

## REFLEXÕES METODOLÓGICAS EM CLIMATOLOGIA REGIONAL E LOCAL (ASPECTOS TÉRMICOS)

Em estudos de clima regional, e mesmo local, utilizam-se geralmente dados de estações meteorológicas onde alguns aparelhos de medição estão colocados em abrigos standardizados e a cerca de 2 metros de altura, para evitar a influência da «camada de ar junto ao solo». Esta forneceria informações de difícil interpretação e que impediriam comparações entre diferentes estações. Mesmo assim, é necessário ter em conta a posição topográfica das estações no campo e a localização exacta das estações urbanas.

Em estudos aplicados (climatologia agrícola, urbana, etc.) aqueles dados são insuficientes para se tirar qualquer conclusão sobre as condições climáticas junto ao solo ou em diversas paredes de edifícios, por exemplo.

Escolheram-se alguns exemplos em publicações recentes, que mostram a importância do conhecimento exacto da proveniência da informação disponível e a necessidade de observações complementares para estudos de clima local e microclima.

RUDOLF GEIGER, director do Instituto de Meteorologia da Universidade de Munique, foi um dos primeiros estudiosos que compreenderam a importância do clima das camadas de ar junto ao solo. O seu livro *Das Klima der bodennahen Luftschicht*, de 1927, é ainda hoje considerado a «Bíblia» da climatologia local e da microclimatologia. Daqui se extraíram alguns esquemas teóricos. Da quarta edição deste livro (de 1961) existe uma tradução inglesa *The Climate near the Ground*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1973, 611 p.

Os exemplos apresentados foram amavelmente cedidos pelo Dr. W. ENDLICHER da Universidade de Freiburg in Breisgau, que prepara o doutoramento sobre estes assuntos.

Os exemplos de estudos de clima urbano são tirados, na sua maior parte, de um pequeno livro que reúne os trabalhos apresentados em Abril de 1976 num seminário realizado em Stuttgart sobre Clima Urbano e Planeamento Urbanístico: *Stadtklima; Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung*, trabalhos compilados por ERHARD FRANKE, Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1977, 143 páginas. Os autores tentaram não só apresentar as principais características do clima urbano com base em observações pessoais (exteriormente portanto aos abrigos meteorológicos), como também propor soluções para a resolução de problemas que se põem no planeamento urbanístico.

Para não alongar muito esta nota, referir-se-ão apenas estudos de temperatura. O vento é outro elemento climático que tem levantado muitos problemas à escala local e foi também objecto de estudo desenvolvido por aqueles autores. É de notar que a consideração de um só elemento climático é forçosamente artificial, embora indispensável para uma síntese final válida.

### I — IMPORTÂNCIA DA POSIÇÃO TOPOGRÁFICA EM LOCAIS FORA DA CIDADE

1. *Radiação e irradiação. Consequentes fluxos de ar frio.* — A figura 1 mostra o esquema clássico das principais trocas de energia durante o dia e a noite. Se, durante o dia, as radiações de pequeno comprimento de onda (radiação solar directa ou não) predominam, há também, mas em menor proporção, emissão de radiações de grande comprimento de onda

