedras Rubras, de 21/08/2004 a 17/02/2005<sup>16</sup>, através de sondas armazenadoras de dados de tipo datalogger TINYtalk<sup>17</sup> (Fig. 1), período suficientemente longo para ser representativo de diferentes estados de tempo<sup>18</sup>, em diversas épocas do ano<sup>19</sup>.

837

Figura 1- Posto fixo de medição (Covelo); sonda térmica TINYtalk utilizada nos postos fixos



### 2.2. Crítica e compilação/Tratamento preliminar

2.2.1. - Os dados adquiridos foram compilados em folha de EXCEL numa tabela da qual constam as temperaturas medidas hora a hora, as altitudes dos 6 postos fixos e os dados térmicos da estação de referência.

2.2.2. – Procedeu-se à correcção da temperatura ao nível do mar<sup>20</sup> segundo a expressão:

$$\theta = T_{\text{corr}} = T + \Delta z * 0,98/100$$

em que  $\theta$  é a temperatura potencial e  $\Delta z$  é a altitude acima do nível médio das águas do mar, sendo os dados compilados em nova folha de EXCEL (Tabela 1).

<sup>16</sup> A aquisição efectiva de dados entre 04/04-2004 e 24/08-2005, mas sem registos contínuos.

<sup>17</sup> Futuramente serão utilizados dataloggers do tipo Tinytag e sondas armazenadoras de dados modelo Tinytag Plus 2; estes últimos registam também humidade relativa.

<sup>18</sup> Balkestahl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesler, R., Quenol, H., The influence of weather types on the urban heat island's magnitude and patterns at Oporto—a case study from November 2003 to January 2005, 6<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate Juni 2006, Göteborg, Sweden, 2006.

<sup>19</sup> Gravaram-se dados meteorológicos da estação de referência, fotos de satélite NOAA-17 e cartas sinópticas de superfície, DWD e Met Office.

<sup>20</sup> Objectivos da correcção adiabática: nivelar as temperaturas a um referencial comum, anular o efeito da altitude e evidenciar os efeitos dos outros factores condicionantes; optou-se pelo nível médio das águas do mar por ser um referencial internacionalmente utilizado. A ICU dificilmente ocorre com adiabática húmida, daí o uso do valor de gradiente 0,98°C.

2.2.3. – Procedeu-se em seguida ao cálculo dos devios térmicos urbanos hora a hora, para cada posto de medição, de acordo com:

$$(\Delta\theta)_U = \theta - \theta_{\text{aerop}}$$

838

Estes resultados<sup>21</sup> foram transferidos para nova tabela de EXCEL (Tabela 2). Como critério para a existência de ICU nocturna, definimos preliminarmente que é satisfeita, em algum momento e em algum posto de medição, a seguinte condição<sup>22</sup>:

$$(\Delta\theta)_U \geq + 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.2.4. – Calcularam-se os valores do *sky view-factor* tridimensional<sup>23</sup> ( $\Psi_s$ ), segundo o método preconizado por T. R. Oke (1981)<sup>24</sup> e a cada local de medição atribuiu-se o respectivo valor. Procurámos definir também uma medida para a *influência integrada do edificado* circundante, nos valores da temperatura, recorrendo à medida que foi utilizada por nós em trabalho anterior<sup>25</sup>, designada por *densidade de edifícios* ( $D_B$ )<sup>26</sup>.

				A-125m	B-139m	C-148m	D-130m	E-115m	G-141m	Aerop-77m
Data		Hora		$\Theta$ °C						
21	08	2004	12:00	25,7	23,0	23,8	29,7	25,9	28,8	24,8
21	08	2004	13:00	28,6	26,2	25,6	32,0	26,3	29,8	24,8
...	...	...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
17	02	2005	23:00	8,1	9,1	9,2	7,5	8,4	7,6	7,8
18	02	2005	00:00	7,7	8,7	8,8	7,8	7,6	7,6	6,8

