



CLIMA INTRAURBANO E CONFORTO TÉRMICO EM CURITIBA/BRASIL

ELIANE DUMKE¹
FRANCISCO MENDONÇA²

Resumo: Curitiba se localiza ao sul do Trópico de Capricórnio, a 920 metros de altitude e se encontra na rota de atuação de sistemas atmosféricos intertropicais e polares. Ao contrário da maior parte do território brasileiro, apresenta desconforto térmico por frio durante a maior parte do ano e com mais intensidade no inverno. A cidade se destacou no cenário nacional por seu planejamento urbano, mas devido ao seu desenvolvimento acelerado, Curitiba se transformou em um aglomerado urbano-metropolitano de cerca de 3,1 milhões de habitantes, com graves problemas ambientais. O clima urbano mostra uma considerável variabilidade dentro da mancha urbana, com alternâncias entre IFs (Ilhas de frescor) e ICs (Ilhas de calor) na área urbanizada, resultando em diferentes graus de conforto térmico. Porém, o predomínio das baixas temperaturas acarreta as dificuldades enfrentadas pela população, sobretudo em sua parcela mais pobre, ante as condições climáticas locais. A partir da análise dos aspectos do sítio e do fato urbano relacionada a análise temporal (baseada em medições meteorológicas, imagens de satélite), buscou-se caracterizar o clima intraurbano e seu impacto sobre as condições de conforto térmico em Curitiba.

Palavras chave: clima urbano, conforto térmico, planejamento urbano.

Abstract: The city of Curitiba is located just south of the Tropic of Capricorn at an elevation of 920 meters and is situated in the path of intertropical and polar atmospheric systems. Unlike most of the Brazilian territory, Curitiba experiences thermal discomfort due to cold temperatures during most of the year, with the coldest temperatures during the winter. Curitiba is recognized throughout Brazil for its urban planning, which is regarded as exemplary. However, the urban planners failed to take into consideration the guidelines for environmental comfort. Due to the rapid development of greater Curitiba within an emerging country (with a population of 3.1 million inhabitants), it has become a metropolitan area with critical environmental concerns. The urban climate of Curitiba exhibits considerable variability; áreas of the city alternate between cool islands and heat islands, and this results in different degrees of thermal comfort. However, the predominance of lower temperatures, which are a consequence of local climatic conditions, leads to difficulties for the local population, particularly the poor. The objective of this work was to characterize the intra-urban climate and its impact on thermal comfort in Curitiba. We utilized time series data from meteorological measurements and satellite images to analyze the urban conditions of Curitiba as they relate to environmental comfort.

Key words: urban climate, thermal comfort, urban planning.

¹ Arquiteta, pós-doutoranda no Laboratório de Climatologia / Dep. Geografia – Universidade Federal do Paraná - UFPR/Brasil. elianedumke@gmail.com

² Geógrafo e Professor Doutor, Coordenador do Laboratório de Climatologia / Dep. Geografia – Universidade Federal do Paraná - UFPR/Brasil. chico@ufpr.br



1 – Introdução

Curitiba se localiza em área de domínio do clima tropical de altitude (Cfb / Koeppen). A cidade é considerada úmida e fria, com grande amplitude térmica diária e anual e tempo frequentemente instável. As temperaturas médias no verão se aproximam dos 20°C, mas no inverno as temperaturas são bastante baixas para os padrões tropicais: as temperaturas médias são de 13°C em junho e julho e a mínima absoluta chegou a -5,2°C, em junho de 1972 (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Contudo, o clima urbano é alterado pela interação das situações sinóticas com as características físicas do sítio e do construto urbano, a vegetação e o calor antropogênico, diferenciando as condições climáticas intraurbanas e assim, os graus de conforto térmico.