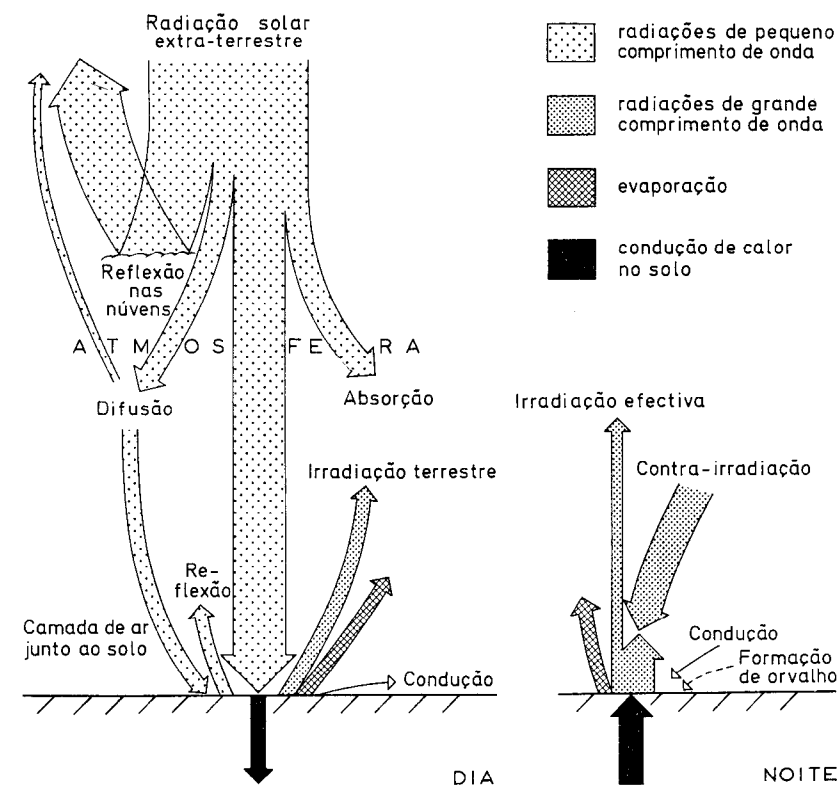


Fig. 1 — Trocas de energia num dia de Verão, num lugar de latitude média (a largura das setas é proporcional às quantidades de energia). (Extraído de R. GEIGER, *Das Klima der bodennahen Luftschicht*, Brunswick, 1961).

onda (irradiação terrestre). Esta última tem, durante a noite, papel preponderante: se existe muito vapor de água na atmosfera, e dada a propriedade que este tem de captar radiações de grande comprimento de onda (infravermelhas), não há uma tão grande perda de energia (irradiação efectiva) mas dá-se a contra-irradiação, concentrando-se o calor nas camadas de ar junto ao solo. Em noites em que a nebulosidade é fraca, a irradiação efectiva tem grande importância, diminuindo muito a temperatura junto ao solo e originando fenómenos de inversão. Neste caso vai-se formar junto ao solo uma camada de ar mais frio (figura 2).

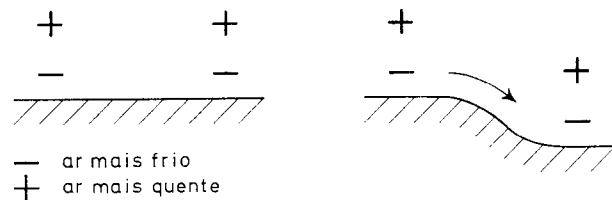


Fig. 2 — Esquema do fluxo de ar frio, durante a noite.

Se o terreno for acidentado, o ar frio da parte superior da elevação está em contacto com o ar mais quente das partes mais baixas. Esta diferença de densidade do ar na horizontal favorece trocas gasosas, tendendo o ar frio a colocar-se sob o ar quente desde que não haja vento forte. Deste modo aparecem concentrações de ar frio em certos locais.

A explicação teórica deste fenómeno está representada na figura 3. Se o ar se comportasse como água, ter-se-ia como resultado deste movimento a sobreposição de ar por ordem decrescente de densidade do fundo para o topo do vale. Ora, o vale nunca pode estar «vazio» de ar: não há portanto um movimento de conjunto de descida de ar frio, mas sim uma infinidade de pequenos remoinhos entre o ar que se «escoa» pelas vertentes e o ar relativamente mais quente que aqui existe, pois que, devido à posição mais abrigada, a irradiação é menor. Como resultado destes movimentos aparecem áreas com temperaturas mais baixas nos topos onde a irradiação é maior e no fundo dos vales onde, além do arrefecimento por irradiação, há concentração de ar frio proveniente das superfícies mais elevadas e menos abrigadas. Ao longo da vertente individualiza-se aquilo a que os ingleses chamam *thermal belt* e os alemães *warme Hangzone* e que se poderá traduzir por «cintura térmica», onde a temperatura é mais alta.

2. Exemplos de grandes diferenças de temperatura em locais próximos. — O exemplo de uma plantação de pessegueiros no sudoeste da Alemanha (figura 4) mostra que um declive de apenas 4% pode fazer com que haja escoamento de ar frio. A sua concentração nas partes mais baixas provocou um abaixamento de temperatura e consequente formação de geada.

