

forum
CIMO

ciência e
desenvolvimento
2012

Livro de atas

..... novembro 2012

Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento 2012
Centro de Investigação de Montanha

Titulo: Livro de Atas do Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento 2012

Editores: Centro de Investigação de Montanha

Editor: Instituto Politécnico de Bragança

Apartado 1038, 5301-854 Bragança

<http://www.ipb.pt/>

ISBN: 978-972-745-146-3

Design: Atilano Suarez, Serviços de Imagem do Instituto Politécnico de Bragança

Fórum CIMO - Ciência e Desenvolvimento 2012

Centro de Investigação de Montanha

Livro de atas

Auditório Dionísio Gonçalves

Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança

20 e 21 de novembro de 2012

Bragança

Índice	Página
Prefácio	
Gestão de ecossistemas e qualidade ambiental	
Projecto BIOURB - Análise do clima urbano e o seu contributo para o planeamento urbano sustentável - estudo da cidade de Bragança <i>Manuel Feliciano, Artur Gonçalves, Filipe Maia, Alfredo Rocha & António Castro Ribeiro</i>	1
Degradação física do solo em áreas queimadas de matos no nordeste transmontano <i>Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca & Anabela Queirós</i>	8
O uso dos herbívoros na prevenção dos incêndios: uma nova oportunidade para a sustentabilidade da floresta <i>Marina Castro & Esther Fernández-Núñez</i>	16
Estimação da concentração e do transporte de sedimentos em suspensão em cursos de água de montanha: um estudo preliminar na Ilha da Madeira <i>Luiz Guerreiro Lopes & Raquel Ladeira Lobo</i>	24
Sustentabilidade de sistemas florestais e agroflorestais	
Fatores moleculares da doença da “tinta” do castanheiro <i>Altino Choupina</i>	33
Crescimento e sobrevivência de espécies florestais instaladas na região Mediterrânica: efeito da intensidade de preparação do terreno <i>Felícia Fonseca, Tomás de Figueiredo & Afonso Martins</i>	40
Idosos agricultores em Trás-os-Montes: análise da resposta à florestação das terras agrícolas no Planalto Mirandês e na Terra Fria <i>Sílvia Nobre</i>	49
Tecnologia e qualidade dos produtos de montanha	
Irradiação gama e feixe de eletrões: uma alternativa viável no tratamento pós- colheita promotora da qualidade da castanha <i>Amílcar L. Antonio, João C.M. Barreira, Márcio Carochó, Albino Bento, Isabel C.F.R. Ferreira</i>	57
Cogumelos silvestres portugueses: valorização como alimentos funcionais e fonte de nutracêuticos <i>Isabel C.F.R. Ferreira, Josiana A. Vaz, Lillian Barros, Gabriela M. Almeida, Anabela Martins & M. Helena Vasconcelos FIGURA</i>	64
Valorização dos sistemas agro-pecuários de montanha - pastagens e produção animal	
Produção e valor nutritivo de pastagens de montanha <i>Jaime M. Pires, Esther Fernández Nuñez, Adelaide Fernandes, João Pires, Adelino Bernardo, Carlos F. Aguiar, Lurdes Galvão & Nuno Moreira</i>	70
Fertilização de pastagens de sequeiro em modo de produção biológico <i>Esther Fernández Nuñez, Manuel A. Rodrigues, Margarida Arrobas, Carlos F. Aguiar, R. Cuiña-Cotarelo, M. Rosa Mosquera-Losada, A. Rigueiro-Rodríguez, Nuno Moreira & Jaime M. Pires</i>	79
Melhoria da eficiência reprodutiva de ovinos das raças Churra Galega Bragançana e Churra da Terra Quente e de caprinos da Raça Serrana e de caprinos da raça Serrana <i>Teresa M. Correia & Ramiro Valentim</i>	87

Conservação e monitorização da biodiversidade

CONBI: Biodiversidade e Conservação de Bivalves – Informação Ecogeográfica, Genética e Fisiológica <i>Amílcar Teixeira, Simone Varandas, Ronaldo Sousa, Elsa Froufe, Manuel Lopes-Lima</i>	92
Monitorização das comunidades zooplanctónicas de albufeiras: aplicações e perspetivas <i>Ana Maria Geraldés & Pedro Silva-Santos</i>	100
Política de recursos naturais e finanças locais <i>Nina Aguiar</i>	107