A urbanização altera o ambiente natural e a qualidade de vida na cidade (mediante supressão da vegetação nativa, impermeabilização do solo, adensamento populacional, emissão de poluentes, entre outros), afetando as condições climáticas locais e gerando o clima urbano. Para Oke (1988), as propriedades térmicas dos materiais e a estrutura urbana são as causas principais da ilha de calor na cidade, seguidas por fatores secundários: as fontes de calor antropogênico, poluição do ar e redução da evaporação. Eliasson (2000) afirma que as cidades muitas vezes compreendem não somente uma ilha de calor, mas um mosaico de áreas com temperaturas mais elevadas e mais baixas conforme a variação do uso do solo, com temperaturas na mancha urbana frequentemente mais altas do que o entorno.

Ao investigar o clima da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) mediante dados meteorológicos e sua comparação a análise de imagens do satélite, Mendonça e Dubreuil (2006), concluíram que o campo térmico da área urbana forma arquipélagos de ilhas de calor e de ilhas de frescor, ainda que se apresente como uma mancha mais quente e homogênea do que a área rural circunvizinha. Destacam-se no campo térmico, os efeitos da urbanização, da industrialização, da densidade da cobertura vegetal e da topografia. As paisagens intraurbanas evidenciaram uma diferenciação de temperaturas de amplitude térmica de 8K correspondentes aos diversos tipos de usos do solo e ao planejamento urbano.

O conhecimento das condições climáticas em localidades diferenciadas na cidade pode contribuir para a melhoria das condições de conforto humano dentro e fora das edificações, uma vez que estas atuam como pontes térmicas entre o interior e exterior, sobretudo em países em que não há tradição de climatizar as edificações e onde os materiais de construção utilizados variam.



2 – Discussão

Exceção entre as cidades brasileiras, Curitiba conta com um planejamento urbano permanente desde 1943. Mas, a mecanização do campo na década de 1970 em paralelo à criação da Cidade Industrial de Curitiba, atraiu muitos imigrantes em busca de oportunidades trabalho. O movimento migratório foi realimentado nos anos 90, impulsionado pelo *citymarketing* e pela vinda de empresas montadoras de automóveis. Curitiba que até então evoluía gradativamente, passou a crescer em ritmo acelerado, vertical e arealmente, extrapolando os limites municipais e envolvendo cidades vizinhas pelo processo de conurbação (Fig. 01). A formação dessa mancha de ocupação de alta densidade demográfica e intensa relação funcional constitui o Aglomerado Urbano de Curitiba, com cerca de 3.094.000 habitantes em 2010, devendo elevar-se a 3.566.000 habitantes em 2020 (COMEC, 2010).

Os efeitos desta transformação se revelam na intensidade de suas alterações. O desconforto ambiental e a poluição atmosférica agravaram-se pela geometria urbana e intensa urbanização. Ao longo dos Eixos Estruturais, criados para direcionar o crescimento da cidade e o fluxo de veículos, o zoneamento proporcionou a construção de altos edifícios que formam cânions urbanos alterando os campos térmicos, a iluminação natural, a ventilação e a qualidade do ar (Danni-Oliveira, 2000). A configuração espacial de Curitiba hoje é marcada por essa maciça verticalização ao longo dos Eixos Estruturais (Fig. 02), que transformou de forma radical o sistema urbano pré-existente, causando um importante impacto ambiental na paisagem urbana, no clima urbano e nos aspectos do conforto térmico.

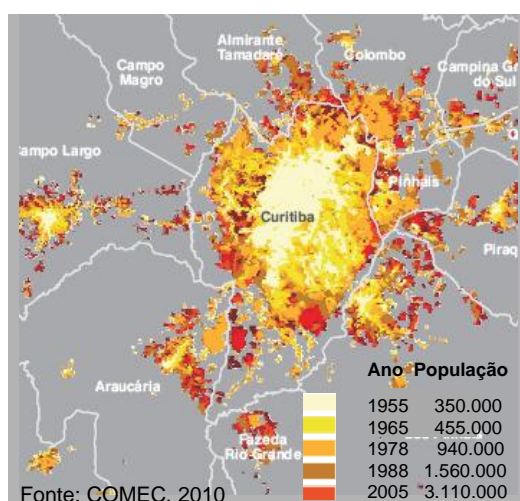


Figura 01 - Crescimento populacional da Região Metropolitana de Curitiba 1955 - 2005