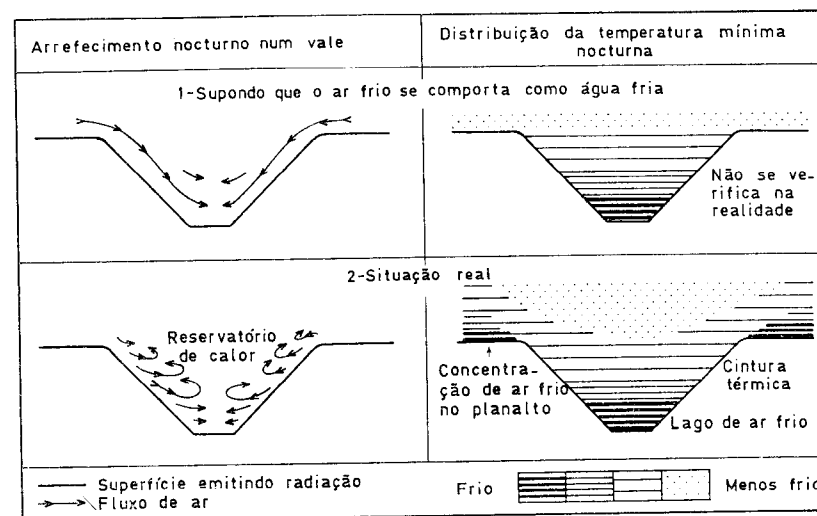


Fig. 3 — Formação da «Cintura térmica». (Extraído de R. GEIGER, *The Climate near the Ground*, Cambridge, Massachusetts, 1973).

A figura 5 ilustra o resultado de medições de temperatura mínima feitas perto da cidade alemã de Freiburg. Estes dados não provêm de estações meteorológicas, mas foram registados por aparelhos colocados exteriormente a uma carrinha *volkswagen*, deslocando-se a cerca de 20 km/hora, no dia 3 de Agosto de 1975, data em que um anticiclone influenciava o estado do tempo no sudoeste da Alemanha.

A curva inferior representa o perfil topográfico da área estudada (terraços fluviais) e as curvas superiores as temperaturas a 0,7 m e a 2 m do solo. De notar que se trata de temperaturas relativas à temperatura do terraço mais baixo que, nessa noite de Verão, cerca de duas horas antes do nascer do sol, era de 12,7° C. Em primeiro lugar, observa-se que, num mesmo local, a temperatura a 0,7 m do solo é sempre mais baixa do que a 2 m. As temperaturas mais baixas registam-se nos terraços: em T3 a menor temperatura é apenas devida à irradiação nocturna, enquanto em T1, T2, T4 e T5 as baixas temperaturas são devidas não só à irradiação mas também ao fluxo de ar frio, proveniente dos terraços mais altos, que se escoam ao longo das vertentes e ali se acumula, devido à ruptura de declive que lhe trava o movimento. Nas vertentes a temperatura é superior. Verifica-se que

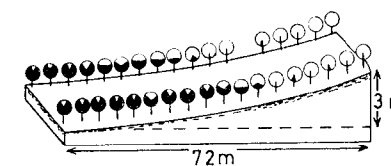


Fig. 4 — Proporção de pessegueiros queimados pela geada (a preto), numa encosta, em Maio de 1957. (Segundo F. WINTER, in R. GEIGER, *The Climate near the Ground*, Cambridge, Massachusetts, 1973).

não é a altitude absoluta que importa, mas sim as variações de declive. Por exemplo T3, a 300 m de altitude, tem cerca de 4° C a menos que a vertente entre T3 e T4, apenas 20 m mais abaixo. Conclui-se daqui que há maior probabilidade de formação de geada nos terraços, danificando a vinha, muito rendível nesta área; é portanto preferível localizar esta cultura em vertentes pouco inclinadas.

A figura 6 dá outro exemplo de um estudo semelhante, efectuado na mesma região e também no dia 3 de Agosto de 1975. A temperatura diminui do topo para a base da vertente, com irregularidades explicadas por variações de declive (por vezes tão pequenas que não são visíveis no perfil topográfico) ou por outros factores locais. O ar frio, que se presume vir de áreas mais elevadas, ao encontrar a floresta é travado no seu movimento e concentra-se, havendo um abaixamento de temperatura a montante da floresta. A cobertura vegetal, diminuindo a irradiação, provocaria um aumento de temperatura, mas este não é muito elevado devido à evaporação, que provoca uma perda de energia e consequente diminuição de temperatura. Da mesma maneira há uma diminuição de temperatura antes da povoação (concentração de ar frio e ruptura de declive), assim como um grande aumento nesta.

