

## 10ª CNA-XII CNEA

10ª Conferência Nacional do Ambiente  
XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente

**Repensar o Ambiente: Luxo ou inevitabilidade?**

### **Editores**

Carlos Borrego, Ana Isabel Miranda, Luís Arroja, Teresa Fidélis,

Eduardo Anselmo Castro, Ana Paula Gomes

Universidade de Aveiro  
6 a 8 de novembro de 2013

# **Ficha Técnica**

10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional do Ambiente

ISBN: 978-989-98673-0-7

## **Nota explicativa**

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na 10ª Conferência Nacional do Ambiente realizada na Universidade de Aveiro, de 6 a 8 de novembro de 2013.

## **Editores**

Carlos Borrego, Ana Isabel Miranda, Luís Arroja, Teresa Fidélis, Eduardo Anselmo Castro, Ana Paula Gomes

## **Desenho da capa**

Luís Pinto

## **Impressão**

Tipografia Minerva Central - Aveiro  
Novembro 2013

## **Edição**

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

## **Tiragem**

250 exemplares

## Avaliação da Ilha de Calor de Bragança

Maia, F.<sup>(a)\*</sup>, Gonçalves, A.<sup>(b)</sup>, Rocha, A.<sup>(c)</sup>, Ribeiro, A.C.<sup>(b)</sup>, Feliciano, M.<sup>(b)</sup>

(a) Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, filipemaia@hotmail.com

(b) Centro de Investigação de Montanha, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança

(c) CESAM - Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro

### SUMÁRIO

O presente estudo, realizado no âmbito do projeto transfronteiriço POCTEP - BIOURB, tem por objetivo avaliar o efeito de ilha de calor urbana (ICU) na cidade de Bragança. Para o efeito, foi instalada uma rede de medição de temperatura e de humidade do ar, com vinte e três termo-higrómetros colocados em diferentes locais da cidade e no espaço rural, complementada com um estação meteorológica automática. Os resultados evidenciam a existência do efeito de ICU. Este efeito tem relevância nos pontos com uma urbanização mais densa e decresce nos pontos de menor densidade de edifícios. No período de inverno, a intensidade do efeito de ICU atinge em média os 2°C, embora tenham sido registados máximos na ordem dos 5°C. Tal como seria de esperar, é na época de verão que se verificaram as maiores diferenças entre zonas urbanas e zonas rurais, sendo que a média sobe para os 3°C nas zonas mais urbanizadas, onde se registam máximos na ordem dos 6°C. Em ambos os casos, os picos de intensidade observaram-se predominantemente uma a duas horas antes do nascer do sol, em particular em dias de vento fraco. Ao início da manhã registou-se ainda um efeito de ilha de frio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ilha de Calor, Clima Urbano, Monitorização

### INTRODUÇÃO

Num mundo crescentemente urbanizado, as temáticas relativas às cidades ganham relevância. A qualidade de vida depende, 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 em que habitamos. A análise do clima urbano depende, por sua vez, da interpretação de sistemas dinâmicos, que variam em função do contexto climático, das características do território e das estruturas urbanas que sobre este se desenvolvem (Oke 2004).

O efeito de ilha de calor urbano (ICU) é um dos fenómenos mais representativos da relação entre as cidades e o clima, sendo caracterizado pela existência de temperaturas mais elevadas nos espaços urbanos, quando comparados com os espaços rurais circundantes (Rizwan et al. 2008). Estas diferenças devem-se à combinação de um conjunto de fatores próprios do espaço urbano e que incluem (Stewart; Oke 2012): maior absorção de radiação solar com retenção de calor pelos edifícios e superfícies; maior retenção dos raios infravermelhos nas ruas confinadas por edifícios com menor visibilidade do céu (mais frio); maior retenção e libertação mais lenta de calor por parte dos edifícios e superfícies; fração mais elevada de radiação solar que é convertida em calor sensível em vez de calor latente, em resultado da substituição de vegetação por pavimentos; e elevada libertação de calor sensível e latente com origem na combustão dos automóveis, processos industriais, entre outros (Stewart; Oke 2012). Como resultado da ação destes fatores é ainda expectável que este efeito se traduza em diferentes intensidades em função do contexto urbano. A variação espacial do efeito de ICU faz como que se deva promover um estudo orientado para a diferenciação dos espaços urbanos, assente no conceito de Zonas Climáticas Locais (ZCLs) (Oke 2004). O efeito de ICU não é, no entanto, um processo permanente, assumindo uma enorme variação ao longo do dia, atingindo geralmente uma intensidade máxima, em dias de maior estabilidade atmosférica, perto do nascer do sol, como resultado do efeito de retenção de calor pelas estruturas urbanas no período noturno. A intensidade deste efeito pode ainda ser atenuada, ou mesmo eliminada, quando se verificarem condições de maior