				$(\Theta_i - \Theta_{\text{aerop}})$						Vento(MPH)	Média
Data		Hora		A-125m	B-139m	C-148m	D-130m	E-115m	G-141m	Direc/ Veloc	ICU $\Delta\Theta$ °C
Data		Hora		$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C		
21	08	2004	12:00	1,0	-1,8	-1,0	4,9	1,2	4,0	NW 8	1,4
21	08	2004	13:00	3,9	1,4	0,8	7,2	1,6	5,0	NNW 12	3,3
...	..	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
17	02	2005	23:00	0,4	1,3	1,4	-0,3	0,7	-0,2		0,5
18	02	2005	00:00	1,0	1,9	2,0	1,0	0,9	0,8		1,3

<sup>21</sup> Para a interpretação dos fenómenos em estudo foram também utilizados, além dos valores de temperatura, dados horários de direcção/velocidade do vento, pressão atmosférica, nebulosidade e humidade relativa.

<sup>22</sup> Posteriormente pode reconsiderar-se este critério, uma vez que situações de ICU significativas, quer no espaço quer no tempo, ficaram excluídas da análise perante a sua utilização.

<sup>23</sup> Razão H/W: H corresponde à altura dos edifícios dos dois lados da via, W à largura das ruas.

<sup>24</sup> Oke, T.R., Journal of Climatology, Vol. 1, pp 237-254, 1981.

<sup>25</sup> Balkestahl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>26</sup> Refere-se ao n° de edifícios/hm<sup>2</sup> (pode obter-se uma medida alternativa através do somatório do valor do indicador  $D_B$  no sentido descendente da direcção do vento desde o limite da área edificada até ao ponto com o valor máximo; no entanto, isso implica que cada ponto de medição assume diferentes valores de  $D_B$ , dependendo da direcção do vento, mas esta medida ainda não foi posta à prova e necessita de ser testada por nós antes da sua utilização).

### 3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO E ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 3.1. Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano

1º Procedimento:

- i) Atribuição a cada local de medição dos valores de *sky view-factor* e de *densidade do edificado* ( $D_B$ ) circundante;
- ii) Especificação, para cada situação de ilha de calor, do ponto de medição que apresenta  $((\Delta\theta)_U)_{\max}$ .

Os dados em análise estão compilados na Tabela 3: durante os 180 dias observados, segundo o critério  $(\Delta\theta)_U \geq +2^\circ\text{C}$ , verificaram-se cem situações de ocorrência de ICU nocturna que foram seleccionadas para análise. A distribuição das situações de máxima intensidade de ICU nocturna evidenciou a seguinte correspondência: 1% no posto de medição E, 3% no A, 16% no B e 80% no C<sup>27</sup>. Quanto à frequência de situações sinópticas, verificou-se o predomínio de episódios de máxima intensidade de ICU perante Anticiclone Atlântico (63%), logo seguidas das situações de Depressão centrada na Península Ibérica e de Anticiclone Continental (respectivamente 15% e 13%).

Tabela 3-Relação $((\Delta\theta)_U)_{\max}$ e situação sinóptica						$(\theta_i - \theta_{\text{airport}})$		
Posto	Data			Hora	Situação sinóptica	$((\Delta\theta)_U)_{\max} \text{ } ^\circ\text{C}$	Sky view	Dens. Edif.
							factor ( $\Psi_S$ )	(Edif./hm <sup>2</sup> )
C-148m	22	08	2004	02:00	AC, Atl. ac	4,5	0,35	20
C-148m	24	08	2004	03:00	AC, Atl. ac	3,0	0,35	20
.....	..	....	....	....	.....	.....	.....	.....
B-139m	15	02	2005	02:00	ac (AC Atl)	2,8	0,64	12
C-148m	16	02	2005	05:00	AC Atl cc	3,5	0,35	20

#### 3.2. Extensão temporal e magnitude máxima da Ilha de Calor Urbano

2º Procedimento:

- i) Cálculo das médias de  $(\Delta\theta)_U$  do conjunto dos 6 postos fixos, hora a hora;
- ii) Construção de gráficos representativos das médias de  $(\Delta\theta)_U$  referentes aos 6 postos fixos, hora a hora, em diversos períodos.

Os vários gráficos elaborados com base nas médias de  $(\Delta\theta)_U$  dos 6 postos fixos, hora a hora (exemplo do Gráfico 1), revelam uma imagem média, suavizada, das características da variação temporal diária da intensidade da ilha de calor, evidenciando um padrão temporal que se repete diariamente, durante os períodos considerados, com algumas diferenças sazonais.