Valorização dos sistemas agro-pecuários de montanha: outros sistemas

Análise de Insolvência das cooperativas de crédito agrícola em Portugal <i>Paula Cabo & João Rebelo</i>	114
Compostagem de espécies invasoras <i>Luis Miguel Brito</i>	123
Fertilizantes “especiais” na agricultura transmontana <i>Manuel Ângelo Rodrigues, Isabel Q. Ferreira & Margarida Arrobas</i>	132

Projeto BIOURB - Análise do clima urbano e o seu contributo para o planeamento urbano sustentável – estudo da cidade de Bragança

Manuel Feliciano¹, Artur Gonçalves¹, Filipe Maia¹, Alfredo Rocha² & António Castro Ribeiro¹

1–Centro de Investigação de Montanha

Instituto Politécnico de Bragança

Campus de Santa Apolónia

2–Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

Universidade de Aveiro

ajg@ipb.pt

Resumo – Nas cidades, os edifícios e as superfícies alteram significativamente as condições climáticas locais, criando um clima urbano, nem sempre desejável e saudável para os seus habitantes. Determinar os fatores de interação cidade-clima constitui um fator de grande relevância para o planeamento urbano sustentável.

No âmbito do Projeto POCTEP – BIOURB desenvolvem-se um conjunto de metodologias de caracterização climática da cidade de Bragança, com vista à definição de um modelo de clima urbano que possa orientar opções de desenho urbano. Este processo requer ainda a auscultação e o envolvimento dos principais “Stakeholders” locais, dos promotores imobiliários e da população. Os resultados da caracterização do clima urbano da cidade de Bragança, obtidos no âmbito da rede de monitorização desenvolvida para este projeto, mostram um efeito importante da orografia na variação espacial da temperatura, em especial no período noturno, e na drenagem e estagnação de ar frio à superfície. Apesar da sua pequena dimensão, a cidade apresenta igualmente o denominado efeito de ilha de calor. Este efeito, que origina um aumento da temperatura localizado, é particularmente observável durante o Verão, no período noturno e em condições de menor intensidade do vento. Os dados disponíveis permitem ainda identificar diferenças entre tipologias de ocupação urbana, divergentes em função da altura e densidade do edificado, grau de artificialização do solo e presença de vegetação. O processo de mapeamento bioclimático, resultante deste projeto, parte das características do clima local para determinar fatores de interação cidade-clima que determinam efeitos favoráveis (ex. ventilação no Verão) ou adversos (ex. EIC também no verão), que devem ser objeto de intervenção no domínio do desenho urbano.

Palavras-chave: Clima Urbano, Planeamento Urbano, Efeito de Ilha de Calor.

1 Introdução

A qualidade de vida e do ambiente nas zonas urbanas está intrinsecamente relacionada com o clima. Por sua vez, as estruturas urbanas modificam os elementos climáticos locais como a temperatura, a humidade relativa e a direção dos ventos. Os fenómenos mais representativos destas modificações são as “ilhas de calor urbanas” caracterizadas pelo aumento da temperatura do ar do espaço urbano face à das áreas naturais circundantes [1]. Apesar desta importante relação entre estruturas urbanas e clima urbano, a integração de critérios climáticos nas mais variadas intervenções urbanísticas não é frequente nem é de fácil operacionalização. As principais razões incluem a dificuldade de comunicação entre climatologistas e urbanistas, bem como a falta de uma ferramenta que traduza as condições climáticas numa linguagem de planeamento, de forma a apoiar os profissionais da área a encontrar opções de desenho urbano que resultem numa melhoria da qualidade do ambiente urbano, com benefícios claros para os habitantes [2].

O Mapeamento de Clima Urbano (MapUC), apesar de envolver metodologias complexas, tem surgido como a ferramenta capaz de traduzir as condições climáticas de uma zona urbana num conjunto de recomendações urbanísticas, podendo contribuir de forma efetiva para minimizar o *stress* induzido pelo calor ou frio, incrementar as condições de conforto climático e melhorar inclusive a qualidade do ar [3]. Os MapUC devem identificar as zonas que são ventiladas, as manchas que são mais confortáveis, as áreas mais problemáticas e a forma como os edifícios podem afetar a circulação do vento na cidade [4]. Esta ferramenta combina sinergicamente vários parâmetros climáticos (e.g. velocidades e direções de vento, radiação solar, temperatura do ar) com informações sobre o topografia da cidade, a paisagem, o edificado e outros elementos construtivos, entre outros, de modo a apresentar os fenómenos e os problemas climáticos num plano bidimensional. Além

dos fatores físicos referidos, o desenvolvimento dos MApUC baseiam-se também em critérios qualitativos e subjetivos [5].

