

CONTRASTES TÉRMICOS NOCTURNOS E ACUMULAÇÃO DE AR FRIO EM ÁREAS URBANAS DO SUL DA PENÍNSULA DE LISBOA

ANTÓNIO LOPES¹

Resumo – A moderna topoclimatologia ajuda a reconhecer algumas das limitações climáticas locais e a resolver problemas que hoje se colocam ao planeamento urbano e ao ordenamento bio-físico do território. Com o recurso a um SIG, este trabalho pretendeu reconhecer alguns dos padrões térmicos nocturnos do sul da península de Lisboa. O arrefecimento radiativo em áreas topograficamente deprimidas pode ocasionar episódios de frio que levam ao desconforto térmico dos indivíduos e a um excessivo consumo de energia para aquecimento. Estimou-se que 35% das áreas urbanas estão no fundo dos vales, onde há forte probabilidade de ocorrência de lagos de ar frio, e que as temperaturas são, em média, 1°C mais baixas do que nas urbanizações que se encontram noutras posições topográficas.

Palavras-chave: Topoclimatologia, lagos de ar frio, planeamento urbano, Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Abstract – NOCTURNAL THERMAL PATTERNS AND COLD AIR LAKES IN THE URBAN AREAS OF THE SOUTH OF LISBON PENINSULA – A methodology based on a GIS (Idrisi) is presented in this study in order to recognise some nocturnal thermal patterns in anticyclonic nights in the south of the Lisbon peninsula. A multiple regression model was used to evaluate which topoclimatic variables are responsible for the thermal variation. The results are presented in table I and figure 5. The areas with high probability of occurrence of cold air lakes during clear and calm anticyclonic nights were identified. It was estimated that 35% of these suburbs are in the areas where cold air lakes can occur. Night temperatures in the valleys, occupied by urban areas are, on average, 1°C lower than in all the other areas. This leads to an increase of discomfort and consumption of energy because these areas have been densely developed and populated in the last decades and the buildings are not usually prepared for cold conditions. Several maps are intended to contribute to the urban planning of Lisbon peninsula.

Key-words: Topoclimatology of Lisbon peninsula, cold air lakes, urban planning, Geographical Information Systems (GIS).

¹ Investigador do Centro de Estudos Geográficos e Assistente da Universidade de Lisboa (Endereço do CEG no início do volume). E-mail: antlop@mail.telepac.pt

I – INTRODUÇÃO

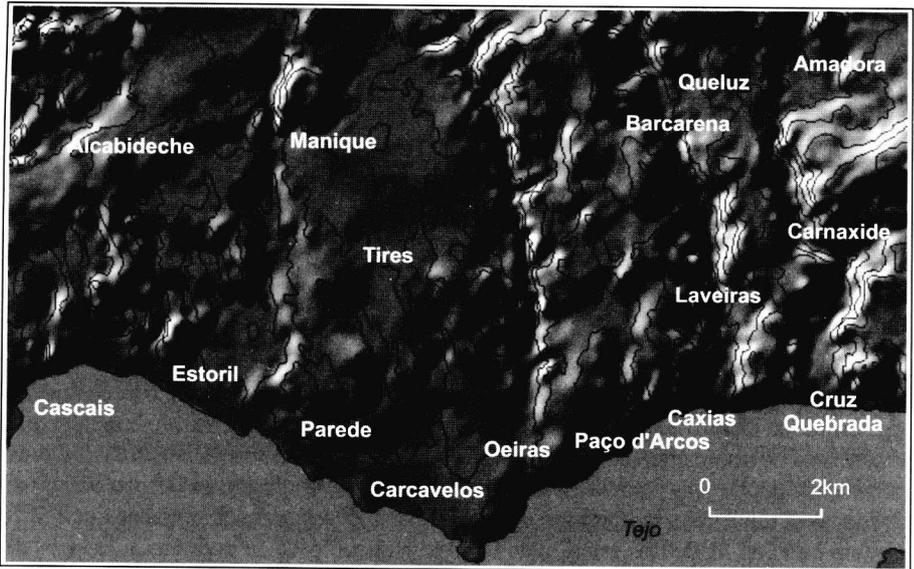


Fig. 1 a – O relevo do Sul da Península de Lisboa, entre o Vale do Jamor e Cascais.

Fig. 1 a – The relief of the South of the Peninsula of Lisbon, between the Jamor Valley and Cascais.

Através de vários estudos efectuados em áreas urbanas e suburbanas, tem-se procurado identificar algumas limitações climáticas que afectam os indivíduos e que o planeamento urbano e o ordenamento biofísico do território não devem ignorar. Em trabalhos anteriores, procurou-se reconhecer alguns fenómenos atmosféricos locais, como os ventos induzidos termicamente e o sistema de drenagem e acumulação de ar frio no fundo dos vales (LOPES, 1994b e 1995).

Em primeiro lugar, o arrefecimento nas noites anticiclónicas de inverno pode ocasionar episódios de frio, nas áreas topograficamente deprimidas, que levam ao desconforto térmico dos indivíduos (sobretudo daqueles que habitam em casas que não estão preparadas para o frio) ou a um excessivo consumo de energia para aquecimento.

Por outro lado, as noites anticiclónicas, calmas, sem nebulosidade e com uma forte estabilidade atmosférica, são propícias ao aparecimento de ventos fracos (inferiores a 3m/s), que podem transportar gases extremamente nocivos para áreas ocupadas pelo homem (BLUMEN, 1990, p. 2).