Figura 02 - Os Eixos Estruturais marcam a estrutura urbana e a geometria urbana de Curitiba



Tais impactos se evidenciam em duas avaliações bioclimáticas para Curitiba: a primeira, realizada por Lamberts *et al.* (1997), a partir dos dados horários do *TRY* (*Test Reference Year*) para a década 1961-1970 e dos parâmetros de Givoni (1992), revelou que 73,2% das horas anuais em Curitiba eram de desconforto por frio. Por sua vez, Rossi *et al.* (2009), ao atualizar o *TRY* para a década 1998-2007 e comparar as médias das temperaturas mensais entre os *TRY* respectivamente encontrados (1969 e 2001), constataram o aumento médio de temperatura de 1,9°C, significativo para um período de 32 anos. Comparando os graus de conforto/desconforto a partir da análise dos diagramas de conforto de Givoni (1992), a porcentagem de conforto (entre 18° e 29°C) em 2001 aumentou 20% em relação a 1969, com o aumento das temperaturas. É possível que a elevação das temperaturas tenha sido causada principalmente pelo acelerado crescimento urbano de Curitiba e sua conurbação com as cidades vizinhas, que se deu justamente neste período, conforme se observa na Fig.01. Entre 1969 e 2006 a população da mancha urbana aumentou em cerca de quatro vezes (COMEC, 2010). Ainda assim, o desconforto térmico por frio em Curitiba continua intenso e predominando com 53.30% das horas anuais.

Para compreender a composição de fatores que interagem entre si e simultaneamente no espaço e no tempo formando determinadas situações de conforto na cidade, seguiu-se, em linhas gerais, a metodologia de Mendonça (1995), que propõe a imbricação de duas análises:

A Análise Espacial realizada a partir da cartografia dos elementos do sítio urbano (hipsometria, declividades, orientação de vertentes do relevo e direção e velocidade de ventos de superfície) e do fato urbano (uso e ocupação do solo). A relação entre estes elementos resultou na setorização de áreas de características urbanas relativamente homogêneas distribuídas na mancha urbana, caracterizando o ambiente urbano e orientando a geração da rede de monitoramento em campo.

A Análise Temporal foi realizada a partir da abordagem dinâmica do clima, do “ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos sobre os lugares”, por meio da “Análise Rítmica dos Tipos de Tempo”, proposta por Monteiro nos anos 60/70, cuja disposição simultânea e sincrônica dos gráficos possibilita a comparação integrada dos parâmetros meteorológicos do lugar em sua variação diária e horária.

A identificação dos tipos de tempo demandou o acompanhamento da dinâmica dos centros de ação da atmosfera, por imagens de satélites e boletins meteorológicos no âmbito do zonal/regional e na escala sub-regional, bem como nas medições meteorológicas realizadas.



A Termografia Infravermelha de Superfície foi elaborada por tratamento da imagem Landsat 5 TM, de 20 ago. 2006, permitindo a comparação espacial das temperaturas das superfícies em cada lugar com as temperaturas obtidas simultaneamente por estações meteorológicas a 1,5 metro de altura.

O monitoramento em campo foi realizado em 16 pontos selecionados conforme a análise espacial. A escolha dos dias de monitoramento visou à avaliação das condições de desconforto por frio, em episódios climáticos distintos, representativos do período de inverno local. Cada um dos dias monitorados (12,18, 21 e 29 ago. 2006), incluiu a análise da situação sinótica e dos tipos do tempo por meio da análise rítmica diária. Os dados de temperatura do ar [°C] e umidade relativa do ar [%] para os horários padronizados pela OMM (6, 9, 15 e 21 horas) coletados in situ foram comparados aos dados obtidos pelas estações meteorológicas e relacionadas à Carta de Uso e Ocupação do Solo e a Termografia Infravermelha de Superfície.