3º Procedimento:

- i) Compilação de dados/construção de matrizes para ciclos de 24 horas, das 12 às 12, correspondentes a cada «dia completo» de ilha de calor (encontraram-se  $N_d$  dias com ilha de calor nocturna e diurna).

<sup>27</sup> Os resultados estatísticos simples caracterizadores do comportamento térmico de cada posto de medição já foram objecto de estudo em trabalho anterior: Balkestahl, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009.

- ii) Construção da Tabela 4 com dados dos ciclos de 24 horas, das 12 às 12, para cada dia em análise e cálculo das respectivas médias dos desvios relativos ao conjunto de todos os dias, em cada hora (média horizontal) e de cada dia de ciclo de 24 horas (média vertical).
- iii) Construção de diagramas representativos das médias de  $(\Delta\theta)_U$  referentes ao conjunto de todos os dias, em cada hora, em ciclos de 24 horas.

Especificaram-se as datas de cada ocorrência e extraíram-se da matriz os valores máximos de intensidade da ICU. Analisaram-se os dados de velocidade e direcção do vento<sup>28</sup> dominantes em cada dia. A Tabela 4 e o Diagrama 3 revelam que a ICU é mais intensa durante o dia, entre as 16h00/18h00, antes do pôr do sol; os valores das anomalias térmicas reduzem-se durante a noite e a madrugada para um nível mais ou menos constante, pouco elevado; durante um período relativamente curto após o nascer do sol, as anomalias térmicas assumem valores muito baixos, na generalidade negativos, evidenciando a forte variabilidade da ICU diurna/nocturna *vs* «ilha de frio» e respectivas magnitudes.

Em relação à magnitude da ICU, é nos meses de Verão e início de Outono que ocorrem as anomalias nocturnas de valor mais elevado (8% de desvios superiores a +5°C entre Agosto e Outubro, inclusivé), enquanto os meses mais frios apresentam menos ocorrências (somente 5% de desvios superiores a +5°C entre Novembro e Fevereiro, inclusivé). Não é conveniente extrair mais conclusões quanto à distribuição anual/sazonal das ocorrências, dado o período de duração da recolha de dados não ter sido suficientemente extenso.

Quanto à evolução temporal diária, verifica-se que a ICU nocturna de maior intensidade ocorre cerca de 3 a 5 horas após o pôr do sol e atenua-se mais ou menos lentamente após uma a duas horas depois do seu aparecimento, mantendo valores baixos, mas constantes. No entanto, verificaram-se casos que merecem ser aprofundados, em que a ICU nocturna, dependendo sobretudo da velocidade do vento, mas também da direcção, pode prolongar-se no tempo; há casos em que a ICU se prolonga até às 02h00 ou mesmo 05h00, com valores máximos a essas horas tardias, o que habitualmente só se verifica em situações de calmaria ou vento muito fraco.