Embora se tenha vindo a assistir a um progresso significativo a nível do mapeamento do clima urbano em vários países, as diferentes metodologias utilizadas têm de ser melhoradas e devem ser validadas para uma diversidade mais ampla de estruturas urbanas e de condições climáticas [6].

No âmbito do projeto transnacional BIOURB, está a ser desenvolvido um MapUC para a cidade de Bragança, com o objetivo de informar a atividade de planeamento local, nacional e ibérica. A metodologia adotada parte da monitorização do clima urbano e do conhecimento da sua relação com as condições locais, para definir estratégias que contribuam para a melhoria da qualidade dos espaços exteriores e para a atenuação dos efeitos adversos colocados sobre os edifícios (ex. exposição ao vento no inverno ou elevação da temperatura no verão).

O presente artigo apresenta os resultados preliminares com foco para a caracterização da evolução espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano na cidade de Bragança, procurando-se estabelecer as eventuais relações entre as principais propriedades da Ilha de Calor Urbano e as características do espaço urbano e peri-urbano classificadas em função da definição de Zonas Climáticas Locais (ZCL) [7].

2 Metodologia

2.1 Local de Estudo

A cidade de Bragança está localizada no nordeste de Portugal, com uma área aproximada de 25 km² e uma população de 27 mil habitantes. O clima local caracteriza-se pelo contraste entre um inverno frio e chuvoso e um verão quente e seco (Fig.1b e 1c), correspondendo a classe Csb segundo a classificação de Köppen. Nos últimos dez anos, a cidade de Bragança sofreu um desenvolvimento significativo, em que uma boa parte dos espaços naturais deram lugar a áreas construídas e noutras situações a zonas verdes de diferentes tipologias. O corredor verde definido pelo traçado do rio Fervença é uma das características fisiográficas marcantes da cidade.

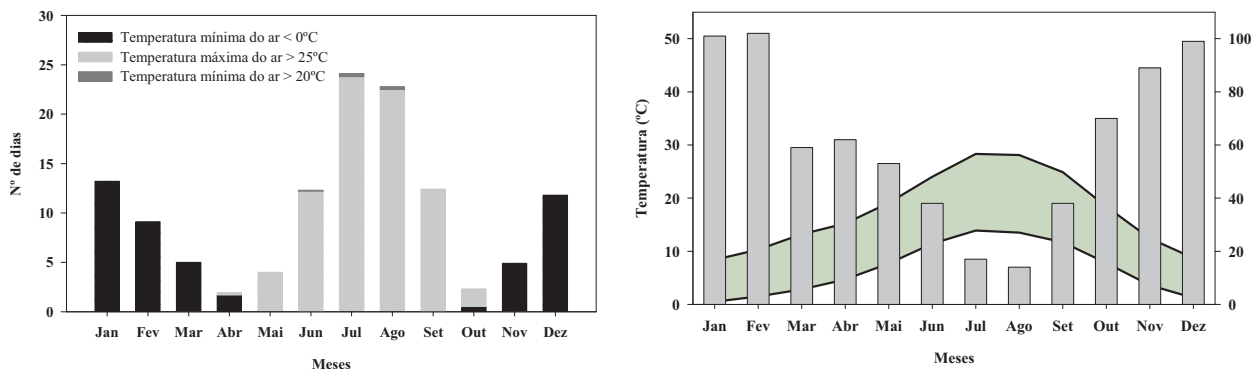
















Figura 1. a) Número médio de dias com temperatura máximas superiores a 25°C e mínimas inferior a 0°C e superior a 20°C; b) Variação mensal da temperatura máxima e mínima e da precipitação mensal.

2.2 Definição de zonas climáticas (ZCL)

A definição de zonas climáticas constitui a base para a avaliação dos efeitos das estruturas urbanas sobre as condições climáticas locais. Neste estudo seguiram-se as orientações propostas por Oke [7] para a definição das ZCL. Em particular, consideraram-se as seguintes categorias: Zonas Residenciais Plurifamiliares de Média-Alta densidade (PMA); Zonas Residenciais de Baixa a Média densidade Tradicional (BDT); Zonas Residenciais Urbanas Unifamiliares Recentes (UMR); Zona de Comercio e Serviços (ZCS); Espaços Verdes Urbanos (EVU); Espaços de Transição Urbano-Rural (TUR); e Zonas Rurais na Envoltante (ZRE). A Tabela 1 apresenta a diferenciação destas zonas em termos de características fisiográficas, do sky view factor (svf), da rugosidade e da impermeabilidade da superfície. Além das características de desenho urbano, foram definidos pontos ao longo de um transecto rural-urbano, de forma a compreender os efeitos de ilha de calor urbana e os efeitos topográficos.