## II — A CIDADE COMO FACTOR CLIMÁTICO

O clima da cidade depende da sua situação (posição em latitude, altitude, no litoral ou no interior, etc.); mas, à medida que vai crescendo, o próprio centro urbano torna-se um factor climático muito complexo. Aparecem grandes diferenças, não só entre o clima da cidade e o do campo circundante, como também entre as várias partes da cidade. No entanto, e se o centro urbano é compacto, tendendo para a forma de um círculo ou de um quadrado, tem maior influência no clima do que uma povoação linear, em que as casas estão distribuídas por exemplo ao longo de uma estrada ou de um rio.

Na interpretação dos dados das estações meteorológicas deve-se ter em conta a sua posição exacta. Por exemplo, em Fevereiro de 1956 (mês particularmente frio e seco), notam-se diferenças muito sensíveis entre as três estações de Lisboa.

A estação no centro de Lisboa, localizada no Jardim Botânico, está abrigada por edifícios e vegetação excepto no que diz respeito ao quadrante este. Lisboa-Portela, junto ao aeroporto, situa-se num planalto desprotegido. De notar que, em 1956, o número de construções que pudessem servir de anteparo contra o vento era menor do que hoje em dia. Lisboa-Tapada, na Ajuda, situa-se numa ruptura de declive quase imperceptível, numa vertente pouco inclinada, virada a leste. Rodeando os aparelhos meteorológicos há culturas agrícolas. As árvores mais próximas (com 10 m de altura) distam 50 m para norte e 100 m para sul. A ocidente, apenas a cerca de 400 m (no topo da vertente), há uma cobertura vegetal arbórea, que para este se encontra a 200 m e a cota inferior, não constituindo barreira importante aos ventos do quadrante oriental.

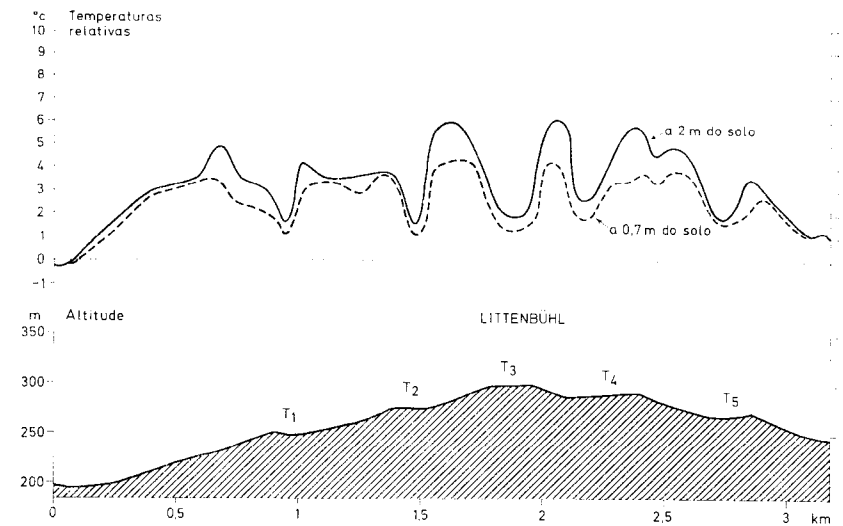


Fig. 5.