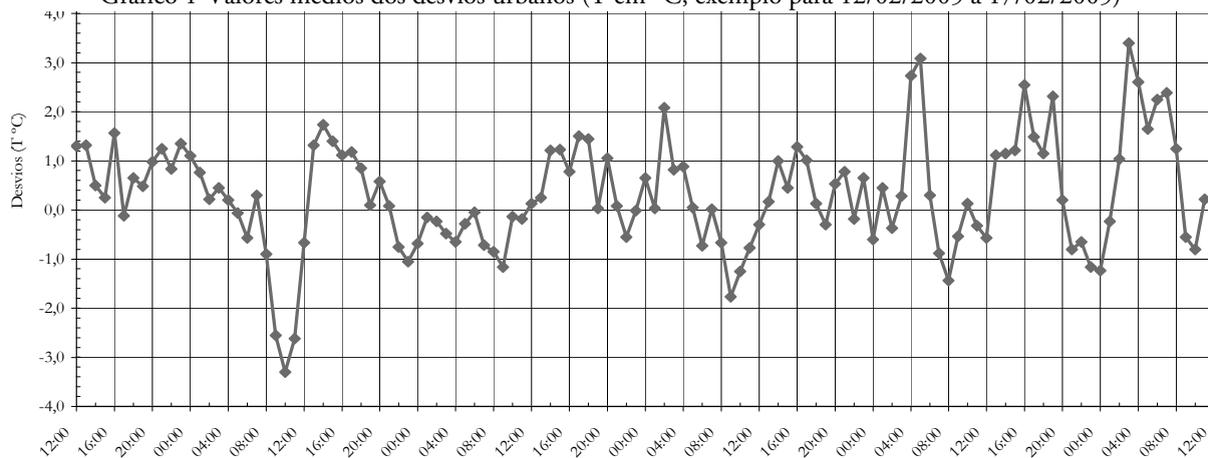
#### 4. DISCUSSÃO

Concluimos que as ocorrências de ICU nocturna de magnitude considerável se verificam sobretudo nas áreas mais antigas da área de estudo, com maior densidade de edifícios e menor *svf*; como se verifica no posto C. No posto de medição B há o segundo maior número de situações de máxima intensidade de ICU, devido ao elevado valor de densidade de edifícios, apesar de o *svf* ser também relativamente elevado<sup>29</sup>. Verificam-se poucas ocorrências de máxima intensidade de ICU nocturna no posto A, provavelmente por se tratar de um quarteirão caracterizado por pequenas vivendas unifamiliares, baixas e rodeadas por logradouros extensos o que favorece o arejamento e impede a acumulação/retenção de energia (quer pelos materiais constituintes, quer pela distância entre o edificado).

<sup>28</sup> A direcção do vento é fundamental para posteriormente, no decorrer da futura investigação, poder ser usada na divisão dos resultados em classes distintas. Em alguns casos é difícil determinar/eleger “a direcção dominante” do vento (nesses casos optou-se pelo critério de escolher a direcção de vento que tiver prevalecido durante as últimas horas imediatamente anteriores ao máximo valor de  $(\Delta\theta)_U$ ).

<sup>29</sup> A rua é muito assimétrica e os edifícios de paredes mais altas estão orientadas a Oeste, o que deve ter um papel importante no aquecimento/manutenção do calor mais tardios.

Gráfico 1-Valores médios dos desvios urbanos (T em °C, exemplo para 12/02/2005 a 17/02/2005)



Ano	Tabela 4-Médias dos desvios urbanos potenciais ( $\Delta\Theta$ °C), em cada hora, exemplo de 17 dias, 21 Agosto-06 Setembro 2004																	
2004	Datas																	
Hora	21/8	22/8	23/8	24/8	25/8	26/8	27/8	28/8	29/8	30/8	31/8	1/9	2/9	3/9	4/9	/95	6/9	Média
12:00	1,4	2,3	2,1	-0,2	2,6	2,4	4,0	1,9	0,8	2,9	1,5	1,3	-0,2	3,9	2,1	0,0	0,7	1,73
13:00	3,3	2,5	1,8	1,5	3,4	3,6	4,9	0,0	1,0	4,4	2,5	2,9	2,7	3,1	2,7	1,0	2,6	2,58
.....																		
11:00	0,3	0,4	-2,5	0,8	-0,1	2,8	-0,6	0,9	-0,9	-1,5	0,2	-1,2	4,2	-1,0	0,6	-0,3	0,9	0,18
12:00	2,3	2,1	-0,2	2,6	2,4	4,0	1,9	0,8	2,9	1,5	1,3	-0,2	3,9	2,1	0,0	0,7	-1,0	1,59
Média	1,8	1,0	1,1	1,7	2,0	2,9	2,0	1,2	1,1	1,3	0,9	0,8	1,5	1,1	0,9	0,9	0,9	1,36

Os maiores valores de *svf* e as menores densidades de edifícios correspondem aos postos D e G, que não apresentam ocorrências, e ao posto E onde somente se verifica uma situação de máxima intensidade de ICU. Em geral, as situações sinóticas de estabilidade potenciam e as de instabilidade inibem a existência da ICU nocturna<sup>1</sup>: em situação de estabilidade, com Anticiclone centrado no Atlântico geralmente a N ou a NW da Península Ibérica, é potenciada a ICU<sup>2</sup>, com valores de desvios muito variáveis; em situação de estabilidade, com Anticiclone centrado no Continente, ocorre a formação de ilha de calor em dias de calma ou vento fraco (<3m/s), com valores de desvios geralmente elevados (dias 09/12, 14/12 e 23/12- 2004).