Os dados sistematizados foram testados segundo distintos parâmetros de conforto térmico:

- a) método de Givoni (1992), adequado aos países em desenvolvimento;
- b) Aroztegui (1995), da vertente do Conforto Adaptativo para averiguar o conforto térmico ao ar livre;
- c) a zona de conforto de Sorre (1984), de 16° a 23°C, adequada ao clima de Curitiba, associada ao cálculo da Temperatura Efetiva (TE) para a avaliação das condições termo-higrométricas. A TE, utilizada para mostrar o desconforto por frio na Fig. 6, é fornecida pela Equação 1:

$$TE = 0,4 (T_s + T_u) + 4,8 \quad \text{onde } T_s \text{ e } T_u \text{ são temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido [°C]}$$

As Condições Sinóticas. As Figuras 03 e 04 apresentam as condições sinóticas da América do Sul e da Região Sul do Brasil, em 20 ago. 2006, possibilitando a visualização da dinâmica atmosférica nos âmbitos zonal e regional. Na Fig. 04 observa-se a atuação de dois sistemas atmosféricos frontais, a massa de ar seco e frio (MPa) na Região Sul e os centros de alta (A) e de baixa (B) pressão. Conforme o CPTEC/INPE (2006), os dois sistemas frontais se acoplaram: o ciclone associado à frente fria na altura do Rio de Janeiro e o outro sistema mais ao Sul. A incursão da intensa massa de ar frio provocou, nos dias 20 a 22, uma queda brusca nas temperaturas em toda a região.

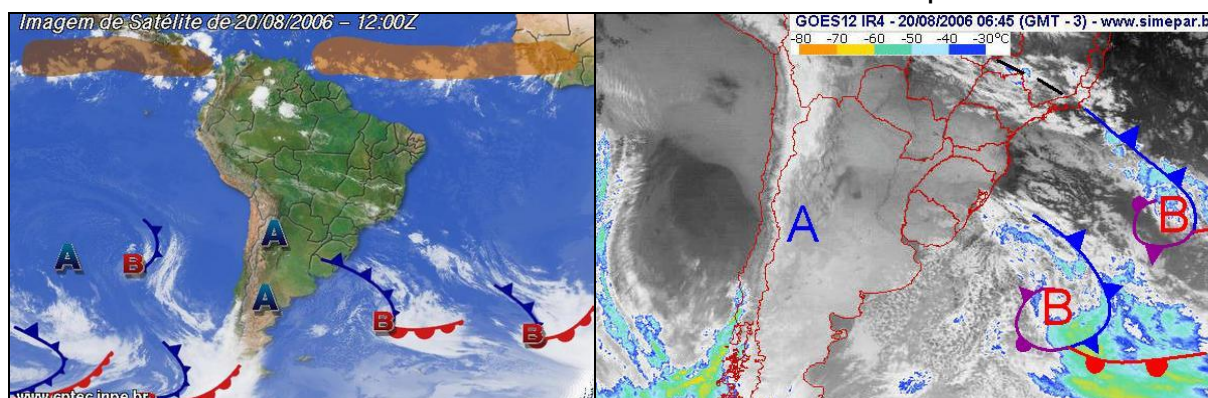


FIGURA 03 – Imagem sinótica: América do Sul, Brasil, 20 ago. 2006 – 12:00Z
Fonte: www.cptec.inpe.br

FIGURA 04 – Imagem sinótica: Região Sul do 20 ago. 2006 – 6:45 (GMT-3)
Fonte: www.simepar.br

3 – Resultados

As medições *in situ* (Fig. 05), em 21 ago. 2006, às 6 horas, sob o domínio de forte Massa Polar Atlântica – MPa, e assim, de grande amplitude térmica e baixa umidade do ar, de 26,8% às 17 horas, destacaram uma IC com 7K de intensidade. As temperaturas mais elevadas ocorreram no Centro Histórico [4], e a menor amplitude térmica diária no Batel [11], de 7,2K, situados na área mais adensada. As temperaturas foram reduzidas ao Leste, na periferia de São José dos Pinhais [5]; ao Sul, em Fazenda Rio Grande [1, 2 e 3]; e, sobretudo, ao Norte, em Almirante Tamandaré [14 e 15], com a mais baixa temperatura do trabalho de campo: -0,3°C e a maior amplitude térmica diária entre os locais monitorados no dia: 18,5K.