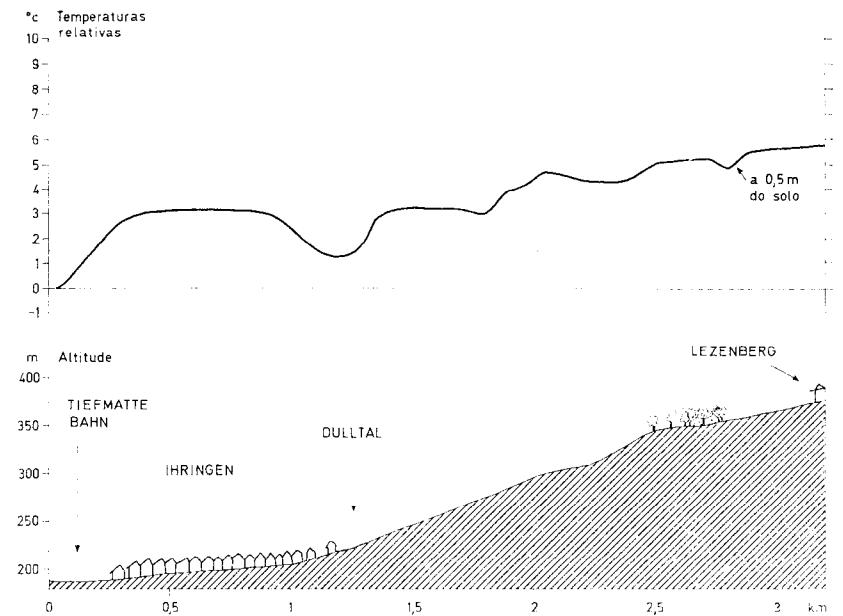


Fig. 6.

Fig. 5 e 6 — Variação da temperatura mínima nocturna em terraços com cultura da vinha (fig. 5) e ao longo de uma encosta entre Lenzenberg e Ihringen (fig. 6) perto de Freiburg in Breisgau. (Segundo W. ENDLICHER, *Untersuchungen zum Geländeklima eines Weinbaugesbietes am Beispiel des Kaiserstuhls* [título provisório], Dissertation, Freiburg in Breisgau, a publicar em 1978).

Analisando o quadro I, observa-se que a estação do centro da cidade apresenta não só as temperaturas mínimas média e absoluta mais altas, como menor número de dias com temperatura mínima inferior a 0° C e ausência de dias de formação de geada. Apenas numa das observações a velocidade do vento era superior a 36 km/h.

### QUADRO I

Alguns elementos climáticos de três estações de Lisboa em Fevereiro de 1956. Dados extraídos do *Anuário Climatológico de Portugal*, do Serviço Meteorológico Nacional

	Lisboa (Jardim Botânico)	Lisboa- -Portela	Lisboa- -Tapada
Latitude .....	38° 43'	38° 46'	38° 42'
Longitude .....	9° 09'	9° 08'	9° 11'
Altitude (m) .....	77	103	60
Temperatura mínima média (° C) .....	3,8	3,0	2,0
Temperatura mínima absoluta (° C) ...	-1,2	-1,9	-2,8
Número de dias com temperatura mínima inferior a 0° C .....	3	4	8
Número de dias de geada .....	0	0	15
Rumo do vento mais frequente .....	NE	NE	NE
Velocidade média do vento .....	17,5	18,2	—
Número de observações com velocidade do vento $\geq$ 36 km/h .....	1	4	0
Número de dias de nebulosidade $\geq$ 8/10 .....	5	4	2

Em Lisboa-Portela, as temperaturas mínimas foram ligeiramente mais baixas e, tal como no caso anterior, não houve formação de geada. Nesta estação foram quatro vezes medidas rajadas com velocidade superior a 36 km/h. A velocidade média do vento foi ligeiramente superior à do centro da cidade.

Porque não se terá formado geada nestas duas estações? Convém lembrar que a observação deste elemento é subjectiva. Analisando os elementos diários, apenas disponíveis para Lisboa (Jardim Botânico), nota-se que nos dias em que a temperatura mínima foi inferior a 0° C (11, 12 e 13 de Fevereiro) a humidade relativa era, às 21 horas, bastante baixa (50 %, 54 % e 59 % respectivamente). Presume-se que o valor daquele elemento não tenha aumentado muito com a diminuição da temperatura nocturna e que esta seja a principal causa da não formação de geada. No aeroporto, onde a diminuição de temperatura é maior devido à mais forte irradiação, a fraca humidade relativa, aliada à maior velocidade do vento, constituirá a explicação para a ausência daquele elemento climático.

