

Condições teóricas de dispersão atmosférica de poluentes na área de Coimbra-Souselas - A perspectiva topoclimática da implantação de uma co-incineradora de resíduos tóxicos em Souselas.

Nuno Ganho *

Resumo:

Neste artigo analisam-se as condições teóricas de dispersão de poluentes na área urbana de Coimbra-Souselas, na perspectiva topoclimática, relacionadas com a potencial implantação de uma co-incineradora de resíduos tóxicos em Souselas.

Palavras chave:

Topoclimatologia, dispersão de poluentes, co-incineração, Coimbra-Souselas.

Résumé:

Dans cet article on analyse les conditions théoriques de dispersion de polluants dans l'aire urbaine de Coimbra-Souselas, dans la perspective topoclimatique, en relation avec la potentiel implantation d'une co-incinératrice de residus toxiques à Souselas.

Mots clés:

Topoclimatologie, dispersion de polluants, co-incinération, Coimbra-Souselas.

Abstract:

In this paper we analyse the theoretical conditions of pollutants diffusion in the urban area of Coimbra-Souselas, in the topoclimatic perspective, related to a potential implantation of toxical residues co-incinerator in Souselas.

Key words:

Topoclimatology, pollutants diffusion, co-incineration, Coimbra-Souselas.

Introdução

As condições atmosféricas intervenientes na capacidade de dispersão de poluentes, a partir da fonte, são essencialmente duas: o vento (direcção e velocidade), que determina a dispersão horizontal, e a estrutura térmica vertical da baixa atmosfera, que condiciona a dispersão vertical. Quando coexistem condições de vento fraco e de aumento da temperatura, na vertical, nas primeiras centenas de metros da atmosfera - estratificação térmica inversa ou inversão térmica (fig. 1) -, a capacidade atmosférica de dispersão de poluentes é fortemente constringida, por inibição de movimentação (estagnação) e de renovação do ar, nas áreas próximas da fonte poluidora.

* Instituto de Estudos Geográficos e Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.

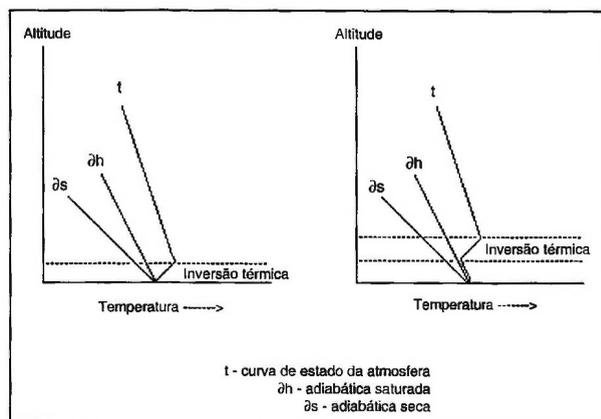


Fig.1 - Condições atmosféricas inibidoras da dispersão de poluentes.

Por seu lado, a direcção e velocidade do vento, à superfície, e a estrutura térmica vertical da baixa atmosfera, são fortemente determinadas pela morfologia local do terreno (topografia). Os vales canalizam os ventos, alterando-lhes significativamente a direcção dominante numa determinada área, criam turbilhões de eixo horizontal e paralelo à sua orientação - "rotores" (fig. 2) -, especialmente quando a direcção do vento é transversal ao vale (Y. GOLDREICH, 1984), e são, também, áreas de drenagem e acumulação, por gravidade, de ar arrefecido pela base por irradiação nocturna - "lagos de ar frio" (fig. 3) -, especialmente com condições de tempo de fraca nebulosidade ou ausência de nubes. Os vales são, então, por excelência, áreas de forte incidência de inversões térmicas e por isso de condições privilegiadas de acumulação de poluentes (M. M. YOSHINO, 1984).

Tais condições são potencialmente agravadas quando estes vales se desenvolvem, entre colinas, na base de serras com alguma importância topográfica. O ar obrigado a transpor estes relevos salientes, em função dos desníveis existentes, no seu movimento de descida ao longo das vertentes - subsidência catabática -, comprime-se e aquece adiabaticamente, originando inversões térmicas de subsidência que reforçam os efeitos de inversões térmicas de irradiação (fig. 4), no "tamponeamento" da dispersão vertical de poluentes por diminuição da espessura da "camada de mistura", aquela onde a turbulência assegura a movimentação vertical do ar, ou convecção (T. R. OKE, 1987).