Os vales situados a oeste da cidade de Lisboa merecem uma atenção particular porque, para além da forte ocupação humana, são atravessados por uma das vias de maior tráfego automóvel da região: a auto-estrada Lisboa-Cascais (fig. 1a). A estabilidade atmosférica e a circulação automóvel são dois dos principais factores que contri-

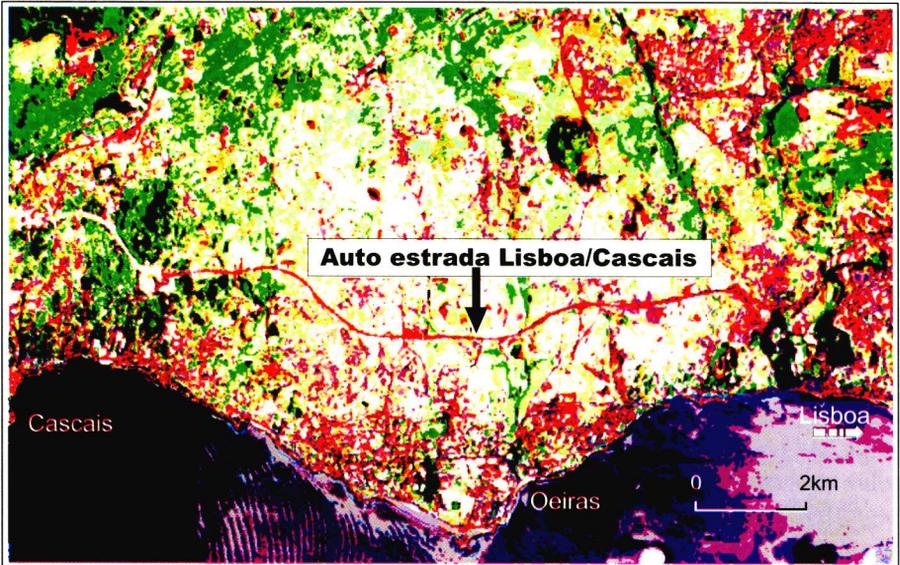
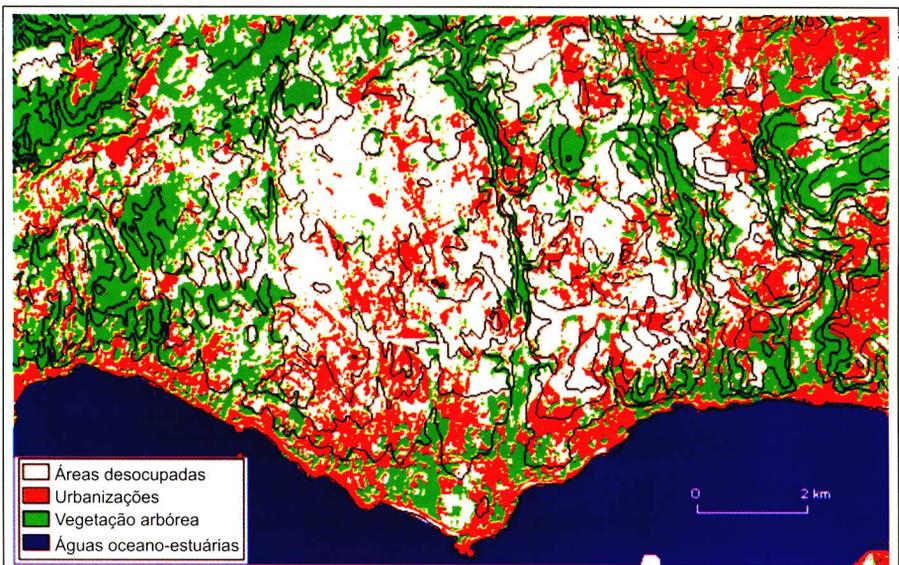


Fig. 1 b – Imagem composta a partir dos canais multi-espectrais SPOT2 HRV1 (XS2=R/XS3=G/XS1=B), de 1 de Julho de 1991.

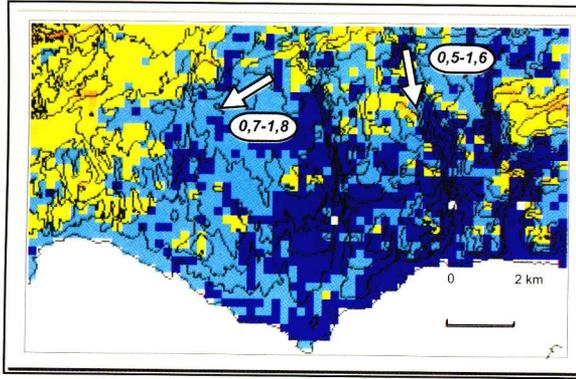
Fig. 1 b – Composite image from SPOT2 HRV1 multispectral channels (XS2=R/XS3=G/XS1=B), from the 1st of July 1991.

Fig. 4 – Classificação das estruturas que ocupam o solo sob o ponto de vista topoclimático, obtida com o algoritmo “maximum likelihood”.

Fig. 4 – Maximum likelihood classification for topoclimatic purposes.

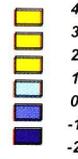


a



21 de Novembro de 1992

Desvios temp. média (°C)



b

16 de Janeiro de 1993

Direcção e velocidade do vento (m/s)



Desvios temp. média (°C)

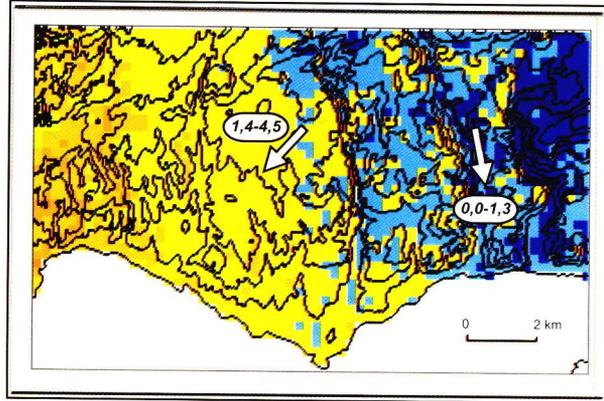


Fig. 5 - Temperaturas nocturnas estimadas a partir do modelo de regressão múltipla.

Fig. 5 - Night temperatures estimated with the multiple regression model.

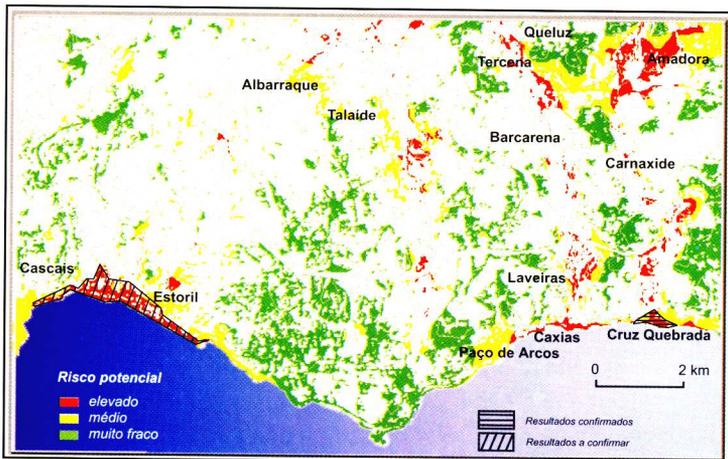


Fig. 8 - Risco potencial de acumulação de ar frio em áreas urbanas, nas noites anticiclónicas, calmas e sem nebulosidade.