instabilidade, como no caso da incidência do vento forte, da presença de uma maior nebulosidade ou pluviosidade (Morris et al. 2001a; Rizwan et al. 2008).

No âmbito do projeto transfronteiriço BIOURB, foi introduzida uma rede de monitorização meteorológica, para o estudo do clima da cidade de Bragança. O presente artigo apresenta e discute os resultados relativos a uma componente desse estudo, relacionada com o efeito de ICU para o ano meteorológico de 2012.

## APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A cidade de Bragança localiza-se a NE de Portugal continental, sendo rodeada a Norte pela Serra de Montesinho e a Oeste pela Serra da Nogueira (figura 1). Além dessas duas serras a cidade é influenciada pelos vales de dois rios. O primeiro, rio Fervença, atravessa a cidade no interior e o segundo, rio Sabor, encontra-se na periferia da cidade. A nível climático, Trás-os-Montes está dividido em Terra Fria e Terra Quente, sendo que Bragança encontra-se na Terra Fria caracterizada por invernos frios e chuvosos e verões secos e quentes (Classe Csb – Köppen). A média da temperatura máxima no período de 1971 a 2000 verifica-se nos meses de Julho e Agosto com 28,5°C, verificando-se ainda nesses dois meses o mínimo de precipitação com 19,6 mm e 18,4 mm respetivamente. A média da temperatura mínima regista-se no mês de Janeiro com 0,3°C, no entanto a média mais elevada de precipitação acontece no mês de Dezembro com 118,6 mm. Ainda nesse período, predominaram ventos de Oeste com uma frequência de 26,5% e uma velocidade média de 3,42 ms<sup>-1</sup>, seguindo-se a orientação Noroeste com 15% de ocorrências, verificando-se para essa orientação o valor mais elevado da velocidade média de 4 ms<sup>-1</sup>.