Característica local, a variabilidade diária das temperaturas, traduzida parcialmente pela amplitude térmica, é frequentemente relatada como fator de desconforto térmico pela população. Observa-se na Fig. 05 certa coincidência entre os locais com as temperaturas mais baixas e aqueles de maiores amplitudes térmicas diárias no dia 21 ago. 2006: os maiores graus de desconforto por frio ocorreram nos municípios de Almirante Tamandaré, São José dos Pinhais e Fazenda Rio Grande; as maiores amplitudes térmicas também.

Quanto ao uso do solo (Fig. 05), três conjuntos de ambientes se distinguem na mancha urbana em relação as condições de conforto térmico:

A área mais adensada/verticalizada (Centro e Setores Estruturais). No Centro Histórico, a limitação da altura das edificações pela legislação permite a melhor insolação do solo e das edificações; a alta densidade urbana se constitui armazenadora de calor; e a rugosidade reduz a ventilação na *canopy layer*. Tais características conferem a este ambiente as condições de menor desconforto térmico por frio, entre todos os ambientes monitorados e uma maior amplitude térmica entre os ambientes da área mais adensada. Em oposição, o Batel, na área verticalizada do Eixo Estrutural, a insolação dos pavimentos



inferiores e do solo é prejudicada notadamente no inverno: o ângulo da altura do Sol não permite seu rápido aquecimento no período diurno. A inércia térmica dos materiais e a troca térmica entre os edifícios dificultam a perda de calor para a atmosfera à noite e são responsáveis pela menor amplitude térmica do Batel entre os ambientes avaliados.