Fig. 8 - Potential risk of cold air lakes in urban areas, during clear and calm anticyclonic nights.

buem para o aparecimento dos níveis mais elevados de poluição nas cidades e áreas suburbanas (ANDRADE, 1996, p. 64), tornando-se, portanto, imperioso conhecer o comportamento da camada limite da atmosfera e, sobretudo, a sua relação com o relevo e com as componentes humanas e naturais que ocupam a superfície.

Neste trabalho procura-se determinar quais são as principais variáveis topoclimáticas que explicam a variação espacial das temperaturas nas noites anticiclónicas de arrefecimento radiativo e a extensão, em área, de um dos padrões térmicos mais característicos: os lagos de ar frio no fundo dos vales.

Por outro lado, pretende-se dar continuidade à criação de documentos com interesse para o planeamento urbano. Por este motivo a área sobre a qual este estudo incide corresponde aos limites da folha 430 (Oeiras) do mapa na escala 1:25 000.

Esta área do sul da península de Lisboa é caracterizada por vales orientados no sentido norte/sul, com um relevo mais movimentado a leste e relativamente mais plano a oeste (fig. 1a, p. 26). Os topos não ultrapassam 220 m de altitude, observando-se, localmente, um desnível superior a 100 m entre as áreas mais elevadas e o fundo dos vales. No sul, o litoral contacta com o oceano Atlântico e o estuário do Tejo. Os maiores aglomerados urbanos (Cascais, Oeiras, Queluz e a cidade da Amadora) servem, sobretudo, de dormitórios a milhares de pessoas que se deslocam diariamente para a capital.

II – A INFORMAÇÃO UTILIZADA

Os estudos de topoclimatologia, considerada aqui como a interacção entre os elementos climáticos da camada limite e a superfície terrestre, deverão tomar em conta as características do terreno, tanto através da topografia e dos seus parâmetros de forma (declive, exposição, etc.), como através do modo como se distribuem os elementos naturais e antrópicos da paisagem.

As metodologias baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem constituir bases de dados que integram as componentes geográficas e climáticas que, *a priori*, são relevantes para os estudos dos climas locais e “espacializar” análises e resultados.

A constituição de uma base de dados deve ser, portanto, um ponto de partida, exigindo-se informação de qualidade para obter resultados satisfatórios. Infelizmente os dados ou ainda não existem em quantidade suficiente, ou não são adequados a estes tipos de estudos, tornando-se necessário proceder à sua recolha.

Nesta investigação utilizaram-se técnicas e variáveis explicativas do clima local já testadas noutros trabalhos (LOPES, 1994 b; ALCOFORADO, 1995; ANDRADE E LOPES, 1998). Além disso, tentaram-se novas abordagens metodológicas, que se tornaram possíveis devido à utilização de um sistema de informação geográfico bastante versátil e simples².

² Idrisi. *Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, USA.*

1 – A informação de base

A informação que serviu de base para todas as variáveis utilizadas foi a seguinte:

– Dois conjuntos de dados de temperaturas nocturnas recolhidas em campanhas itinerantes de medição (21 de Novembro de 1992 e 16 de Janeiro de 1993). Nestas duas noites anticiclónicas foram reconhecidos alguns padrões térmicos característicos das noites de arrefecimento radiativo, como a drenagem do ar frio, lagos de ar frio e cinturas térmicas (LOPES, 1994b).

– Um Modelo Digital do Terreno (MDT) construído a partir de um mapa digital na escala de 1:100.000, com equidistância de 25 m.

– Uma imagem multi-espectral do satélite SPOT 2 de 1 de Julho de 1991. A imagem é composta por três canais: o primeiro cobrindo a banda espectral de 0,50 a 0,59 λm (verde), o segundo (vermelho) de 0,61 a 0,68 λm e o terceiro, no infravermelho próximo, entre 0,79 e 0,89 λm . O tamanho do *pixel* (resolução) é de 20 m.

2 – A informação derivada

A partir do MDT e do tratamento das imagens multiespectrais SPOT foram extraídos vários níveis de informação, posteriormente compilados na base de dados.

2.1 – Valores e índices obtidos a partir do Modelo Digital do Terreno

a) A altitude.

b) A distância à margem esquerda do mapa e que corresponde ao factor longitude.

c) A distância ao oceano/estuário, que substituiu o factor latitude. A linha de costa é, grosso modo, paralela à margem inferior do mapa, existindo uma forte correlação entre estas duas variáveis. Optou-se por utilizar a distância ao oceano, porque apresentou melhores resultados no modelo de regressão utilizado para estimar as temperaturas nocturnas.

d) A exposição das vertentes com declive superior a 1°. As classes consideradas foram as exposições aos quadrantes Norte, Sul, Leste e Oeste.

e) A posição do lugar em relação ao relevo circundante contabilizada através de um índice topográfico. Este índice corresponde à diferença entre a altitude num *pixel* e a média das altitudes numa área de 125x125m, centrada nesse *pixel* (ANDRADE E LOPES, 1998).

2.2 – As estruturas que ocupam o solo, obtidas a partir dos canais SPOT

A partir dos três canais multi-espectrais do satélite SPOT foi elaborado um mapa das principais estruturas que ocupam o solo. As classes (áreas urbanizadas, arborizadas, espaços desocupados ou com vegetação rasteira, praias e pedreiras e as águas estuárias e oceânicas), foram obtidas através de uma classificação supervisionada. Esta técnica, que requer o conhecimento prévio dos tipos a categorizar e a sua identificação nas imagens a tratar, envolve três passos principais (LILLESAND e KIEFER, 1994: 587-604):

a) A primeira fase consiste na identificação de áreas representativas das classes pretendidas (fig. 2). Estes conjuntos (*training sites*) contêm uma descrição numérica dos atributos espectrais de cada uma das classes, em cada banda espectral. É um trabalho que requer alguma perícia e conhecimento da área de estudo, com uma inventariação feita no terreno. A figura 2 mostra os canais da imagens SPOT e algumas das áreas escolhidas. Para ajudar a identificar os locais mais representativos das classes, foram ainda elaboradas várias imagens derivadas da imagem de satélite, quer através da equalização dos histogramas de frequência (ou seja dos níveis de cinzento de cada canal), quer através da elaboração de imagens de síntese, compostas a partir da informação contida nos três canais e apresentadas em falsa cor (fig. 1b, p. 27).