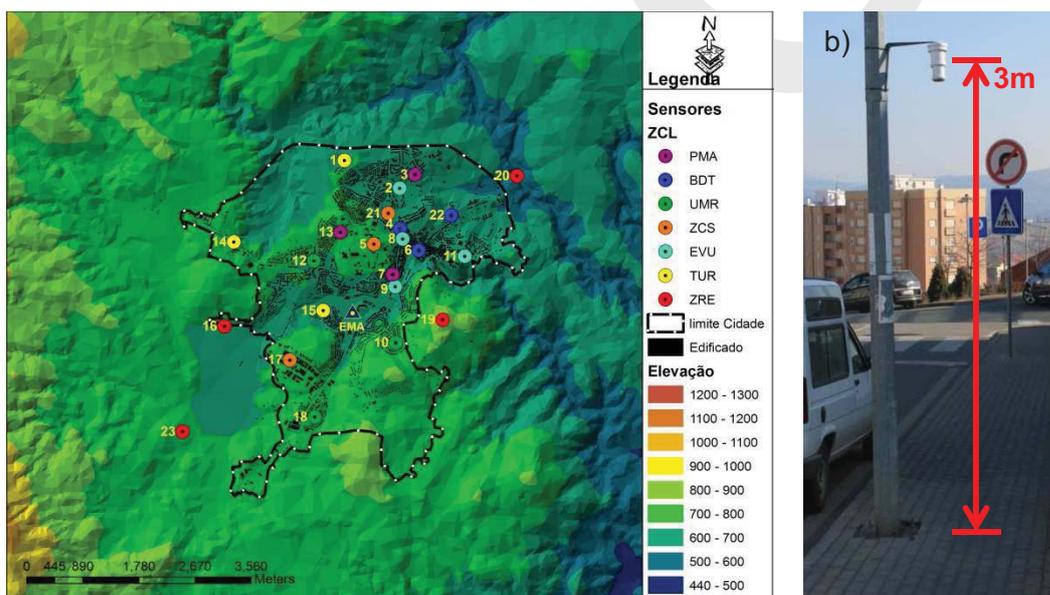


Figura 47: a) Enquadramento geográfico da cidade de Bragança e localização dos pontos de medição; b) Exemplificação da posição dos sensores. Legenda: PMA – Plurifamiliar Média a Alta densidade; BDT – Baixa a Média Densidade Tradicional; UMR – Urbano Unifamiliar Recente (UMR); ZCS – Zona de Comércio e Serviços; EVU – Espaços Verdes Urbanos; TUR – Espaços de Transição Urbano-Rural; ZRE – Zonas Rurais Envolventes. EMA – Estação Meteorológica Automática.

A área da cidade é de aproximadamente 33 km<sup>2</sup> com uma população de 23099 habitantes (INE 2012). O espaço urbano é marcado pela diversidade de tipologias de construção incluindo bairros de edifícios plurifamiliares, de diversas tipologias, que contrastam com os espaços com moradias unifamiliares. A atividade industrial é pouco representativa. No interior do perímetro urbano podem ainda encontrar-se amplos espaços livres, com vegetação agrícola e florestal, bem como amplos terrenos expectantes. A envolvente caracteriza-se essencialmente pelo uso agrícola e, com menor expressão, pelo uso florestal.

## METODOLOGIA

A escolha dos locais de monitorização partiu da aplicação do conceito de ZCL, considerando sete classes, validadas pela aplicação de indicadores de caracterização da morfologia urbana, onde se incluiu o fator de visão do céu e a rugosidade (Gonçalves et al. 2012).

Com base nessas classes, foram instalados 23 sensores de monitorização de temperatura e humidade relativa (modelo TGP-4500, TinyTag, Gemini Data Loggers) (Figura 1.a). Os sensores foram colocados em abrigos e instalados em postes de iluminação a uma altura de 3m (Figura 1.b). Os sensores foram programados para efetuar registos de 10 minutos. Alguns autores que estudaram o Efeito de Ilha de Calor usaram apenas uma estação representativa do espaço urbano e outra do espaço rural (Bejarán; Camilloni 2003; Kim; Baik 2004). Para este estudo, tal como nos trabalhos de Lee; Baik (2010), optou-se por comparar a média de quatro estações rurais, com a média dos conjuntos de três estações das ZCL urbanas, tendo sido possível desta forma recolher informação representativa da diversidade de características do espaço urbano.

Sendo a orografia um fator relevante, e dada a elevada variação altimétrica da cidade (558 a 812 metros) foi aplicada uma correção a todos os dados, baseada na taxa de variação de temperatura de dois pontos rurais a cotas diferentes.

Finalmente, e considerando o papel primordial das condições meteorológicas, outros dados relevantes foram recolhidos numa estação automática de referência (Campbell Scientific) instalada no campus do Instituto Politécnico de Bragança, e que inclui temperatura, precipitação, velocidade e orientação do vento.

## RESULTADOS

Tal como referido anteriormente o efeito de ICU depende das condições meteorológicas. Pelo que, antes de passar a análise da Ilha de Calor de Bragança, é de todo oportuno a apresentação das condições que prevaleceram durante o período em estudo. Com base nos dados da estação automática de referência é possível observar dois períodos com elevada precipitação, o primeiro ocorreu nos meses de Abril e Maio, e o segundo nos meses de Outubro e Novembro. Nos meses de Junho, Julho e Agosto registaram-se as médias das máximas mais elevadas, com valores acima dos 35°C, enquanto o mês de Janeiro foi o mais frio a nível médio, ainda que as médias das mínimas mais baixas se registassem no mês de Fevereiro (Figura 33).