Tabela 1: Descrição e parametrização das zonas climáticas locais.

Zona Climática Local ¹		Sky View Factor ²	Rugosidade ³	% Impermeabilidade ⁴	
PMA – Edificado moderno de altura média-alta, elevada densidade e superfícies pavimentadas			0.59 - 0.81	1.54 - 2.5	94 - 99
BDT – Núcleo mais antigo da cidade, com edificado de altura média-baixa (2 a 5 andares), elevada densidade, edificado em pedra e tijolo			0.69 - 0.92	0.93 - 1.07	88 - 99
UMR – Média densidade, ruas de habitações de baixa altura em banda ou isoladas			0.74 - 0.76	0.74 - 0.76	90 - 99
ZCS – Comercial e industrial - elevado desenvolvimento, densidade média-baixa com edifícios baixos de elevada envergadura e estacionamento pavimentado			0.82 - 0.99	0.82 - 0.99	99
EVU – Espaços verdes urbanos – cobertura predominantemente verde com vegetação rasteirara e arbórea.			0.91 - 0.99	0.08 - 2.00	2 - 81
TUR – Espaços semirurais – casas dispersas com envolventes agriculturadas e florestadas			0.97 - 1.00	0.00 - 0.15	23 - 57
ZRE – áreas rurais isoladas nos subúrbios da cidade representativas das características da paisagem local			1	0	0 - 20

1 – Adaptado de [7] considerando condições rurais e urbanas e os espaços verdes como uma categoria autónoma; 2 – Fotografias de olho de peixe tiradas com uma Nikon EOS 550D equipada com uma lente SIGMA 4.5 mm F2.8.; 3 – Calculado com uma extensão do ArcView 3.2[8]; 4 – Considerando um “buffer” de 50 metros de raio.

2.3. Monitorização do clima urbano

A caracterização do clima urbano teve início em novembro de 2011 com a instalação de 23 sensores de temperatura e humidade relativa do ar (modelo TGP-4500, TinyTag, Gemini DataLoggers, UK), colocados a três metros acima do nível do solo, em postes de iluminação pública. Os sensores foram distribuídos pela cidade tendo por base os seguintes critérios: assegurar uma distribuição dos pontos de medição por toda a área de estudo (Fig. 2); colocar pelo menos três sensores em cada uma das sete zonas climáticas locais definidas anteriormente; e permitir avaliar o gradiente urbano-rural relativamente aos parâmetros climáticos.