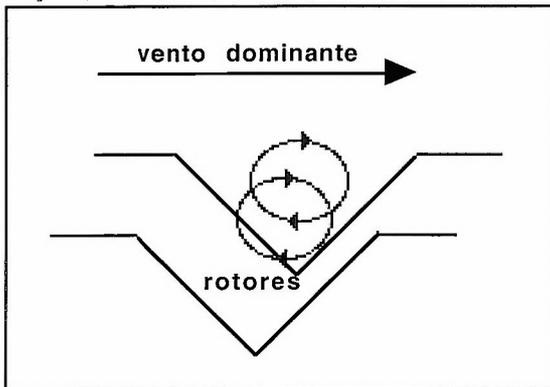


Fig. 2 - Formação de "rotores" em vales de direcção transversal ao vento dominante.

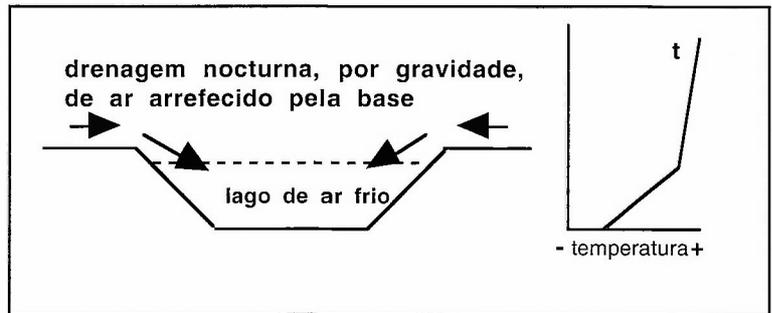


Fig. 3 - Drenagem e acumulação, por gravidade, de ar arrefecido pela base por irradiação nocturna, formando lago de ar frio.

Enquadramento topográfico da área de Coimbra-Souselas

O enquadramento topográfico da área de Coimbra-Souselas (fig. 5) é precisamente idêntico ao que se acabou de referir. Grande parte da cidade ocupa uma forma deprimida ("depressão da Arregaça") e uma colina ("colina de Celas"), na margem direita do vale do Mondego, no sopé de um relevo saliente de dimensões importantes, imediatamente a Leste ("Maciço Marginal de Coimbra"), do qual fazem parte, de Sul para Norte, as Serras do Roxo (510m), da Aveleira (535m), da Fontinheira (518m) e de Guembre (437m). Semelhante sistema topográfico desenvolve-se na

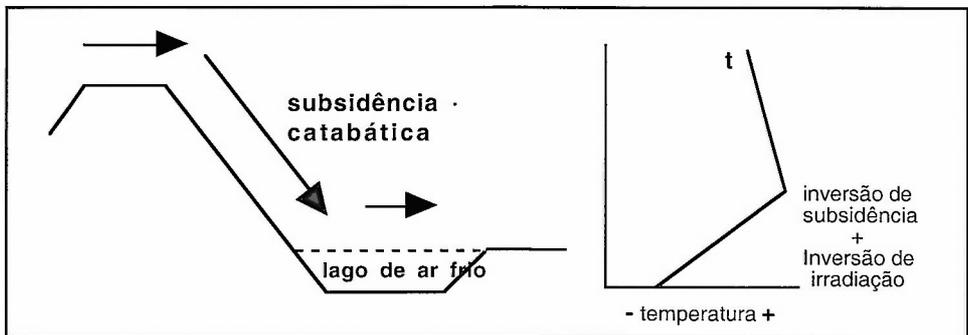


Fig. 4 - Reforço de inversões térmicas de irradiação por subsidência catabática de ar, ao longo de vertentes de relevos salientes com alguma importância topográfica.

periferia Norte de Coimbra, nos contrafortes destas serras: um conjunto de cristas topográficas que não ultrapassam os 200m de altura, separadas por vales relativamente profundos, cujos fundos estão a cotas de 40 a 20 metros, sensivelmente. São os vales de Coselhas (orientação geral ENE-WSW), imediatamente a Norte, seguido do de Eiras (E-W) e ainda mais a Norte o vale do Rio dos Fornos (NE-SW), onde se localiza Souselas. Todos desembocam no início dos "Campos do Mondego", no sector NW de Coimbra.

A distância que separa, em linha recta, a mancha de maior densidade de povoamento urbano da cidade

de Coimbra, de Souselas, a Norte, pouco ultrapassa os 7km.