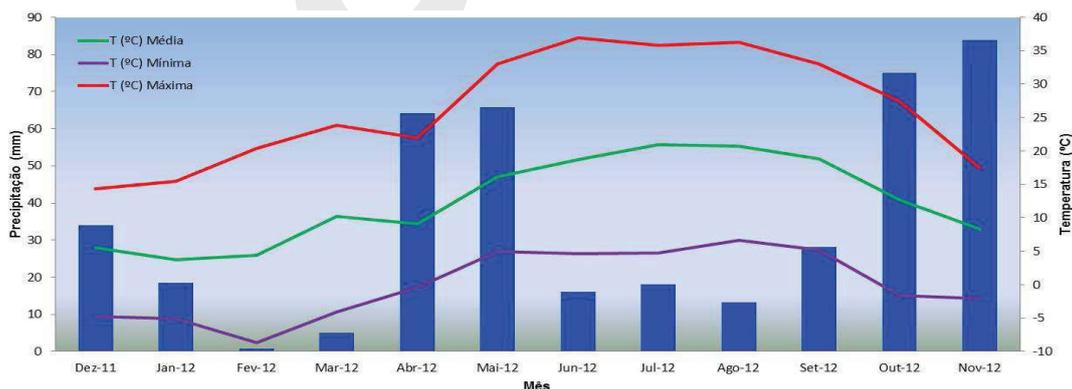


Figura 33: Gráfico da variação mensal de precipitação e das temperaturas médias, máximas e mínimas para o período de estudo.

No que diz respeito ao vento, a Figura 3 apresenta rosas de vento para cinco situações, uma para o período anual e as restantes quatro para cada uma das estações do ano. Considerando a média anual, é possível constatar que o vento predominante foi de Sul a Sudoeste, havendo contudo na estação de inverno e Outono alguma representatividade do quadrante Norte.

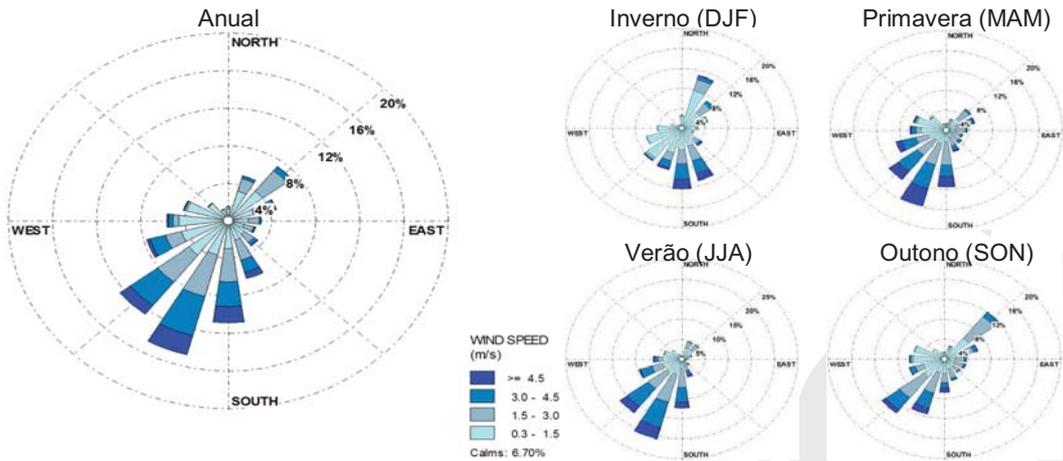


Figura 49: Rosas de vento para as quatro estações do ano em estudo e ainda uma representativa do ano todo.