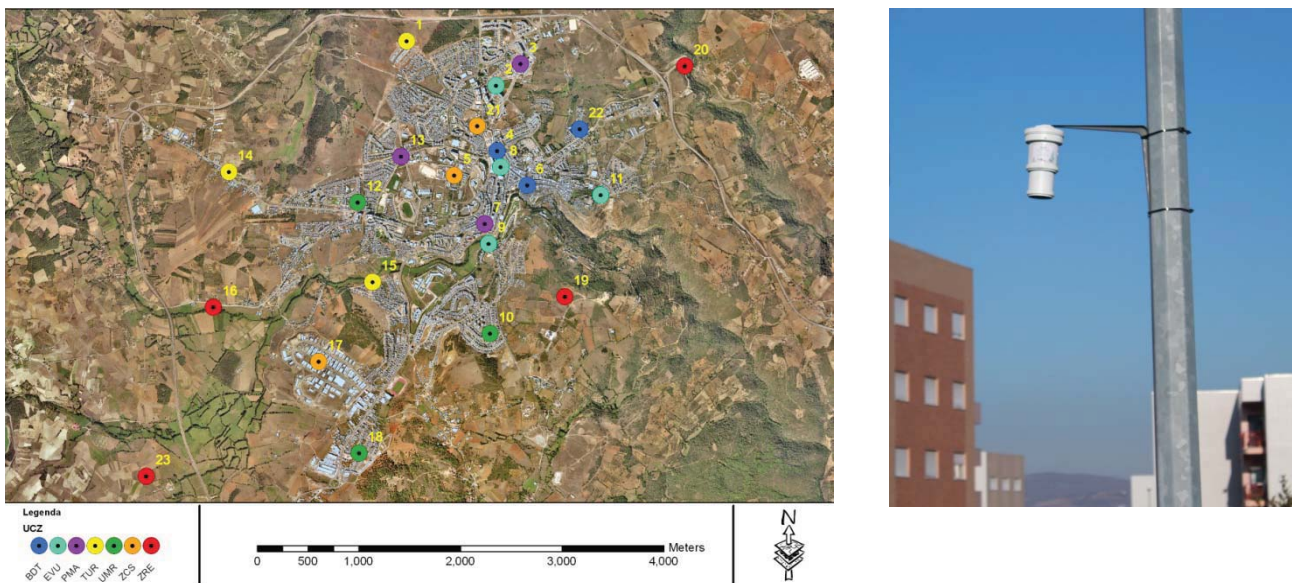


Figura 2. a) Mapa da superfície da cidade de Bragança e distribuição espacial dos pontos de medição; b) detalhe dos sensores de temperatura e humidade relativa do ar TGP 4500.

A instalação de três estações meteorológicas na área urbana tem possibilitado a medição da velocidade e da direção do vento (Modelo 05103, Wind Monitor. Young, EUA) e assegurado o controlo da qualidade dos dados temperatura e humidade recolhidos. Os parâmetros meteorológicos têm sido registados a cada 10 minutos e convertidos em médias horárias.

3 Resultados

3.1 Avaliação da estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano (ICU)

Para avaliar a evolução da ICU, os dados foram corrigidos atendendo ao diferencial de altitude entre os diferentes pontos de monitorização. Posteriormente, calcularam-se os valores médios horários da temperatura para cada ZCL urbana e compararam-se com os valores médios horários obtidos para a zona climática rural, de modo a avaliar a magnitude e a estrutura espaciotemporal da ICU. A Figura 3 mostra o ritmo da variação diurna da Ilha de Calor Urbano para condições meteorológicas distintas, ao longo de diferentes épocas do ano - inverno, primavera e verão.

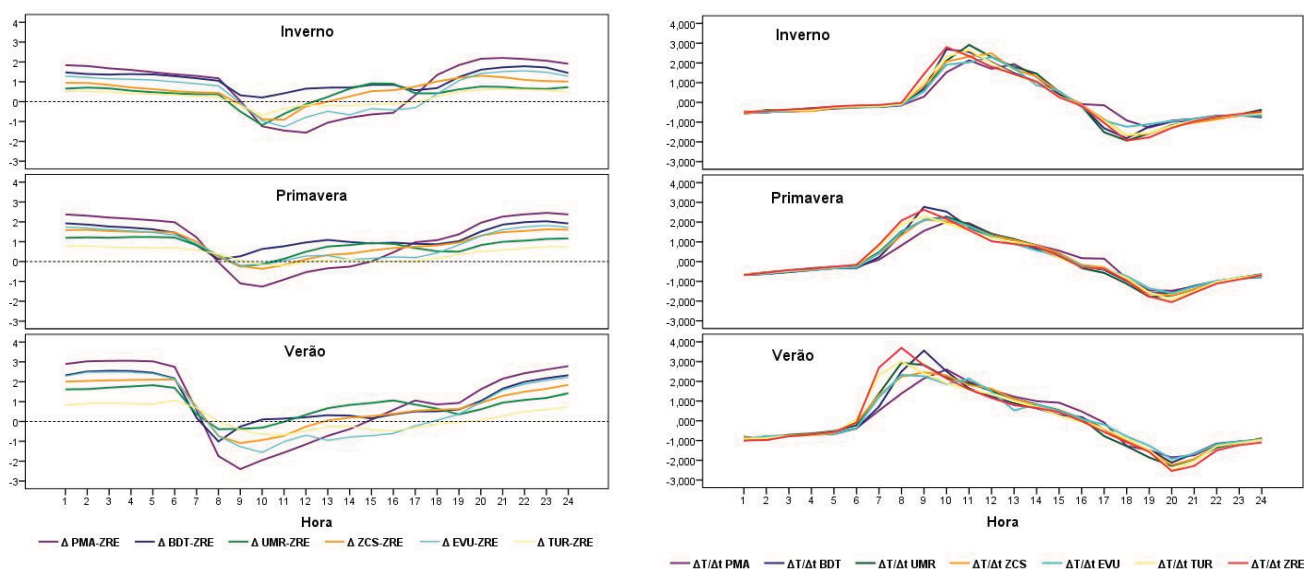


Figura 3. a) Variação diária da intensidade da ICU em estações urbanas durante o inverno, primavera e verão; b) Variação diária das taxas de aquecimento/arrefecimento ($\Delta T/\Delta t$) nas diferentes classes ZCL.