Em Lisboa-Tapada, não só as temperaturas mínimas são mais baixas do que nas duas primeiras estações, como há maior número de dias com temperatura mínima inferior a 0° C e 15 dias em que houve formação de geada. A mais fraca nebulosidade verificada nesta estação permite um maior arrefecimento nocturno. Neste caso, há mais dias de ocorrência de geada do que de temperatura mínima inferior a 0° C, o que confirma que a temperatura à superfície do solo é inferior àquela que é registada em abrigos meteorológicos. Em Lisboa-Tapada não existem, para este mês, valores médios de velocidade do vento, mas noutros dados disponíveis observou-se que esta é quase sempre menor na referida estação do que nas outras duas, não tendo havido, quando das observações, rajadas com velocidade superior a 36 km/h. A existência de ar frio e seu escoamento pela vertente será facilitado por estas razões (grande arrefecimento e vento fraco).

Será a imperceptível ruptura de declive, no local da estação, suficiente para que haja concentração de ar frio? Constituirá a vegetação a oriente um obstáculo, originando também semelhante concentração? Só se poderá responder a estas interrogações medindo as temperaturas ao longo da vertente numa noite fria e clara de Inverno.

Como se conclui deste pequeno exemplo, há variações relativamente grandes de um local para outro da cidade, nelas influenciando não só a posição topográfica, como os vários aspectos que, entre outros, se focarão seguidamente. Os resultados nem sempre são fáceis de interpretar a partir dos dados disponíveis.

As principais causas das diferenças de temperatura entre a cidade e o campo e entre vários pontos da mesma cidade são as seguintes:

1. *Materiais de construção.* — Na cidade, os materiais utilizados são essencialmente tijolo, cimento, telhas, asfalto, pedra, etc. e a cobertura vegetal é escassa, enquanto no campo esta só esporadicamente é interrompida por casas ou estradas. Pela análise da figura 7 conclui-se

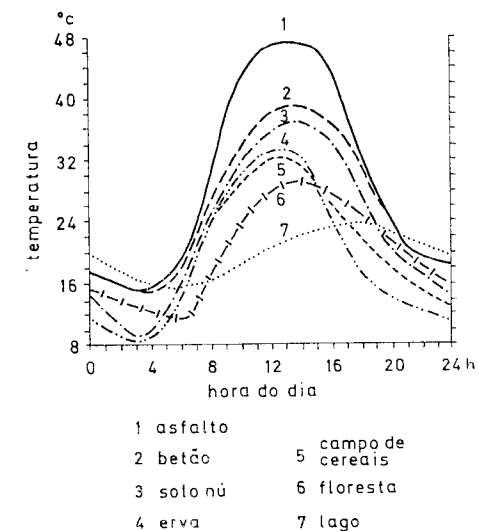


Fig. 7 — Variação diária da temperatura em diferentes tipos de superfícies num dia de Verão. (Segundo FEZER, extraído de E. FRANKE, «Charakteristische Erscheinungsformen des Stadtklimas» in *Stadtklima*, Stuttgart, 1977).

que o aquecimento pela radiação solar é muito rápido em certos materiais utilizados na cidade (asfalto, cimento), percebendo-se facilmente que se registem temperaturas mais altas no centro urbano do que no campo. De notar os máximos mais tardios e mais baixos na floresta e sobretudo no lago.

A cor dos telhados ou das paredes também tem influência no aquecimento. Na figura 8 observa-se a variação de temperatura em

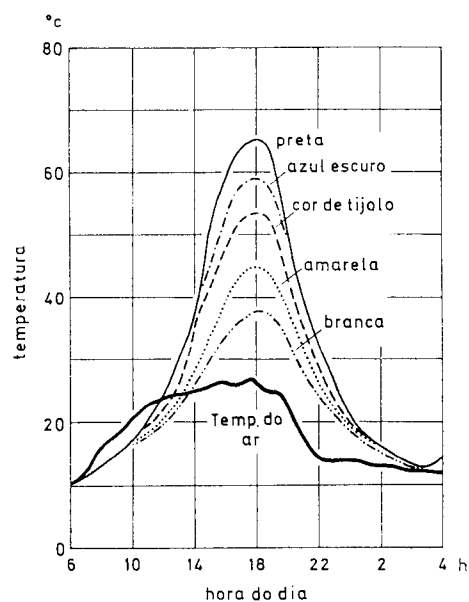


Fig. 8 — Variação da temperatura com a cor da parede num dia quente de Verão (paredes viradas a W e tipo de construção idêntico). (Segundo KÜNZEL e GERTIS, extraído de K. GERTIS, «Bau-physikalische Aspekte des Stadtklimas» in *Stadtklima*, Stuttgart, 1977).

construção muito elevada na cidade, a radiação solar directa tem menor importância, recebendo as diversas paredes dos edifícios radiações reflectidas ou radiação solar difusa (figura 9).