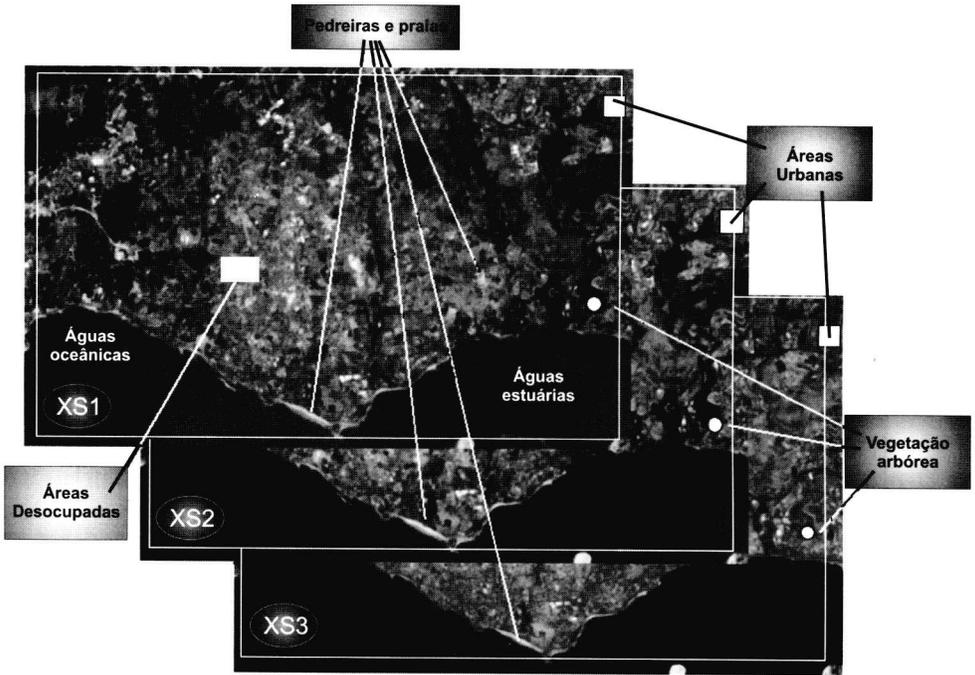


Fig. 2 – Algumas áreas-amostra, identificadas a partir dos três canais SPOT.
XS1 – Verde; XS2 – Vermelho; XS3 – Infravermelho próximo

Fig. 2 – Training sites from the SPOT multispectral channels.
XS1 – Green; XS2 – Red; XS3 – Near infrared.

Para a definição das áreas verdes foi utilizado um índice de vegetação normalizado (NDVI). Este índice é baseado na diferença dos valores entre o canal próximo infravermelho, caracterizado por níveis elevados de reflectância e fraca absorção das plantas verdes, e o canal vermelho, onde a reflectância espectral é baixa e dominada pela absorção (BELWARD, 1990: 31).

Depois de escolhidas as classes, o programa recolhe a informação espectral desses pedaços de terreno nos três canais e compila-a num ficheiro de “assinaturas espectrais” (valores numéricos característicos desse conjunto de *pixels*) em todas as bandas. Posteriormente, estes valores servirão de parâmetros característicos para a classificação. Na figura 3 apresentam-se as curvas de reflectância características de cada classe utilizada.

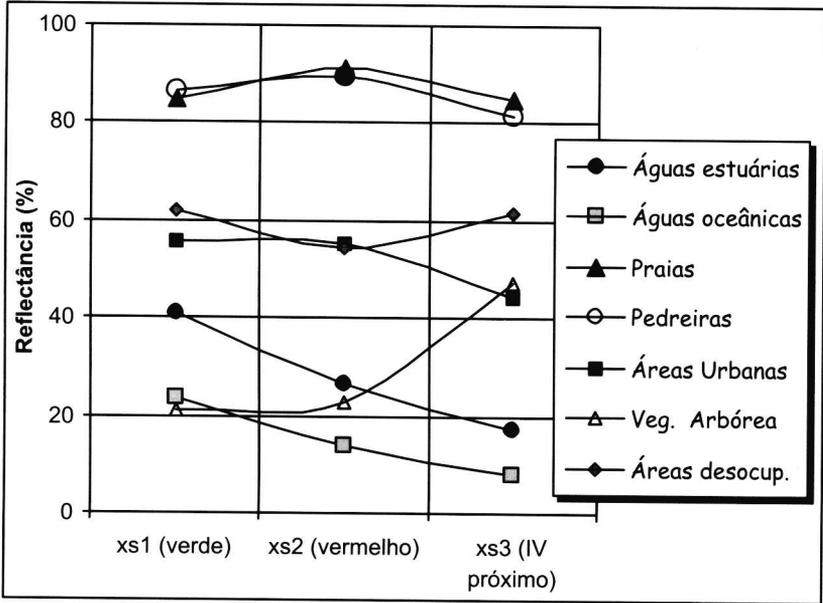


Fig. 3 – Características espectrais de algumas superfícies, a partir dos canais SPOT

Fig. 3 – Spectral characteristics of the surface derived from the SPOT image.

b) Na segunda fase, cada *pixel* da imagem é categorizado em função da sua semelhança com uma determinada classe. Neste caso utilizou-se um algoritmo de classificação conhecido por *maximum likelihood* que, das várias técnicas normalmente empregues, é aquela que oferece melhores resultados (EASTMAN, 1997: 11). Este algoritmo avalia a variância e a covariância dos valores espectrais das imagens e assume que a distribuição da nuvem de pontos das várias categorias (*training data*) é normal. Cada *pixel* é inserido na classe à qual tem maior probabilidade de pertencer. LILLESAND e KIEFER (1994: 589-596) explicam as vantagens e inconvenientes das técnicas mais utilizadas neste tipo de classificação.

c) A última fase corresponde à apresentação do mapa final (fig. 4, p. 27), onde se representam as classes pretendidas, constituindo mais um nível de informação que foi adicionado à base de dados. Algumas classes correspondem à junção com outras inicialmente propostas. Por exemplo, as praias foram adicionadas às pedreiras e aos solos nus ou com vegetação herbácea. Esta classe foi designada por “áreas desocupadas”. Finalmente deve-se referir que a última fase deverá culminar com a determinação da exactidão das classes do mapa, tendo sido comparados os tipos de ocupação verificados no terreno e as categorias obtidas na imagem classificada. A técnica consiste na elaboração de uma matriz que cruza os dois tipos de informação, obtendo-se um índice de precisão. Verificou-se que mais de 80% dos *pixels* estão correctamente classificados. As maiores imprecisões ocorrem na periferia das urbanizações envolvidas por áreas desocupadas, ou em áreas urbanas com muita vegetação.