Com a definição das ZCL este trabalho pretendeu ir mais além do que uma simples análise da relação entre o espaço urbano e o espaço rural. A Figura 4 apresenta a variação média da intensidade de ilha de calor em função da hora (xx) e ao longo dos meses do ano (yy).

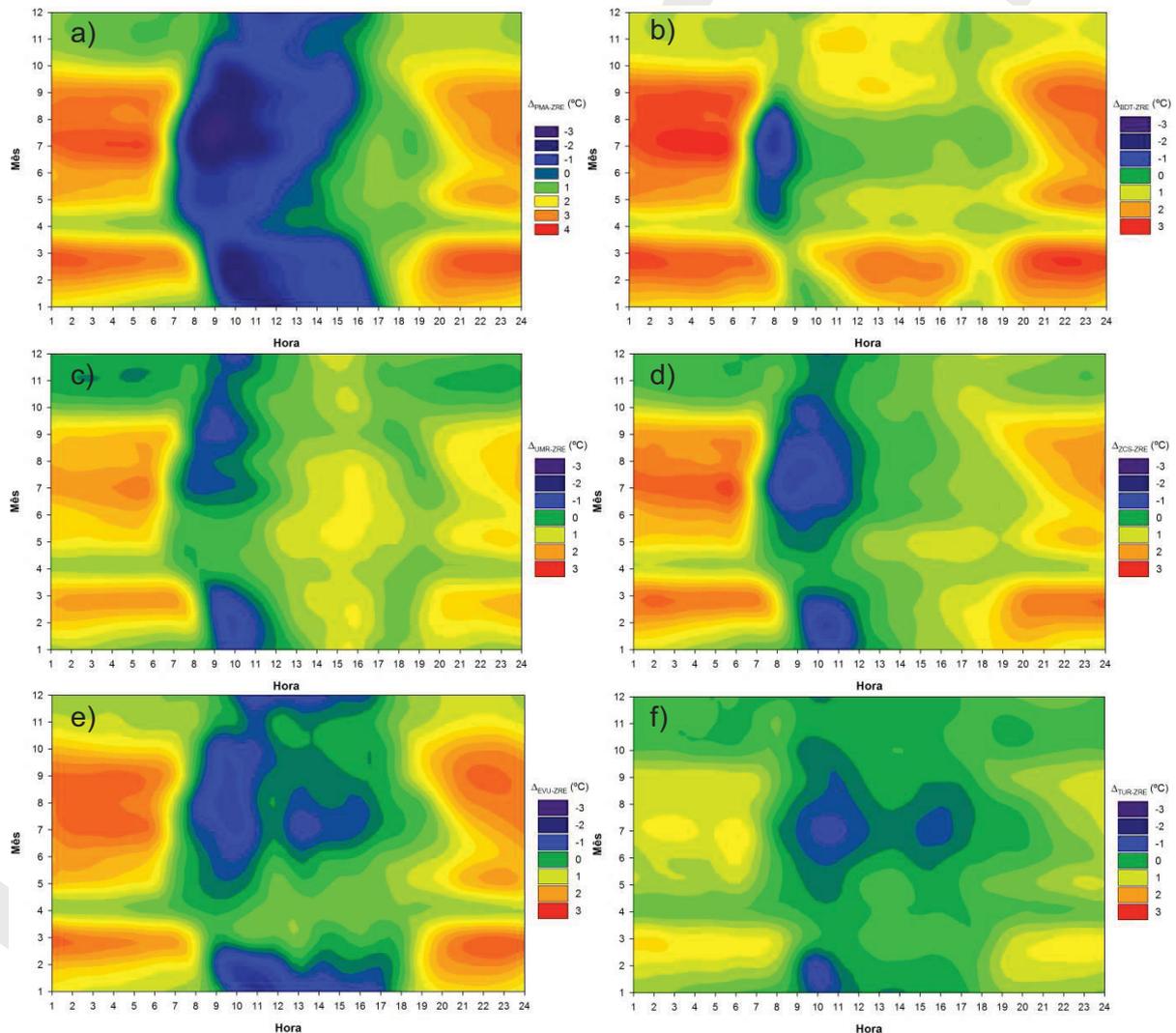


Figura 35: Variação horária e mensal da intensidade de ilha de calor para: a)  $\Delta T_{PMA-ZRE}$ ; b)  $\Delta T_{BDT-ZRE}$ ; c)  $\Delta T_{UMR-ZRE}$ ; d)  $\Delta T_{ZCS-ZRE}$ ; e)  $\Delta T_{EVU-ZRE}$ ; f)  $\Delta T_{TUR-ZRE}$ .