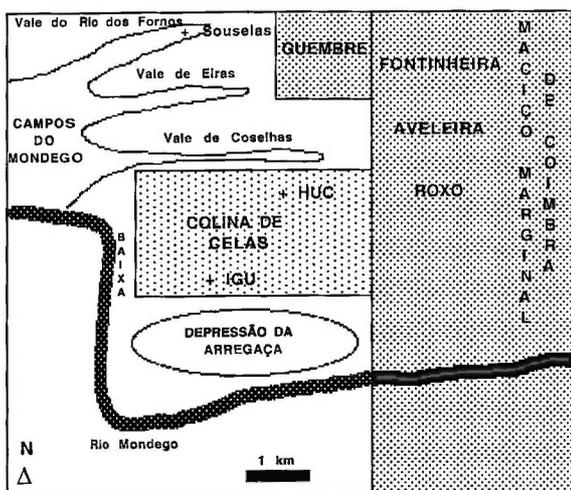


Fig. 5 - "Croquis" de enquadramento morfológico da área Coimbra-Souselas.

A fisionomia do relevo de toda esta área, condiciona localmente, como se disse, a circulação e a estrutura térmica vertical da baixa atmosfera, de forma diversificada em função de diferentes condições de tempo, inferida de observações empíricas efectuadas desde há vários anos, de fenómenos meteorológicos directa ou indirectamente indicadores da dinâmica local do ar, e de estudos científicos no âmbito da Topoclimatologia Urbana de Coimbra. Os resultados, já divulgados em diversificados trabalhos (L. LOURENÇO, 1987; N. GANHO, 1992, 1995a, 1995b, 1995c, 1995d, 1996a, 1996b, 1998a, 1998b), permitem, com segurança, extrapolar os conhecimentos adquiridos para o comportamento teórico das condições de dispersão de poluentes e riscos de poluição, na área de Coimbra-Souselas, determinados pela implantação de uma co-incineradora de resíduos tóxicos em Souselas, que, sucintamente, se passam a apresentar.

Os fluxos dominantes e a interacção com a topografia. A diversidade de condições teóricas de dispersão de poluentes

Os fluxos do quadrante de NW

De acordo com os referidos trabalhos, na estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade (IGU), localizada na "colina de Celas" a 141m, os ventos dominantes sopram do quadrante de NW, com uma frequência anual de praticamente 50% (fig. 6): 30% de NW, 13% de W e 6% de N (N. GANHO, 1992 e 1998b). A frequência de ventos destes rumos é significativamente maior nos meses de Verão (fig.

7), ultrapassando 75% das situações nesta altura do ano, e também maior durante a tarde, em 75% das observações às 18h (N. GANHO, 1998b).

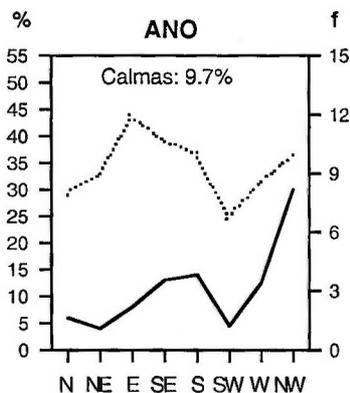


Fig. 6 - Frequência (%) e velocidade média (f em km/h) mensal e anual do vento, por rumo, em Coimbra-IGU.

Frequência: período 1961-90.
Velocidade média: período 1961-80.
(Extraído de N. GANHO, 1998b, p. 122).

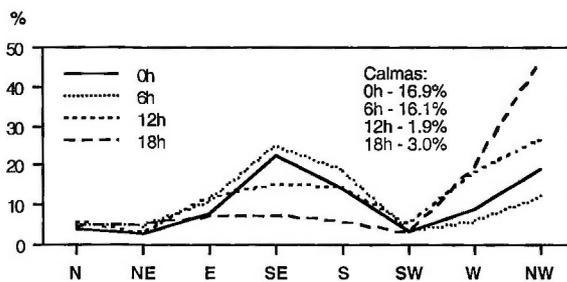


Fig. 7 - Frequências relativas horárias (0, 6, 12 e 18h UTC) de direcção do vento, por rumo, no IGU.

(Amostra: 2192 dias do período de 1 de Janeiro de 1988 a 31 de Dezembro de 1993).
(Extraído de N. GANHO, 1998b, p. 123)

Ora, tais circulações fazem-se então, precisamente, de Souselas para Coimbra, mas os seus potenciais efeitos na capacidade de dispersão de poluentes na baixa atmosfera da área são variáveis.