Globalmente, torna-se evidente que o efeito ICU é significativo, apesar de a cidade ser dimensão relativamente pequena. A magnitude máxima da ilha de calor para qualquer uma das ZCL urbana ocorre durante a noite, duas a três horas depois do pôr do sol. Os valores mais elevados são alcançados nas zonas climáticas urbanas mais artificiais (PMA e BDT), chegando a atingir valores de aproximadamente 2,0°C no inverno e 3,0°C no verão. Por outro lado, a menor magnitude do efeito de ilha de calor foi alcançado duas a três 3 horas após o nascer do sol, na medida em que foram detetadas "ilhas frias" em várias zonas climáticas, ou seja, diferenças térmicas negativas. A zona climática BDT tem um comportamento ligeiramente diferente das restantes, com temperaturas médias consistentemente superiores às registadas na zona ZRE ao longo das 24 horas e sobretudo nos meses de inverno e primavera. A avaliação da intensidade máxima diária da ICU (Fig. 4) corrobora a leitura anterior ao evidenciar que os valores mais elevados do efeito de Ilha de Calor são registados nas zonas urbanas mais intervencionadas e com um maior desenvolvimento de atividades humanas. Nestas zonas as magnitudes foram superiores a 5°C, no inverno, e superiores a 6°C no verão. Este comportamento sugere que as situações sinópticas de estabilidade, mais prevalentes nos meses de primavera e verão, potenciam o efeito, enquanto as situações de instabilidade atenuam/inibem a existência da Ilha de Calor. Esta relação não é todavia linear, uma vez que tem sido detetadas, em alguns estudos [8] situações de relativa instabilidade que não só admitem a ocorrência de ICU como até podem corresponder a algumas das situações de ICU de magnitude mais elevada.

O efeito de Ilha de Calor Urbano foi também avaliado através da análise da variação diária da taxa de aquecimento/arrefecimento para cada ZCL, cujos resultados estão ilustrados na Figura 3b. De um modo geral, verifica-se que às maiores magnitudes do efeito de ilha de calor estão associadas menores variações de

temperatura horária, sugerindo que o fator determinante para o efeito é a variação temporal da temperatura na zona ZRE. Resulta ainda da análise da figura 3b que, imediatamente após o nascer do sol e após o pôr do sol, assiste-se a um aumento temporário da taxa de variação da temperatura, à medida que nos deslocamos das zonas urbanas artificiais para as zonas semi-naturais. Este padrão é um reflexo do efeito dos distintos comportamentos térmicos das superfícies e em particular uma mais rápida variação das temperaturas em contextos menos urbanizados.

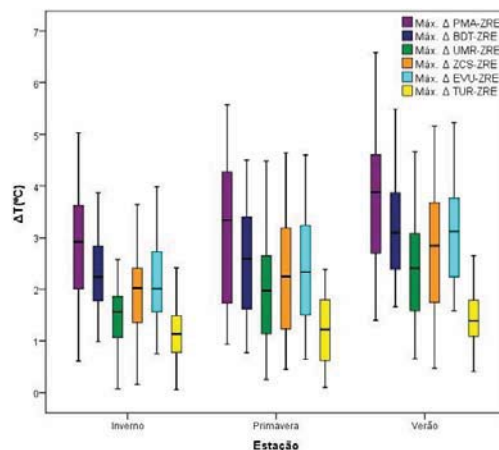


Figura 4. Gráfico de bigodes relativo às diferenças entre as temperaturas médias máximas diárias das diversas zonas climáticas urbanas e a zona rural.

3.2 Avaliação da influência do vento no efeito da ICU

Para avaliar a influência da velocidade do vento sobre o efeito da Ilha de Calor Urbano, reportada em muitos estudos [9, 10], a intensidade máxima do efeito de ilha de calor foi analisada em função de 4 classes de velocidade do vento [11], como se ilustra na Figura 5. De um modo geral verificou-se que na cidade de Bragança prevaleceram as velocidades inferiores a $1,5 \text{ m s}^{-1}$, com maior relevância nos meses de inverno. Na primavera e no verão os registos mostraram um ligeiro incremento dos níveis de ventilação da cidade. A análise realizada mostra também que, apesar da evidente variabilidade entre as diferentes zonas, as maiores magnitudes do efeito de ilha de calor estão associadas a velocidades de vento mais baixas.