Na área de estudo, a magnitude e a extensão temporal da ICU nocturna são muito variáveis: de +2,0°C<sup>3</sup> a +7,1°C de magnitude e entre 1 a 8 horas de duração. Na maioria dos casos o início da ICU ocorre entre 3 a 4 horas após o pôr do sol, mas verificam-se outras situações, quer mais cedo, quer mais tarde. Os episódios de ICU de maior extensão territorial coincidem em geral com os de maior extensão temporal; por sua vez, ambos coincidem geralmente com magnitudes elevadas, muitas vezes superiores a +4°C (exemplos dos episódios de 22/08 e 26/08, 17/09 e 21/09-2004 e 20/01 e 09/02-2005). Quando a ICU nocturna é territorialmente muito localizada, por vezes confinada unicamente ao posto C e/ou B, apresenta em geral curta duração e baixa magnitude (exemplos dos episódios de 29/08, 07/09, 11/10-2004 e 17/01, 11/02 e 12/02-2005).

As médias dos desvios urbanos potenciais horários para os dois períodos parcelares em análise (6 dias em Agosto/2004 e 6 dias em Fevereiro/2005) revelam o seguinte padrão médio diário: geralmente a ICU média diurna apresenta, entre as 13h00 e as 20h00, valores elevados e relativamente regulares (> +2°C no mês de Verão e de cerca de +1°C no mês de Inverno, mas neste caso com menor regularidade); a ICU média nocturna apresenta geralmente valores bastante mais baixos mas que se mantém regulares durante a noite e a madrugada, até próximo do nascer do sol, especialmente no mês de Verão; após o nascer do sol, os valores dos desvios potenciais médios baixam consideravelmente, ocorrendo recorrentemente «ilhas de frio» até aproximadamente ao meio/fim da manhã (até às 10h00/11h00).

Quanto aos ciclos de 24 horas (12 às 12 horas) correspondentes a cada «dia completo» de ilha de calor, para os 17 dias em análise (dias de Verão de 21 Agosto-06 Setembro 2004), verificou-se que as médias dos desvios urbanos potenciais diários variam entre +0,8°C e +2,9°C. Para o mesmo período de 17 dias, verificou-se que os valores dos desvios médios de cada hora variam entre o valor mais elevado de +3,8°C e o valor mais baixo de -2,1°C. Os valores médios da ICU assim obtidos revelam que a ilha de calor diurna apresenta elevada magnitude por volta das 16h00-18h00, até antes do pôr do sol; baixa durante a noite até valores próximos de +1°C e mantém-se nesses níveis de forma mais ou menos constante durante a madrugada, para descer abruptamente para valores negativos bastante baixos, após o nascer do sol.

<sup>1</sup> No entanto, esta relação não é linear pois algumas das situações de relativa instabilidade, desde que associadas a baixas velocidades do vento, não só potenciam como até podem originar situações de ICU de magnitude elevada, como se verifica nos dias 22 e 23 de Setembro de 2004.

<sup>2</sup> Balkeståhl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesler, R., Quenol, H., The influence of weather types on the urban heat island's magnitude and patterns at Oporto—a case study from November 2003 to January 2005, 6<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate Juni 2006, Göteborg, Sweden, 2006.

<sup>3</sup> Recorde-se que o limite inferior de +2°C depende do critério por nós estabelecido.