3 – Constituição da base de dados

Para a constituição do SIG, a área estudada foi dividida, através de uma quadrícula, em unidades de 250 m de lado, tendo sido calculados os valores médios de cada uma das variáveis referidas, por unidade da quadrícula. Esta técnica foi já aplicada a um SIG para Lisboa por ANDRADE e LOPES (1998).

4 – O modelo de regressão múltipla para estimação das temperaturas nocturnas.

Com as temperaturas observadas em duas noites anticiclónicas (21 de Novembro de 1992 e 16 de Janeiro de 1993) e os valores obtidos pelo método da quadriculagem (variáveis explicativas), criou-se um modelo de regressão múltipla passo a passo. Esta técnica, já testada em meio urbano por ALCOFORADO (1995) e ANDRADE e LOPES (1998), apresenta a vantagem de se poder ir retirando, ao modelo numérico, as variáveis que, estatisticamente, são menos significativas para a explicação dos padrões térmicos nocturnos, permitindo assim otimizar os resultados e chegar a uma percentagem de explicação maior (Quadro I).

Quadro I – Resultados do modelo de regressão múltipla passo a passo, para interpolação das temperaturas.

Table I – Results of the multiple regression model for temperature interpolation.

Data	β (Variáveis explicativas mais importantes)					R	R ²	R Ajust.	F*
21 Nov. 1992	Altitude +1,0	Longitude -0,15	Exp. Leste -0,17	Dist. Oceano/estuário -0,54	Áreas Desoc. -0,37	0,60	0,36	0,20	2,3
16 Jan. 1993	Altitude +0,37	Longitude -0,68	Exp. Leste +0,50	Dist. Oceano/estuário -0,40	Áreas Urbanas 0,50	0,81	0,66	0,51	4,4

* Para o nível de probabilidade de 95%, o modelo é significativo para valores de F iguais ou superiores a 2,20.

c) A última fase corresponde à apresentação do mapa final (fig. 4, p. 27), onde se representam as classes pretendidas, constituindo mais um nível de informação que foi adicionado à base de dados. Algumas classes correspondem à junção com outras inicialmente propostas. Por exemplo, as praias foram adicionadas às pedreiras e aos solos nus ou com vegetação herbácea. Esta classe foi designada por “áreas desocupadas”. Finalmente deve-se referir que a última fase deverá culminar com a determinação da exactidão das classes do mapa, tendo sido comparados os tipos de ocupação verificados no terreno e as categorias obtidas na imagem classificada. A técnica consiste na elaboração de uma matriz que cruza os dois tipos de informação, obtendo-se um índice de precisão. Verificou-se que mais de 80% dos *pixels* estão correctamente classificados. As maiores imprecisões ocorrem na periferia das urbanizações envolvidas por áreas desocupadas, ou em áreas urbanas com muita vegetação.

3 – Constituição da base de dados

Para a constituição do SIG, a área estudada foi dividida, através de uma quadrícula, em unidades de 250 m de lado, tendo sido calculados os valores médios de cada uma das variáveis referidas, por unidade da quadrícula. Esta técnica foi já aplicada a um SIG para Lisboa por ANDRADE e LOPES (1998).

4 – O modelo de regressão múltipla para estimação das temperaturas nocturnas.

Com as temperaturas observadas em duas noites anticiclónicas (21 de Novembro de 1992 e 16 de Janeiro de 1993) e os valores obtidos pelo método da quadriculagem (variáveis explicativas), criou-se um modelo de regressão múltipla passo a passo. Esta técnica, já testada em meio urbano por ALCOFORADO (1995) e ANDRADE e LOPES (1998), apresenta a vantagem de se poder ir retirando, ao modelo numérico, as variáveis que, estatisticamente, são menos significativas para a explicação dos padrões térmicos nocturnos, permitindo assim otimizar os resultados e chegar a uma percentagem de explicação maior (Quadro I).

Quadro I – Resultados do modelo de regressão múltipla passo a passo, para interpolação das temperaturas.

Table I – Results of the multiple regression model for temperature interpolation.

Data	β (Variáveis explicativas mais importantes)					R	R ²	R Ajust.	F*
21 Nov. 1992	Altitude +1,0	Longitude -0,15	Exp. Leste -0,17	Dist. Oceano/estuário -0,54	Áreas Desoc. -0,37	0,60	0,36	0,20	2,3
16 Jan. 1993	Altitude +0,37	Longitude -0,68	Exp. Leste +0,50	Dist. Oceano/estuário -0,40	Áreas Urbanas 0,50	0,81	0,66	0,51	4,4

* Para o nível de probabilidade de 95%, o modelo é significativo para valores de F iguais ou superiores a 2,20.

Os coeficientes parciais de regressão normalizados (ou coeficientes β) mostram a importância de cada variável independente (CLARK e HOSKING, 1996: 344) e serão adiante analisados. Os valores de F mostram que as variáveis contribuem significativamente para a estimação das temperaturas nocturnas, validando o modelo de regressão múltipla. Os resultados do modelo serviram para interpolar as temperaturas das duas noites escolhidas (fig. 5, p. 28).

III – OS PADRÕES TÉRMICOS NOCTURNOS

1 – As condições sinópticas

O dia 21 de Novembro de 1992 foi marcado por uma forte estabilidade atmosférica e pela existência de um anticiclone superficial, que se estendia desde a Península Ibérica até ao Norte de África. Sobre Lisboa existia uma inversão térmica (entre 300 e 1200 m de altitude) e o fluxo provinha de leste. A temperatura observada no Aeroporto de Lisboa oscilou entre 9°C (mínima) e 16°C (máxima). O vento, sempre fraco, não ultrapassou 2 m/s, soprando de norte ao princípio da noite e rodando para leste a meio do dia. Durante toda a madrugada não foi observada nebulosidade.