A classe PMA corresponde a área de mais elevada densidade urbana, verificando-se portanto nessa classe a maior intensidade do efeito de ICU chegando aos 3,5°C entre as 4h e 6h da manhã, no mês de Julho. Estes gráficos permitem identificar um comportamento nocturno e outro diurno, presente em todos os casos, divergindo na sua intensidade.

No período diurno destaca-se um aquecimento mais rápido na área rural, criando uma ilha de frio nas zonas urbanas, com maior intensidade na classe PMA. Este efeito é mais significativo nas primeiras horas do dia, pois devido à reduzida elevação do sol as zonas de sombra nos espaços urbanos persistem durante mais tempo. Este efeito vai-se desvanecendo ao longo do dia, chegando à neutralidade (diferenças térmicas nulas) de intensidade nas zonas de menor densidade urbana. Este efeito é visível durante todo o ano, no entanto a nossa localização latitudinal origina uma variação sazonal no crepúsculo matinal (amanhecer) que está bem patente nos gráficos da Fig. 4. Assim, nos meses de inverno e outono a ilha de frio ocorre com maior intensidade a partir das 8h-9h, enquanto nos meses de verão e primavera ocorre entre as 7h e as 8h. No período nocturno também se faz sentir a variação do pôr-do-sol.

Os processos que decorrem depois do por do sol são igualmente visíveis. Nos meses de Verão e Primavera o efeito de ICU tem início entre as 20h e as 21h, já nos meses de Inverno e Outono tal passa a ocorrer entre as 18h e as 19h. A intensidade média do efeito de ilha de calor atinge valores mais elevados 1-2 horas antes de o nascer do sol.

Na época de Inverno, a intensidade do efeito de ICU é menor, inerente à predominância de condições meteorológicas adversas ao aparecimento deste efeito, destacando-se a ocorrência de precipitação, a instabilidade atmosférica e a menor duração dos dias. Contudo, em todas as ZCL está evidente uma clara redução da intensidade do efeito de ICU centrada no mês de Abril e Maio, onde se registou uma descontinuidade no comportamento padrão do efeito. A diminuição na intensidade do efeito de ICU pode ainda estar associada às condições meteorológicas evidenciadas nas Figuras 2 e 3, ou seja, à presença de precipitação elevada e à ocorrência de vento acima dos 4,5 ms<sup>-1</sup>. A relação desses dois parâmetros meteorológicos com a intensidade do efeito de ICU foi já tema de estudo por diversos autores (Lee; Baik 2010; Morris et al. 2001b), que identificam uma clara relação negativa entre eles.