Durante o processo de investigação verificámos situações interessantes de ICU de baixa magnitude, pelo que ponderamos não excluir os exemplos de ilhas de calor pelo menos até ao limite inferior de +1°C. Ponderamos vir a construir, com recurso a metodologias comparadas no âmbito da geoestatística e de SIG, mapas e gráficos caracterizadores do comportamento espacial das variáveis em estudo. Dado que as abordagens geoestatísticas preconizadas já foram, em parte, desenvolvidas e aplicadas em trabalhos anteriores, serão a partir daqui generalizadas às novas variáveis. Estes resultados preliminares estão de acordo com o expectável, no que diz respeito à ICU nocturna, da madrugada e à «ilha de frio» após o nascer do sol<sup>4</sup>; no entanto, os elevados valores obtidos para os desvios da ICU diurna deverão ser objecto de aprofundamento durante o prosseguimento da investigação; alargaremos o perímetro da Freguesia de Paranhos, no sentido de que abranja também outras áreas mais densamente ocupadas da cidade do Porto, aplicando esta mesma metodologia. Pretendemos prosseguir a nossa investigação no sentido da Climatologia Urbana Aplicada, sobretudo no que se refere às questões específicas das escalas espaciais mais finas (topoclimáticas e microclimáticas).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoforado, M. J., “O Clima da Região de Lisboa-Contrastes e Ritmos Térmicos”, CEG da UL, Lisboa, 1993.
- Alcoforado, M. J., Alegria, M. F., Pereira, Ana R., Sirgado, C., Domínios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gausson e de Emberger, Linha de Acção de Geografia Física, Relatório n.º 14, Centro de Estudos Geográficos, I.N.I.C., Lisboa, 1982.
- Andersson, K., C., Ekeblad, Högsommardagar i Sverige 1917-2003. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Göteborg, 2004.
- Araújo, M. Assunção F.P.-“ Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral da Região do Porto, FLUP, Porto, 1991.
- Balkesthål, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009.
- Balkesthål, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.
- Balkesthål, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesler, R. Quenol, H., The influence of weather types on the urban heat island's magnitude and patterns at Oporto—a case study from November 2003 to January 2005. Preprints 6<sup>th</sup>Int. Conf. on Urban Climate, Juni 2006, Gotemburgo, 2006.
- Balkesthål, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesler, The sky view factor as an indicator for urbanization effects: case study in Paranhos, Porto. Oslo, 2007.
- Bergström, H., Vindpotentialen i Sverige på 1 Km-skala. Institutionen för geovetenskap, luft och vattenlära. Uppsala Universitet, 2007.
- Fernandes, J. A. R., Urbanismo sustentável: pela redução, reciclagem e reutilização da cidade. Revista da FLUP, II Série, Volume I, 2007 pp. 161-176.
- Ganho, N., “A ilha de calor de Coimbra sob diferentes condições de tempo de verão”. Territorium, Coimbra, 1995, 2, p.33-50.
- Góis, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, Porto, 2002.
- Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.
- Monteiro, A., “A Climatologia como componente essencial no diagnóstico e na avaliação dos impactes ambientais em espaços urbanizados. O caso da cidade do Porto”. Territorium, Coimbra, 1994, 1, p.17-22.

---

<sup>4</sup> Cf. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 291, “...a área urbana leva mais tempo a aquecer depois do nascer-do-sol ... podendo verificar-se a ocorrência de “ilhas de frescura”, ... isto é, a relação  $\Delta T_{ur}$  pode até ser negativa”.

- Monteiro, A., "Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia- um estudo de caso no Porto". Territorium, Coimbra, 1995, 2, p.51-63.
- Oke, T.R., Journal of Climatology, Vol. 1, pp 237-254, 1981.
- Oke, T.R., Boundary layer climates, Routledge, London and New York, 1987.
- Quenol, H., Modifications Climatiques aux Echelles Fines Générées par un Ouvrage Linéaire en Remblai, USTL, Lille, France, 2002.
- Ramos, Catarina, Tipos de Anticiclones e Ritmo Climático de Portugal, Centro de Estudos Geográficos, INIC Lisboa 1986.
- Taesler, Roger, "Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala", Relatório Nº 61, Uppsala, 1980.
- Taesler, Roger, Lokalmeteorologiska förhållanden i Västra Ängby, Knivsta, Rapport R 110:1978, Byggeforskningen, Stockholm, 1978.
- Taesler, Roger, Observational Studies of Three-Dimensional Temperature-and Windfields in Uppsala, WMO-Symposium on Boundary-Layer Physics Applied to Specific Problems of Air Pollution, Norrköping, Sweden, 1978.

#### FONTES ELECTRÓNICAS CONSULTADAS

<http://www.infomet.fcr.es/>