No dia 16 de Janeiro de 1993, a região encontrava-se sob a influência de um anticiclone ibero-mediterrâneo com forte subsidência acima dos 300 m e ar húmido nas camadas mais baixas da atmosfera, traduzido por uma forte humidade relativa (superior a 83%). No Aeroporto de Lisboa a temperatura variou entre 7°C (mínima) e 15°C (máxima). Durante a madrugada o vento soprou fraco de leste (inferior a 2 m/s) e a nebulosidade era inferior a 2/8 de céu coberto (LOPES, 1994b).

2 – As condições atmosféricas locais e os padrões térmicos nocturnos

A distribuição da temperatura durante as duas situações estudadas é típica das noites de arrefecimento radiativo. Na presença de vento muito fraco, o ar mais arrefecido tende a descer as vertentes por força da gravidade, acumulando-se no fundo de vales e formando lagos de ar frio. No meio das vertentes pode-se individualizar uma cintura térmica, caracterizada por temperaturas ligeiramente mais elevadas (NAKAMURA, 1976; LOPES 1994b e 1995). A análise comparativa entre as duas noites permite distinguir alguns aspectos da repartição das temperaturas que as diferenciaram, sobretudo no modo como o ar frio se acumulou no fundo dos vales (fig. 5). De referir que as cores nos mapas da figura não representam a mesma escala de temperaturas, apenas pretendem mostrar as áreas mais ou menos frias em cada situação. São por isso representados os desvios em relação à média estimada em toda a área.

As principais diferenças observadas nos parâmetros meteorológicos recolhidos residem, sobretudo, na velocidade do vento. No dia 21 de Novembro, o vento era muito fraco de nordeste, com velocidade inferior a 1,8 m/s. Canalizado pelos vales, o vento soprava de norte com velocidade entre 0,5 e 1,6 m/s. Na madrugada de 16 de Janeiro, o vento, também de nordeste, variava entre 1,4 e 4,5 m/s. Estes valores eram, no geral, mais elevados do que em 21 de Novembro. Nos vales abrigados soprava de norte com velocidade inferior a 1,3 m/s.

Em ambos os casos a temperatura mais baixa foi observada nos locais topograficamente deprimidos (8°C em 21 de Novembro e 7°C em 16 de Janeiro).

A importância do vento no padrão térmico

A relação entre a drenagem do ar frio e o vento geostrófico ainda não é perfeitamente conhecida. No entanto, sabe-se que, quando os ventos gerais são fortes, a drenagem tende a ser incipiente, mas quando são fracos ela encontra condições para ocorrer em toda a extensão dos vales (WHITEMAN, 1990: 36).

Nos dois casos estudados, o vento parece ser um dos factores explicativos mais importantes na diferenciação térmica: quando é mais fraco (21 Novembro) a drenagem e acumulação do ar frio é generalizada; quando o vento é mais forte (16 de Janeiro), o ar frio acumula-se, ainda que de uma forma mais ténue, apenas nos vales mais encaixados e abrigados do vento predominante, na parte leste.

Outros factores que originam os contrastes térmicos

O valor de β da variável “distância ao oceano/estuário”, obtido no modelo de regressão múltipla, (-0,54, Quadro I) comprova a existência de um contraste térmico norte/sul, sobretudo na madrugada de 21 de Novembro. Esta variável foi a mais importante, a seguir à altitude (+1.0), que representa a forte acumulação do ar frio no fundo dos vales.

O contraste térmico oeste/leste (fig. 5b) é mais evidente em 16 de Janeiro, onde a variável explicativa mais importante é, sem dúvida, o factor longitude (com um valor de β de -0,68) e decorre da dissimetria do relevo nesta região (fig. 1b) e, mais uma vez, da velocidade do vento. Quando ele sopra com maior intensidade, os vales mais encaixados, a leste, são os únicos locais onde o ar frio se acumula. Na superfície a oeste, relativamente mais plana e, portanto, mais exposta ao vento, o ar frio que se gera localmente pela irradiação terrestre não se generaliza.

O arrefecimento radiativo nas áreas sem ocupação, ou apenas com vegetação rasteira, pode ser importante para explicar o arrefecimento da atmosfera junto ao solo, quando o vento é fraco, como foi observado em 21 de Novembro ($\beta=-0,37$ – quadro I). Com vento ligeiramente mais forte (16 de Janeiro) os núcleos urbanos tiveram uma maior influência na repartição térmica ($\beta=+0,50$). Os edifícios constituem uma “barreira” à progressão do ar mais arrefecido e cedem, à noite, a energia acumulada de dia, impedindo o arrefecimento rápido da atmosfera urbana (ALCOFORADO, 1992: 158).

IV – AS ÁREAS COM MAIOR PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE LAGOS DE AR FRIO.

A última parte desta investigação procura dar resposta a duas questões que são bastante importantes para o planeamento urbano: a primeira diz respeito à identificação das áreas que são, sob o ponto de vista da morfologia do terreno, mais propícias à ocorrência de fenómenos de drenagem e acumulação de ar frio; a segunda procura identificar as áreas urbanas que estão nestas condições.

Perspectivou-se uma abordagem teórica a estas duas questões, partindo do princípio que existem condições ótimas de arrefecimento radiativo e ocorrência de lagos de ar frio. O problema consiste em definir quais são as áreas que estão mais sujeitas à recepção do ar frio.

Não é possível obter automaticamente as áreas deprimidas a partir do Modelo Digital do Terreno (referido no ponto I.1), porque ele contém as altitudes absolutas. Efectivamente, um fundo de vale que esteja situado no norte da área de estudo, pode encontrar-se a uma cota superior a um topo mais próximo do litoral. A resolução do problema (esquematisada na figura 6) passa pela criação de um novo MDT que contenha, não as altitudes absolutas, mas as diferenças em relação a um relevo “médio” (altitudes relativas). Isto foi conseguido através da subtração de uma superfície de tendência estatística do relevo (cujos valores são calculados através de uma equação polinomial) às altitudes no MDT. O resultado é uma imagem onde estão representadas as altitudes relativas (fig. 6). Os valores inferiores a zero correspondem a áreas topograficamente deprimidas.