4 Modelo de avaliação do clima urbano

O modelo de avaliação do clima urbano, que se encontra em fase de desenvolvimento, envolverá as seguintes etapas:

- caracterização das condições climáticas por intermédio de dados históricos, recolhidos em estações meteorológicas, conjuntamente com os dados recolhidos em sensores, que conjuntamente servem para validar o modelo;
- caracterização das variáveis urbanas e territoriais (e.g. a forma do território; a ocupação do solo e a presença e forma dos edifícios) com as quais se estabelecerá um conjunto de relações com o comportamento das variáveis climáticas;
- combinação dos elementos das etapas anteriores num mapa climático urbano, identificando as principais características climáticas, incluindo a identificação de locais de alteração térmica (zonas de acumulação de calor ou retenção de ar frio) ou do vento (canalização ou retenção);
- validação do modelo com base nos dados de monitorização do clima local.

Uma vez finalizado, este modelo será apresentado às autoridades locais competentes e aos profissionais do sector.

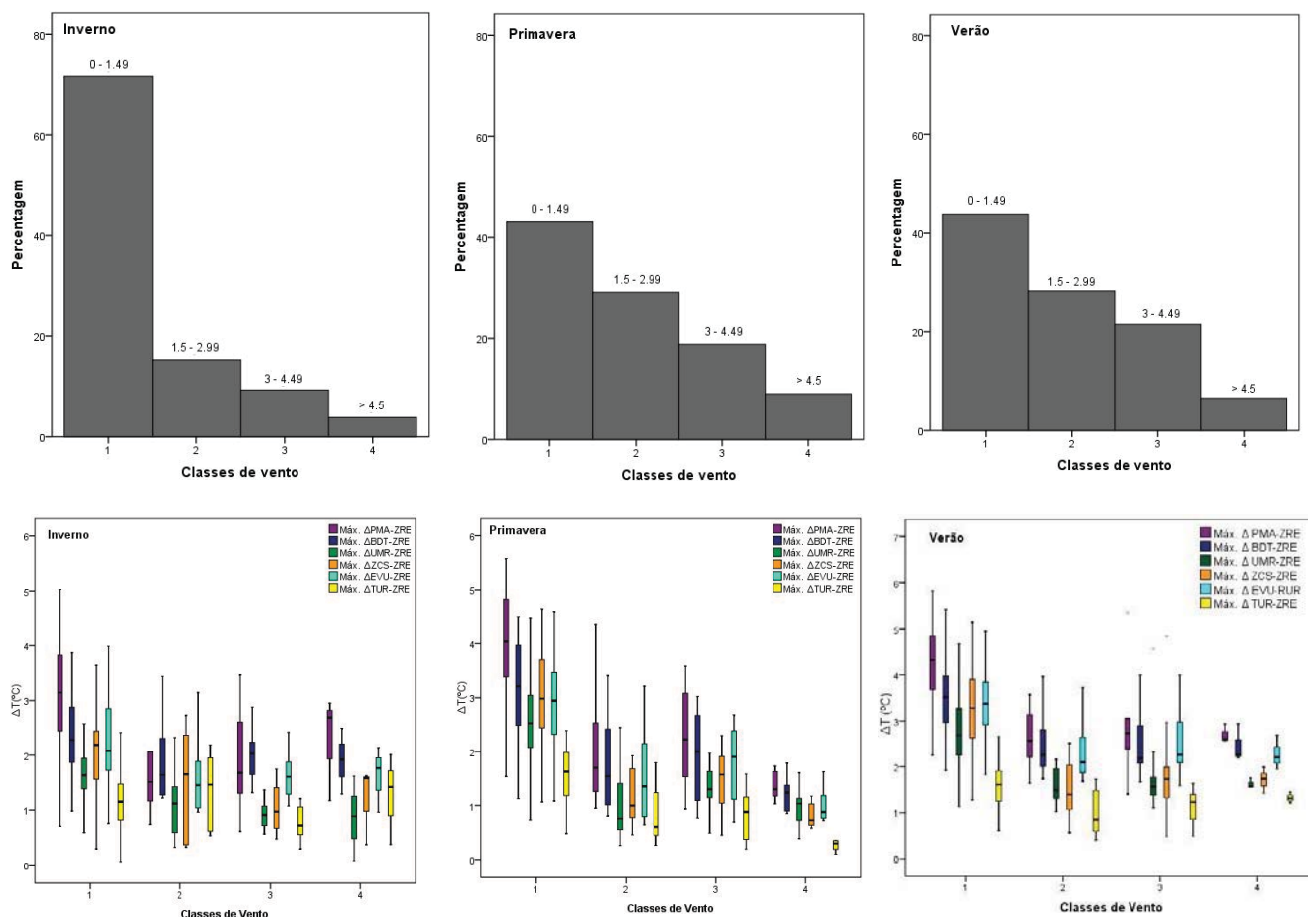


Figura 5. a) Distribuição de frequências da velocidade do vento por 4 classes, para os períodos de inverno, primavera e verão; b) magnitudes da ICU em função das classes de velocidade do vento, para as diferentes zonas climáticas e para os meses de inverno, primavera e verão.

5 Considerações Finais

A avaliação do clima urbano requer a realização de estudos de campo bastante complexos e exigentes em termos de recolha de dados. Os resultados preliminares mostram que existe Ilha de Calor de magnitude considerável e variável, sobretudo nas áreas com maior densidade de edifícios, menor *sky view factor* e de mais trânsito rodoviário. O efeito de ilha de calor atinge magnitudes que podem ultrapassar os 5°C nos meses de inverno e os 6°C nos meses de verão. Entre os elementos de análise que cumpre ainda desenvolver, caberá aquilatar sobre o verdadeiro impacte deste fenómeno, uma vez que a ilha de calor urbano pode traduzir efeitos contraditórios em função do período do ano considerado. Se nos períodos de maior calor, como no caso de fenómenos de vagas de calor, este efeito pode agravar os consumos de energia em edifícios e os seus efeitos nocivos sobre a saúde. No entanto, existe um amplo conjunto de meses em que em Bragança se registam temperaturas inferiores às de conforto térmico, pelo que este processo poderá inclusive trazer benefícios para a melhoria do desempenho energético de edifícios.