Durante a tarde, no Verão, constituem fluxos relativamente rápidos ("nortada") e com uma estrutura térmica vertical da baixa atmosfera instável por aquecimento do ar pela base, o que associado à turbulência dinâmica imposta pelo atrito com a superfície topográfica, se traduz numa camada de mistura espessa e com grande capacidade de dispersão vertical e horizontal dos poluentes. No entanto, a interacção destes fluxos com a topografia pode criar localmente situações potenciais de diminuição da qualidade do ar, de carácter espacialmente contrastado. Nomeadamente a formação de rotores no vale de Souselas, aí retendo uma parte dos poluentes, bem

como a formação de rotores de maiores dimensões, paralelos às vertentes das serras do “Maciço Marginal de Coimbra” e por elas criados, transportando os poluentes, na horizontal em direcção à cidade e na vertical subsidindo para a cidade, até à superfície.

Durante a noite, no Verão, estes fluxos constituem, na maior parte das vezes, a “invasão” de uma camada de ar marítimo proveniente do Atlântico, pouco espessa e significativamente mais fresca do que o ar suprajacente, cuja intrusão espacial se faz até, pelo menos, às vertentes do “Maciço Marginal”. O fenómeno ocorre normalmente ao início da noite, após a passagem da “frente de nortada” (D. B. FERREIRA, 1989), e é acompanhado por uma diminuição da velocidade do vento e um constrangimento vertical da camada de mistura, limitada a baixa altitude por uma forte inversão térmica. Estão assim criadas condições para uma menor capacidade de dispersão dos poluentes. A substituição de uma circulação continental de Leste, por uma circulação deste tipo, ao fim da tarde do dia 23 de Julho de 1993, dia em que ocorreu um grande incêndio florestal na Serra da Boa Viagem (40km a W de Coimbra), envolveu repentinamente toda a cidade, por volta das 20h, numa densa nuvem de fumo à superfície, tornando durante algumas horas a visibilidade muito reduzida e o ar irrespirável.

Acresce-se ainda que, a diminuição da velocidade do fluxo, nestas situações, permite o funcionamento do escoamento e acumulação do ar arrefecido pela base ao longo da noite nos vales da área, ocupados por “lagos de ar frio” de forte intensidade, como está documentado para o vale de Coselhas (N. GANHO, 1998b) e se pode extrapolar para o vale de Souselas, tornando assim os locais deprimidos da área fortemente privilegiados na acumulação de poluentes. A drenagem do ar do vale de Souselas para SW e a sua transposição através das colinas de baixa altitude que o separam de Coimbra, fomentam uma potencial diminuição da qualidade do ar, quer na colina de Celas, onde se localiza o Hospital da Universidade (HUC), abaixo do topo da estratificação térmica inversa (como se pode constatar frequentemente através da observação do comportamento da pluma de fumo da incineradora desta unidade hospitalar), quer na Baixa da cidade ou na área residencial da depressão da Arregaça.

As situações de vento fraco ou de “calma”

Comportamento muito semelhante ao descrito no parágrafo anterior, do ponto de vista de circulação local do ar e de estrutura térmica vertical da baixa atmosfera, e consequentemente na dispersão dos poluentes em e desde Souselas, verifica-se nas situações nocturnas de ausência de vento, com uma frequência

anual de ocorrência, no IGU, de 10% (fig. 6), sem contrastes sazonais significativos (N. GANHO, 1998b), frequência fortemente acrescida no fundo dos vales pela sua situação de abrigo.

Nestas condições de “calma” sinóptica nocturna, há que acrescentar ao quadro do comportamento local dos escoamentos do ar a influência da “ilha de calor” urbano. Com efeito, é nestas situações que a ilha de calor de Coimbra - ou seja, que o contraste térmico positivo entre o espaço urbanizado e o espaço periurbano com menor grau de ocupação urbana do solo - atinge maior magnitude. Nomeadamente nos núcleos mais quentes situados na “Baixa” e na “Depressão da Arregaça”, identificados e localizados em anteriores trabalhos (N. GANHO, 1992, 1995a, 1995b, 1995c, 1995d, 1998b), e que, embora de intensidade variável em função das condições de tempo, atingem frequentemente 3, 4 ou 5°C. Não tendo sido estudada a tridimensionalidade da ilha de calor de Coimbra, é um facto que estes contrastes térmicos espaciais se projectam nas primeiras centenas de metros da atmosfera, constituindo um “domo quente”, de carácter turbulento, de origem termoconvectiva e com o conseqüente efeito de “aspiração” centripeta do ar dos espaços circundantes. Este tipo de circulação induzida pela cidade, contribuirá para acentuar os fluxos catabáticos nocturnos, desde Souselas, através do respectivo vale, em direcção ao núcleo quente da ilha de calor de Coimbra da “Baixa”, assim como para a “Colina de Celas” e para a “Depressão da Arregaça”, “aspirados” pelo núcleo de calor urbano localizado nestas áreas da cidade. Em ambos os casos, as conseqüências traduzir-se-iam numa diminuição local da qualidade do ar, de origem alóctone, que não poderão ser desprezadas.