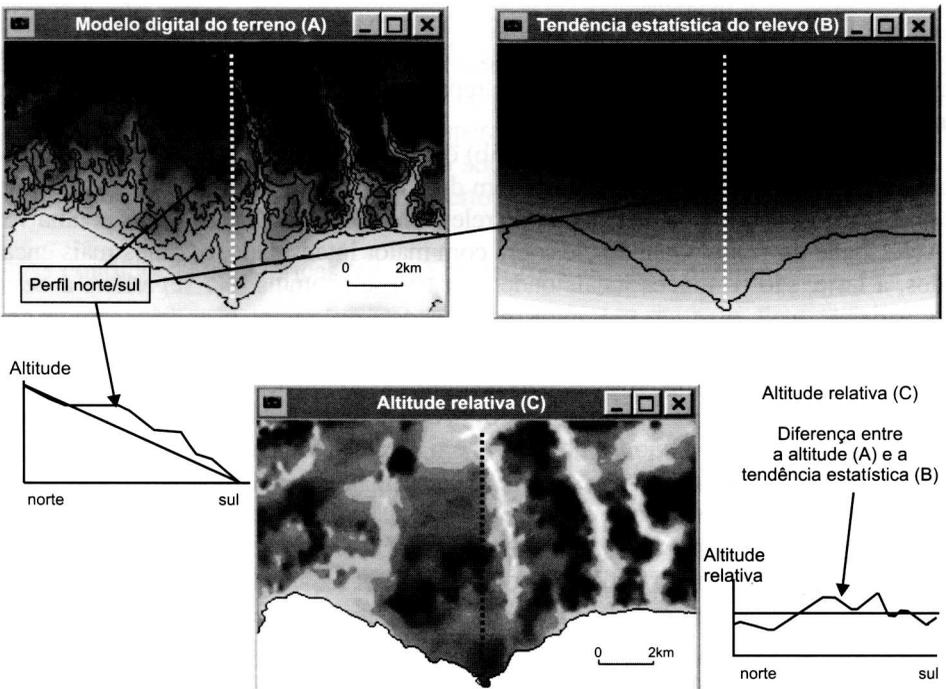


Fig. 6 – Esquema para a obtenção das altitudes relativas, onde se definem as áreas potencialmente receptoras de ar frio.

Fig. 6 – Scheme to obtain relative altitude maps, for the definition of potential areas for cold air lakes.

A partir desta informação foram construídos mapas com as áreas onde os lagos de ar frio podem atingir 10, 20, 30, 40, 50 e 60 m de espessura (fig. 7). A técnica utilizada (EASTMAN, 1997: 9-29) permite calcular a probabilidade de cada *pixel* exceder um determinado valor de altitude relativa, em cada um dos níveis apresentados na figura 7.

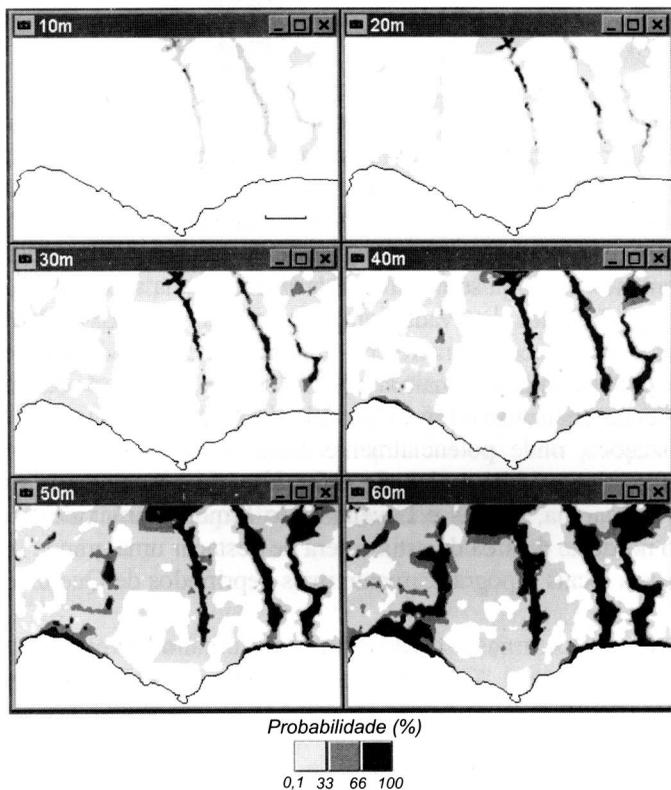


Fig. 7 – Probabilidade de um pixel estar localizado numa área deprimida (para várias espessuras de lagos de ar frio).

Fig. 7 – Probability of any pixel in a depression area, for several cold air lake thicknesses.

Como exercício de leitura desta informação tome-se o exemplo do nível de 60 m na figura 7. As áreas representadas a preto são aquelas que possuem mais de 80 % de probabilidade de serem ocupadas por um lago de ar frio com uma espessura de 60m, nas noites calmas de Inverno. Essa probabilidade é muito menor ou praticamente nula em áreas mais elevadas, sobretudo nos topos das vertentes (cinzento claro).

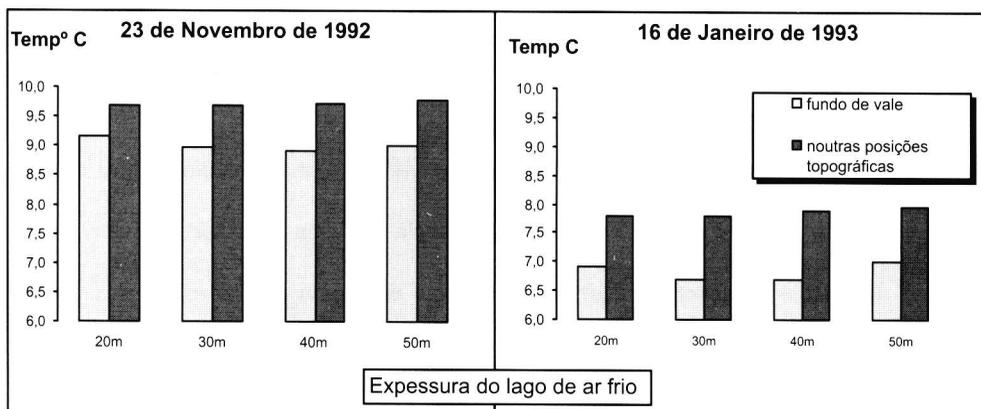


Fig. 9 – Temperaturas nocturnas em áreas urbanas, em fundo de vale e noutras posições topográficas.