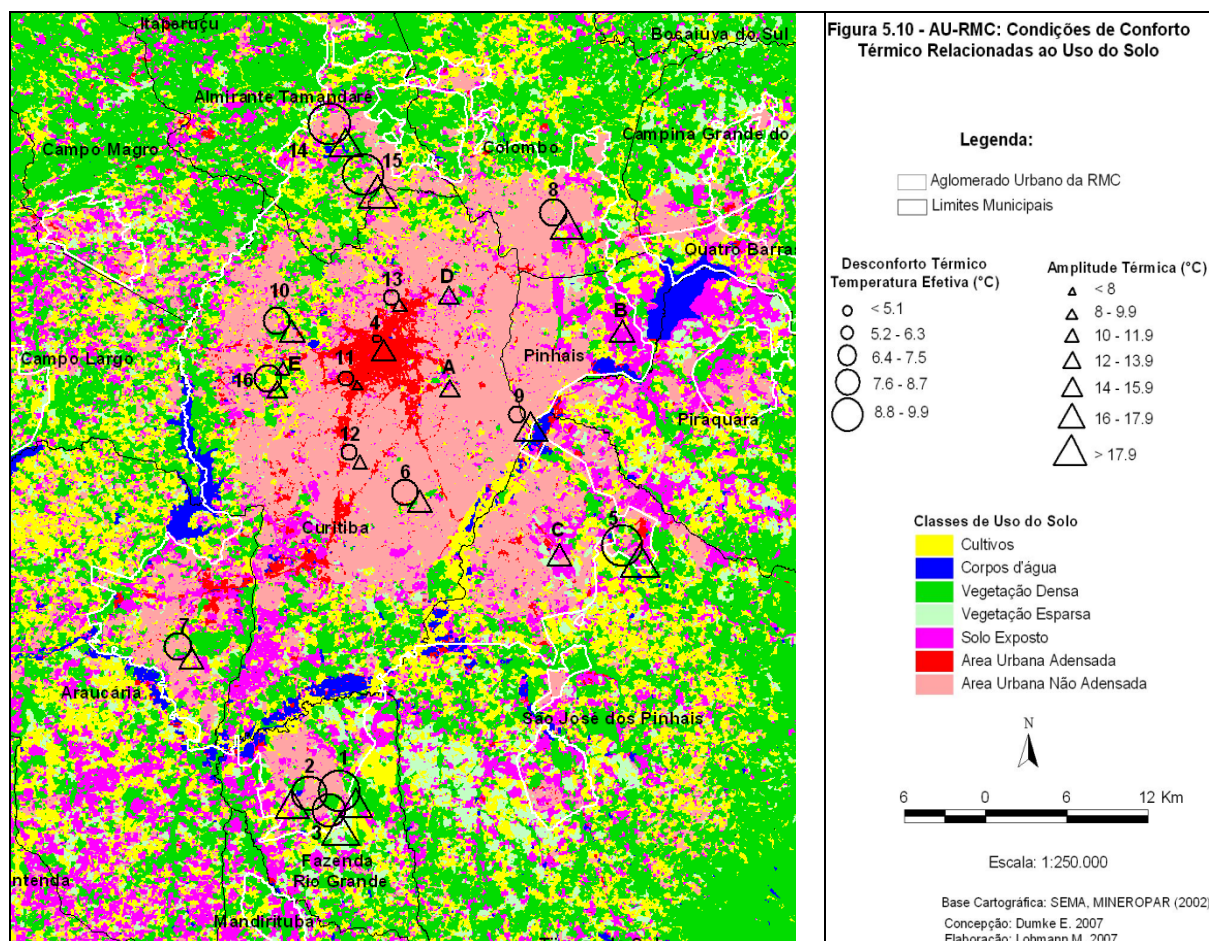


FIGURA 05 - Condições de Conforto Térmico Relacionadas ao Uso do Solo

Fonte: imagens de satélite multiespectral LANDSAT-7 ETM +, 220-078, 27 de setembro, 2002.

As áreas urbanas não adensadas apresentam condições de conforto intermediárias e se situam em bairros curitibanos e em municípios bastante urbanizados e industrializados: ao Sul da mancha urbana, Araucária, e ao Norte, Colombo, de características do sítio parecidas.

O ambiente no Cajuru é excessão, devido ao baixo desconforto por frio e alto desconforto pela elevada amplitude térmica diária. Situa-se na área urbana não adensada, em área de ocupação irregular e de preservação ambiental: fundo de vale do Rio Iguaçu, local de baixa altitude e alta vulnerabilidade socioambiental (sujeito a enchentes).

O terceiro conjunto, nos limites Sul, Leste e Norte da mancha urbana, apresenta as condições menos favoráveis quanto ao desconforto por frio e às amplitudes térmicas. Suas



condições climáticas se devem a baixa densidade e a localização próxima à área rural, associadas às características do sítio, pois a conformação do relevo concorre para intensificar o desconforto por baixas temperaturas e por grande amplitude térmica. A formação de um corredor de vento sentido Sudoeste-Nordeste favorece a entrada das frentes frias e massas de ar frio que frequentemente entram na região vindas desta orientação, deixando desprotegidas as periferias urbanas Sul e Norte. O ambiente na periferia de São José dos Pinhais, situado em fundo de vale sentido Leste-Oeste, sentido preferencial do vento, também fica desprotegido do vento Leste, devido à falha existente neste trecho da Serra do Mar.