A análise das figuras 10 a 12 mostra a influência da densidade de construção e da existência ou não de espaços verdes na temperatura de várias paredes de edifícios virados para os quatro pontos cardeais. Trata-se de observações feitas em diferentes bairros da cidade alemã de Freiburg, num dia de Outubro, com situação anticlónica.

Figura 10. As observações foram feitas num bairro periférico moderno (Landwasser) com prédios distantes uns dos outros, sendo o cimento o principal material de construção. A maior parte do espaço

várias paredes viradas a oeste num dia quente de Verão. O material de construção é idêntico. Qualquer das paredes tem, durante a tarde, temperaturas mais elevadas do que o ar, atingindo às 18 horas a parede preta cerca de 65°C, enquanto a parede branca regista 38°C e a temperatura do ar é de 28°C.

Por outro lado, a existência de esgotos, valas e sarjetas na cidade, faz com que a água das chuvas, permanecendo pouco tempo à superfície, não tenha possibilidade de se evaporar. Visto que a evaporação dá origem a uma libertação de energia e conseqüente diminuição de temperatura, esta permanece mais elevada na cidade, mesmo durante os dias chuvosos.

## 2. Densidade de construção e topografia da cidade.

— Sendo a densidade de

livre é ocupado por erva, havendo poucas árvores. Notam-se aqui grandes diferenças entre as temperaturas das diversas paredes e entre estas e o ar, conseqüência da grande importância da radiação solar directa (com excepção da parede norte que, em todos os casos, permanece na sombra durante todo o dia, sendo aquecida por radiação difusa). Notar a elevada temperatura da parede sul às 13 horas (44°C), enquanto a temperatura do ar é apenas de 13° e o forte aquecimento da parede este durante a manhã: 28°C às 11 horas, enquanto a temperatura do ar é de 9° C.

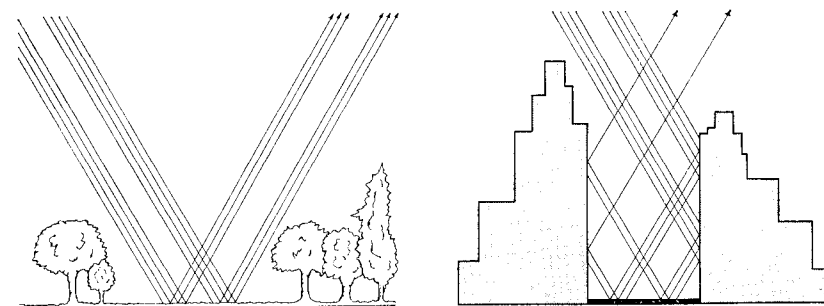


Fig. 9 — Radiação solar no campo e na cidade. (Extraído de LOWRY, W. H. «The Climate of Cities», in *Man and the Ecosphere*, Scientific American, S. Francisco, W. H. Freeman and Company, 1971, p. 180-188).

Figura 11. As observações foram feitas em Herdern, bairro onde predominam casas de dois a três andares, separadas por jardins. Nas ruas há fiadas de árvores. Já não há aqui uma tão grande diferença entre a temperatura das várias paredes e a temperatura do ar (com excepção da parede sul ao princípio da tarde), porque as árvores constituem um obstáculo à radiação solar directa e a maior evaporação não permite que a temperatura se eleve tanto.

Figura 12. As medições de temperatura foram feitas em Wiehre, bairro residencial do início do século, com casas de 3 a 4 andares, construídas sem qualquer espaçamento e com telhados de telha; quase ausência de árvores nas ruas ou de quaisquer áreas verdes. Se, da parte da manhã, a parede este tem temperatura mais elevada do que o ar (mais 7° C às 11 horas), não há durante o dia grandes diferenças entre as várias paredes, sendo a temperatura do ar superior a todas elas depois das 13 horas. A tarde não terá aqui importância a radiação solar directa devido ao obstáculo dos vários prédios, actuando apenas a radiação solar difusa.