Os fluxos do quadrante de SE

No IGU, a seguir ao quadrante de NW, é do quadrante de SE que com maior frequência sopram os ventos (fig. 6), totalizando praticamente 34% das observações anuais: 14% de S, 12% de SE, e 8% de E (N. GANHO, 1992 e 1998b). A frequência de ventos destes rumos é, agora, significativamente mais importante nos meses de Inverno, atingindo praticamente 75% das situações nesta altura do ano, sendo também maior durante a noite e a madrugada (fig. 7), com um total de 45% a 50% das observações às 0h e 6h (N. GANHO, 1998b).

Aparentemente, circulações destes rumos, dispersariam os poluentes emitidos por Souselas em direcção oposta à cidade de Coimbra, mas a interacção destes fluxos com a morfologia regional e local do terreno, torna a realidade mais complexa e menos optimista do ponto de vista da qualidade do ar, especialmente durante os períodos nocturno e de madrugada.

Grande parte das vezes, os fluxos do quadrante de SE, correspondem a circulações lentas que deixam as áreas deprimidas, como o vale de Souselas, numa situação de abrigo topográfico e estagnação do ar, favoráveis ao desenvolvimento nocturno, só por si, de estratificações térmicas inversas de irradiação associadas aos lagos de ar frio e constrangedoras da dispersão vertical e horizontal dos poluentes.

Por outro lado, em situação de abrigo de escoamentos regionais, os escoamentos locais ao longo dos vales ganham autonomia e, conseqüentemente, em função da drenagem do ar ao longo do vale de Souselas - semelhante à observada frequentemente no vale de Coselhas, ou num outro pequeno vale da cidade, o vale da Av. Sá da Bandeira, analisada e discutida cientificamente em anteriores trabalhos (N. GANHO, 1996a e 1998b) - o transporte de poluentes faz-se da fonte para SW, perpendicularmente ao fluxo dominante, podendo penetrar na baixa atmosfera urbana da Baixa coimbrã. Ou até, se o topo da inversão térmica ultrapassar a altura das colinas entre Souselas e Celas (situação muito frequente, evidenciada pelo comportamento da pluma da incineradora do HUC), em função dos escoamentos subsidentes ao longo das vertentes do "Maciço Marginal" e do efeito de "aspiração" determinado pela ilha de calor, permitir o transporte de poluentes até à colina de Celas, chegando eventualmente ao lago de ar frio da depressão da Arregaça, diminuindo fortemente a qualidade do ar nas áreas da cidade de maior densidade populacional, em geral, e na área do HUC, para além da sua concentração nas proximidades da fonte, em Souselas, e áreas habitacionais a jusante do vale.

Com uma frequência menor, estimada em 8 a 10% das circulações nocturnas do quadrante de SE (N. GANHO, 1998b), os fluxos são rápidos, originando contrastes espaciais locais de direcção e velocidade do vento, na área, muito marcados, assim como fortíssimos contrastes térmicos espaciais e verticais inversos (N. GANHO, 1992, 1995c, 1995d, 1998b). Com efeito, estes fluxos obrigados a transpor as vertentes das serras do "Maciço Marginal", e sujeitos a forte subsidência catabática, criam inversões térmicas de subsidência, muito intensas sobre toda a área, reforçando, nos locais mais baixos como os vales ou depressões topografias, em situação de abrigo, as estratificações térmicas inversas de irradiação. Conseqüentemente a camada de mistura é fortemente constrangida no sentido vertical assim como a dispersão dos poluentes, que são "tamponados" a altitudes inferiores aos topos das colinas da área e fortemente concentrados no locais mais baixos. Estas situações são particularmente sensíveis e nefastas, do ponto de vista da qualidade do ar, no vale de Souselas e nas

áreas habitacionais a jusante, inclusive até à Baixa de Coimbra, por se encontrarem em situação de abrigo topográfico. Já nos interflúvios, como a colina de Celas, ou nas depressões mais amplas como a da Arregaça, não obstante a dispersão vertical dos poluentes ser fortemente limitada pela inversão de subsidência, a velocidade dos fluxos fomenta a dispersão horizontal dos poluentes originados *in situ* (transito automóvel ou incineradora do HUC), e impede a chegada, até aqui, de poluentes emitidos em Souselas.