Fig. 9 – Night temperatures of urban areas in the valleys and in other topographic situations.

Por último será de referir que todas as incertezas que se levantaram no decurso deste trabalho decorrem da natureza relativamente grosseira da informação inicialmente utilizada (1:100 000). Futuras investigações, apoiadas em mais informação e, sobretudo, de maior pormenor, permitirão obter resultados mais fiáveis e representativos da realidade topoclimática do sul da península de Lisboa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às Professoras Suzanne Daveau, Maria Eugénia Moreira e Maria João Alcoforado, a leitura e os comentários ao texto original.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOFORADO, M. J. (1992) – *O Clima da Região de Lisboa. Contrastes e Ritmos térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, n.º 15, 347 p.
- ALCOFORADO, M. J. (1995) – L'extrapolation spatiale des données thermiques en milieu urbain. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 7, Toulouse:493-502.
- ANDRADE, H. e LOPES, A. (1998) – A utilização de um SIG para a estimação de temperaturas em Lisboa. *Clima e ambiente urbano em cidades ibéricas e iberoamericanas*, In (F. Fernandez Garcia, E. Galán Gallego e R. Canada Torrecilla (coord.), Ed. Parteluz, Madrid:85-91.
- BELWARD, A. S. (1990) – Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible, near-infrared and middle-infrared wavelengths. In BELWARD e VALENZUELA (Ed) – *Remote sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*, Remote sensing, I, Kluwer Academic Publishers:31-53.

A sequência da figura 7 permite acompanhar a expansão teórica do ar frio que se acumula no fundo dos vales e nas áreas deprimidas.

A segunda questão, como já se referiu, consiste em saber que percentagem de áreas urbanas poderão estar sob a influência destes episódios de frio, durante as noites de arrefecimento radiativo.

Para responder a esta questão recorreu-se novamente à ocupação do solo apresentado em I.2.2, donde se extraíram as áreas urbanizadas. Essa informação foi cruzada com o mapa que representa as áreas onde um lago de ar frio tem 50% de probabilidade de atingir um máximo de 50 m (fig. 7e). A escolha deste valor para a espessura do lago de ar frio ficou a dever-se ao facto de ter já sido observado noutra investigação sobre o tema (LOPES, 1995: 158).

Depois de cruzados os dois níveis de informação estimou-se que, de toda a área estudada, 35% das áreas urbanizadas se encontram nesta situação. Convém, no entanto, referir que este valor poderá estar sobrevalorizado. Como se observa na figura 8 (p. 28), uma parte considerável das áreas urbanas em posição topograficamente deprimida encontra-se localizada junto ao Tejo (caso da faixa litoral entre Algés e Paço de Arcos) e na Baía de Cascais e, portanto, nem todas sofrerão sempre a influência da drenagem do ar frio. No entanto, como já se mostrou anteriormente (na situação de 21 de Novembro de 1992 – fig. 5a), foram observadas temperaturas baixas na foz do Jamor, denotando acumulações de ar frio a poucos metros do Tejo. Neste caso, todo o sistema de drenagem transporta, para jusante, o ar mais arrefecido que se forma em cotas mais elevadas, ajudando a alimentar em ar frio o fundo dos vales junto ao litoral (LOPES 1994: 144).

As urbanizações, onde potencialmente estes fenómenos poderão ocorrer com maior intensidade (risco médio a elevado – fig. 8³), encontram-se nos vales de Barcaarena (Tercena, Barcarena, Caxias e Laveiras), do Jamor (Carnaxide) e em Talaíde e Albarraque. No nordeste da área de estudo será de destacar uma grande mancha urbana correspondente aos locais topograficamente mais deprimidos de Queluz e da cidade da Amadora.

As temperaturas nocturnas estimadas em meio urbano (apresentadas no ponto II) são, em média, cerca de um 1 °C mais baixas no fundo dos vales, do que noutras posições topográficas (fig. 9).

V – NOTAS FINAIS

Embora a frequência de episódios nocturnos de frio, associados às noites anticiclónicas de arrefecimento radiativo, esteja ainda por determinar na região de Lisboa, não será de desprezar a influência que estes fenómenos climáticos locais terão sobre os habitantes das áreas urbanas que se estudaram. A questão é relevante na medida em que as áreas mais vulneráveis são constantemente ocupadas por novas urbanizações, nas quais a maioria dos edifícios não está preparada para o frio. Isto leva, certamente, ao desconforto térmico dos indivíduos e ao aumento do consumo de energia.

³ Considerou-se que apresentam “risco médio”, todas as áreas urbanas que têm até 50 % de probabilidade de estarem na área de influência de um lago de ar frio com 50m de espessura em situações anticiclónicas. Acima de 50 % considerou-se que há “risco elevado”.

- BLUMEN, W. (1990) – Mountain meteorology. In *Atmospheric processes over complex terrain*. Meteorological Monographs, American Meteorological Society, Boston, 23(45):1-4.
- CLARK, W. A. e HOSKING, P. L. (1996) – *Statistical methods for geographers*. J. Wiley, New York, 518 p.
- EASTMAN, R. (1997) – *Idrisi for Windows user's guide e Tutorial exercises*, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, USA.
- LILLESAND, T. e KIEFER, R. (1994) – *Remote sensing and image interpretation*. Third edition. John Wiley & Sons. New York, 750 p.
- LOPES, A. (1994a) – Interpolação de Temperaturas à Escala do Clima Local, *Geosistemas*, 3:153-159, Lisboa.
- LOPES, A. (1994b) – *Padrões térmicos do clima local na região de Oeiras*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Regional, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 220 p.
- LOPES, A. (1995) Drenagem e acumulação de ar frio em noites de arrefecimento radiativo. Um exemplo no vale de Barcarena (Oeiras), *Finisterra*, Lisboa, XXX(59-60):149-164.
- NAKAMURA, K. (1976) – The nocturnal cold air drainage and distribution of air temperature on the gentle slope. *Geographical Review of Japan*, 49 (6): 380-387.
- OKE, T. R. (1993) – *Boundary layer climates*. Routledge, London, 435 p.
- WHITEMAN, C. D. (1990) – Observation of thermally developed wind systems in mountainous terrain. In *Atmospheric processes over complex terrain*. Meteorological Monographs, American Meteorological Society, Boston, 23(45):5-42.