Futuramente serão desenvolvidas análises adicionais como a avaliação da influência topográfica (ex. influência do rio e análise de padrões de vento, que possam contribuir para a construção de um mapa climático rigoroso, que em conjunto informem a atividade de planeamento urbano da cidade de Bragança e constituir um referencial para o desenvolvimento de iniciativas similares em outras cidades nacionais e peninsulares.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Europeia pelo financiamento FEDER do projeto BIOURB como parte do Programa POCTEP – Projeto Transnacional. Este projeto está a ser desenvolvido no âmbito do quadro das atividades do Centro de Investigação de Montanha (CIMO).

Referências

- [1] He J.F, Liu J.Y, Zhuang D.F, Zhang W & Liu M. L. 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.
- [2] Alcoforado M. J, Andrade H, Lopes A & Vasconcelos J. 2009. Application of climatic guidelines to urban planning: the example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning* 90: 56–65.
- [3] Burghardt R., Katzschner L., Kupski S., Chao R. & Spit T. 2010. *Urban Climatic Map of Arnhem City*. Future Cities - urban networks to face climate change.
- [4] Ng, E., Katzschner L. & Wang U. 2007. *Initial Methodology of Urban Climatic Mapping – Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study*, Technical Report for Planning Department HKSAR, April 2007.
- [5] 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 process. *Atmospheric Environment* 33: 4185–4193.
- [6] Ren, C., E.Y.-y. Ng, & L. Katzschner. 2010. Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology* 31(15): p.2213-2233.
- [7] Stewart, I.D. & T.R. Oke. 2009. *Newly developed "thermal climate zones" for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer*. T. R. Oke Symp. and Eighth Symp. on Urban Environment. Preprints, Phoenix, AZ, Amer. Meteor. Soc., J8.A.
- [8] Balkestaohl L.C. 2009. *Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano (Porto)*. Cadernos do curso de Doutorado em Geografia. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- [9] Gál, T. & Unger J. 2009. Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Building and Environment* 44(1): p. 198-206.
- [10] Morris, C.J.G. & Simmonds I. 2001. Quantification of the influence of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology*, 40(2): p. 169-182.
- [11] Zhang, N., L. Zhu, & Zhu Y. 2011. Urban heat island and boundary layer structures under hot weather synoptic conditions: A case study of Suzhou City, China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28(4): p. 855-865.
- [12] Chow, W.T.L. & Roth M. 2006. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology*, 26(15): p. 2243-2260.