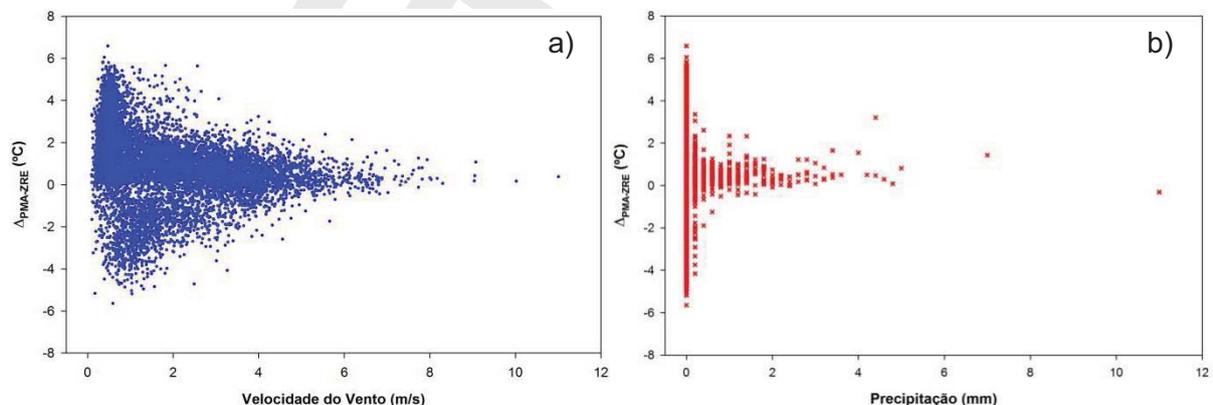


Figura 36: Distribuição dos valores de  $\Delta T_{PMA-ZRE}$  em função da velocidade do vento em a), e em função da precipitação em b).

Os resultados demonstram que com o aumento da velocidade do vento verificou-se uma atenuação progressiva dos valores de intensidade do efeito de ICU, como fica patente no caso da classe mais urbanizada (PMA) (Figura 36). Neste caso, os registos de maior intensidade verificam-se nas zonas de menor velocidade, entre 0 e 2 ms<sup>-1</sup>. No caso da precipitação o efeito é ainda mais marcado, sendo que em dias maior pluviosidade os valores de intensidade do ICU concentram-se a volta dos 0°C. Em ambos os casos, os registos dos máximos ocorrem em dias de vento fraco e sem precipitação.

## CONCLUSÃO

A análise do efeito de ICU incidiu sobre a interpretação do efeito de diferentes estruturas urbanas através da definição de ZCLs. Este estudo identificou a ocorrência de dois fenômenos, uma para o período diurno e outro para o período noturno. No primeiro caso, identificou-se a ocorrência de um efeito de ilha de frio, nas primeiras horas do dia. No segundo caso, verificou-se a ocorrência de um efeito de ilha de calor com máximos de intensidade a ocorrerem poucas horas antes do nascer do sol. Os dados demonstram claramente que no caso da classe mais urbanizada (PMA) esses efeitos são amplificados, locais onde se alcança um valor máximo de 6,6°C. Este estudo caracterizou ainda o comportamento anual da intensidade do efeito de ilha de calor, com os valores máximos a serem atingidos no período de verão. A análise efetuada permitiu ainda identificar a influência das condições meteorológicas na intensidade do efeito de ICU, ocorrendo valores máximos para ventos fracos e sem precipitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bejarán, R. A., and I. A. Camilloni, 2003: **Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires' (Argentina) urban heat island intensity.** *Theoretical and Applied Climatology*, **74**, 93-103.
- Gonçalves, A., A. Ribeiro, F. Maia, and M. Feliciano, 2012: **URBAN CLIMATE MAPPING IN BRAGANÇA (PORTUGAL) - Preliminary results from UHI Effect Analysis.** *8th International Conference on Urban Climates.*
- INE, 2012: **Censos 2011.**
- Kim, Y. H., and J. J. Baik, 2004: **Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea.** *Theoretical and Applied Climatology*, **79**, 151-164.
- Lee, S. H., and J. J. Baik, 2010: **Statistical and dynamical characteristics of the urban heat island intensity in Seoul.** *Theoretical and Applied Climatology*, **100**, 227-237.
- Morris, C., I. Simmonds, and N. Plummer, 2001a: **Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city.** *Journal of Applied Meteorology*, **40**, 169-182.
- Morris, C. J. G., I. Simmonds, and N. Plummer, 2001b: **Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City.** *Journal of Applied Meteorology*, **40**, 169-182.
- Oke, T. R., 2004: **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** World Meteorological Organization Geneva.
- Rizwan, A. M., L. Y. C. Dennis, and C. Liu, 2008: **A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island.** *Journal of Environmental Sciences*, **20**, 120-128.
- Stewart, I. D., and T. R. Oke, 2012: **Local climate zones for urban temperature studies.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93**, 1879-1900.