Conclusão

De tudo o que se disse se pode concluir, na perspectiva topoclimática de dispersão e transporte de poluentes na área de Coimbra-Souselas, que:

- Para além da necessidade de estudos científicos envolvendo observações no terreno e modelização da dinâmica da baixa atmosfera em interacção com a topografia, na difusão e transporte de poluentes emitidos por uma co-incineradora de resíduos tóxicos em Souselas, dificilmente se podem extrapolar conclusões de estudos feitos em áreas com diferente contexto morfológico regional e local, para a área de Coimbra-Souselas.

- As condições de dinâmica local da baixa atmosfera favoráveis à concentração de poluentes em Souselas e seu transporte para as áreas de maior densidade populacional de Coimbra, com conseqüente diminuição da qualidade do ar, especialmente durante a noite e a madrugada, ultrapassam largamente as condições favoráveis à dispersão horizontal e vertical de poluentes, quer em situação de normal funcionamento da co-incineração, quer (e principalmente), em situação potencial de crise (avaria do sistema), com libertação de uma nuvem tóxica, pondo em risco toda a área de Coimbra-Souselas e mais de 200.000 habitantes.

BIBLIOGRAFIA:

- FERREIRA, D. B. (1989) - *Le climat de l'Atlantique Oriental des Açores aux Iles du Cap Vert - Contribution à l'étude du système océan-atmosphère*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sorbonne (Paris IV), 1657p. (3 vol.).
- GANHO, N. (1992) - *O Clima Urbano de Coimbra - Aspectos térmicos estivais*. Dissertação de Mestrado em Geografia apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 170 p. + 80 p. extra texto de gráficos e figuras.
- GANHO, N. (1995a) - "A ilha de calor de Coimbra - Resultados de observações itinerantes de temperatura no interior do tecido urbano". *VI Colóquio Ibérico de Geografia - ACTAS*, Porto, pp. 911-920.

- GANHO, N. (1995b) - "A ilha de calor de Coimbra: intensidade média e ritmo diário - Resultados de observações com termohigrógrafos em abrigo". *Actas do II Congresso da Geografia Portuguesa*, Coimbra, pp. 197-209.
- GANHO, N. (1995c) - "La isla de calor de Coimbra bajo diferentes condiciones de tiempo de Verano". *Estudios Geográficos*, LVI, 219, pp. 285-317.
- GANHO, N. (1995d) - "A ilha de calor de Coimbra sob diferentes condições de tempo de Verão". *Territorium*, 2, pp. 33-50.
- GANHO, N. (1996a) - "Espaços verdes no interior do tecido urbano: contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição - O caso de Coimbra". *Territorium*, 3, pp. 35-56.
- GANHO, N. (1996b) - "A ilha de calor de Coimbra: efeitos bioclimáticos de contrastes termohigrométricos espaciais". *Actas do I Colóquio da Geografia de Coimbra* (em publicação).
- GANHO, N. (1998a) - "Clima urbano e contrastes de precipitação em Coimbra (Portugal)". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, Ed. Parteluz, Madrid, pp. 93-111.
- GANHO, N. (1998b) - *O Clima Urbano de Coimbra. Estudo de Climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. Dissertação de Doutoramento em Geografia, especialidade de Geografia, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Coimbra, I.E.G., F.L.U.C., 551p. (policopiado).
- GOLDREICH, Y. (1984) - "Urban topoclimatology". *Progress in Physical Geography*, 8, 3, pp. 336-365.
- LOURENÇO, L. (1987) - "Ventos em Coimbra - Nota preliminar". *Cadernos de Geografia*, 6, pp. 181-199.
- OKE, T. R. (1987) - *Boundary Layer Climates*. Methuen, London, 372 p.
- YOSHINO, M. M. (1984) - "Thermal belt and cold air drainage on the mountain slope and cold air lake in the basin at quiet, clear night". *GeoJournal*, 8, 3, pp. 235-250.