Fig. 10, 11 e 12 — Ritmo diurno da temperatura do ar em paredes de edifícios com várias orientações em diversos bairros da cidade de Freiburg. (Extraído de W. WEISCHET, W. NÜBLER, A. GEHRKE, «Der Einfluss von Baukörperstrukturen auf das Stadtklima am Beispiel von Freiburg in Breisgau», in *Stadtklima*, Stuttgart, 1977).

3. *Partículas em suspensão na atmosfera urbana* (figuras 13 e 14).— São poeiras, fumos e outras substâncias nocivas (provenientes da indústria, uso doméstico, tráfego, etc.) que funcionam como núcleos de

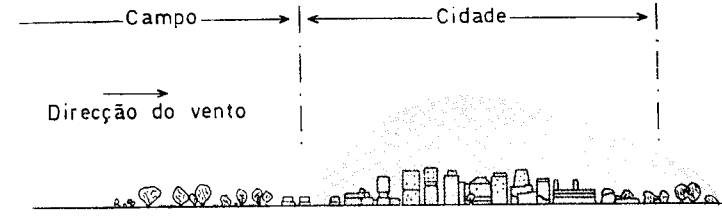


Fig. 13 — Localização do domo de poeiras, segundo ROBEL. (Extraído de E. FRANKE, «Charakteristische Erscheinungsformen des Stadtklimas», in *Stadtklima*, Stuttgart, 1977).

condensação. Portanto, apesar da humidade relativa ser menor na cidade, há mais nevoeiro ou neblina no interior dela, é mais elevado o total de precipitação e há maior número de dias de chuva. Em certos dias de situação anticiclónica, forma-se na cidade um «domo de poeiras», que por vezes é um verdadeiro *smog*; este não só é nocivo para a saúde mas também diminui a acção da radiação solar directa e não permite que, durante a noite, haja grandes perdas por irradiação. A temperatura nocturna é sempre mais elevada na cidade do que no campo, aparecendo aquela como uma «ilha de calor» que, devido a outras causas já apontadas, não raro permanece durante o dia.

Na atmosfera urbana há substâncias que podem ser muito nocivas para a saúde ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PB}$ , etc.). A relação entre a mortalidade e a grande poluição da atmosfera foi observada em Londres de 5 a 9 de Dezembro de 1952. Uma

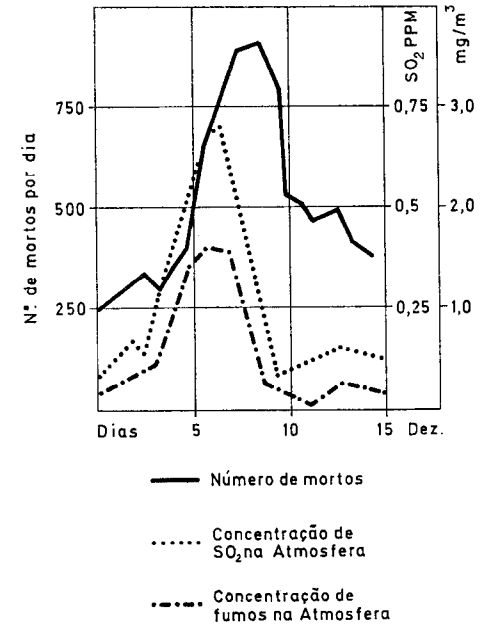


Fig. 14 — Variação do número diário de mortos com a concentração de óxido sulfuroso e de fumos na atmosfera. (Segundo GRANDJEAN e GILGEN, extraído de E. FRANKE, «Charakteristische Erscheinungsformen des Stadtklimas» in *Stadtklima*, Stuttgart, 1977).

situação anticiclónica duradoura possibilitou a existência de fenómenos de inversão, tendo ficado esta cidade vários dias no nevoeiro (figura 14). Morreram mais 4000 pessoas do que seria estatisticamente de esperar, devido ao grande aumento de  $\text{SO}_2$  (a concentração era seis vezes maior que a normal) e de fumos. Este caso extremo sugere que, mesmo se a proporção de substâncias nocivas não fôr tão grande que provoque aumento tão significativo da mortalidade, pode ser causadora de grande número de doenças.

*MARIA JOÃO ALCOFORADO*