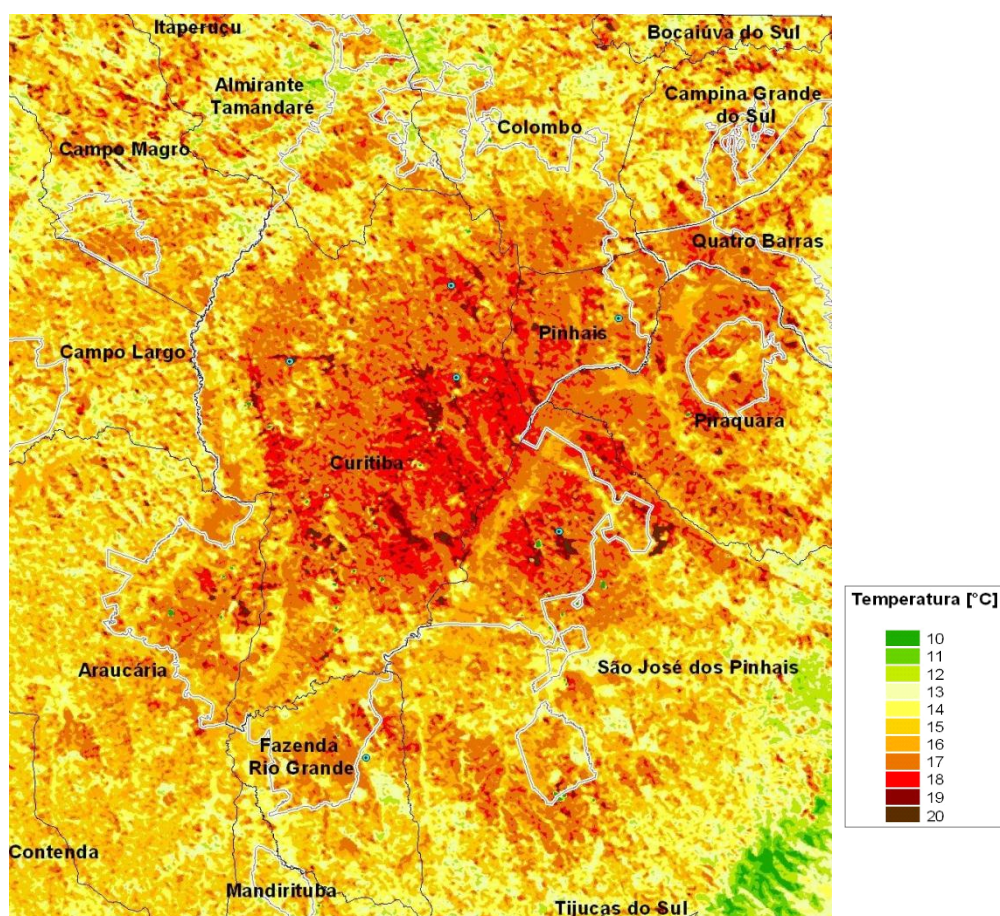


Figura 06 - AU-RMC: Termografia Infravermelha de Superfície - 20 ago. 2006
Fonte: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
Imagem LANDSAT-5 TM, 220-078, 20 ago.2006, 10h.

A Termografia de Infravermelha de Superfície (Fig. 06), obtida por meio da imagem Landsat 5, 20 ago. 2006, 10h, apresenta uma visão detalhada das condições climáticas diferenciadas na dimensão intraurbana da cidade. Quanto às características urbanas, observou-se a influência da cobertura da superfície em função do uso do solo (mineralizada, vegetada etc.), da geometria, da estrutura e da densidade urbana e do calor antropogênico.



Comparando-se a Termografia Infravermelha de Superfície à Carta de Uso do Solo (Fig. 06), evidencia-se que:

A mancha urbana se evidencia nas superfícies mais aquecidas dos solos mineralizados (de maior albedo), com temperaturas entre 16° e 20°C, no momento do imageamento. Forma-se uma IC de 7K de intensidade em relação ao entorno rural imediato, e de 11K de intensidade ao se considerar toda a área imageada. As temperaturas mais baixas ocorrem em áreas rurais de elevada altitude, topografia variada e vegetação densa, ao Sudeste, ao Norte e a Noroeste.

Não são as áreas urbanas mais verticalizadas a apresentar as temperaturas mais elevadas, o que se explica pelo sombreamento dos edifícios que impedem as superfícies de serem atingidas pela radiação solar direta nesta hora do dia. Ainda assim, as temperaturas são bastante elevadas nestas áreas, devido à produção de calor antropogênico, à maior rugosidade e à massa térmica das edificações.

Salientam-se as ilhas de frescor sobre os parques urbanos, as áreas verdes e os fundos de vale, bem como as temperaturas amenas e homogêneas das massas de água devido à sua inércia térmica e à evaporação. As temperaturas mais elevadas ocorreram em áreas de alto grau de urbanização e amplas superfícies asfaltadas: os aeroportos de São José dos Pinhais e do Bacacheri, os setores industriais a oeste (Cidade Industrial), a sul (Araucária) e leste (São José dos Pinhais) e as principais vias de transporte.

4 – Conclusões

As análises do clima e do tempo no inverno de 2006 indicaram que em Curitiba, dadas as suas dimensões e a heterogeneidade de suas características, não se configura *a priori* apenas uma IC. Sua estrutura e forma urbanas diferem daquelas das cidades tradicionais, nas quais a área comercial e verticalizada (CBD) se localiza no centro, ao redor do qual a densidade urbana se reduz gradativamente.

A variabilidade do clima intraurbano reflete a geometria urbana marcada por eixos lineares verticalizados, a urbanização polinucleada, os diferentes graus de densidade urbana e as áreas verdes distribuídas de forma desigual. Os resultados encontrados corroboram as análises de Mendonça e Dubreuil (2006) sobre o clima curitibano e as afirmações de Eliasson (2000) sobre a variabilidade do clima intraurbano e sua relação ao entorno rural. Esta dinâmica ocorreu nos quatro dias de monitoramento, as 6 e às 21 horas, sob distintas condições sinóticas: os domínios de Massa Tropical Continental – MTC, Frente Polar Atlântica – FPa e Massa Polar Atlântica – MPa.



Ainda assim, a gênese do clima urbano, inclui o processo de formação da ilha de calor, sendo esperado que as temperaturas sejam mais baixas na periferia, o quê, de forma geral, se confirma. Na periferia a amplitude térmica tende a ser maior do que no centro urbano também devido a inércia térmica das construções, fazendo coincidir, neste local, um duplo desconforto (por frio e amplitude térmica).

Desta forma, um dos resultados encontrados diz respeito aos próprios critérios de avaliação do conforto térmico: a especificidade do clima local é de maior desconforto por frio/amplitude térmica e é nesta situação que a vulnerabilidade socioambiental em relação ao conforto térmico, em Curitiba deve ser avaliada. Portanto, sugere-se a inclusão da amplitude térmica como critério de avaliação de conforto térmico em climas subtropicais.

Em Curitiba, a vulnerabilidade social ao clima se agrava, pois ao contrário da maioria das cidades brasileiras, o desconforto térmico ocorre por frio/amplitude térmica, e devido ao efeito da IC, este é mais intenso na periferia da cidade, ocupada pelas classes que dispõem de menos recursos para se proteger do clima, devido ao padrão de urbanização no país que se caracteriza pela periferização progressiva das classes menos favorecidas. Evidencia-se como fundamental o provimento de energia nas áreas urbanas atualmente desprovidas, de forma a viabilizar também a esta parcela da população o *aquecimento artificial* em episódios extremos de frio intenso, ainda que as estratégias de condicionamento passivo das edificações devam ser priorizadas.

5 - Referências Bibliográficas

COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, 2010. Ocupação da RMC. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br>>. Acesso em 10 jul. 2013.

DANNI-OLIVEIRA, I. M, 2000. *A cidade de Curitiba e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno*. Tese (Doutorado em Geografia). Dep. de Geografia, USP. São Paulo.

ELIASSON, I, 2000. *The use of climate knowledge in urban planning*. In: **Landscape and Urban Planning**, 48 Göteborg: Elsevier Science. p. 31-44.

GIVONI, B, 1992. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings, v.18,11-23.

MENDONÇA, F, 1995. *O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR*. Tese (Doutorado em Geografia) Dep. de Geografia, USP. São Paulo.

MENDONÇA, F; DUBREUIL, V, 2006. *Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba)*. In: **Revista RA'E GA**, Curitiba, Editora UFPR, n. 9, p. 25-35.

OKE, T. R, 1988. *Street design and urban canopy layer climate*. In: **Energy and Buildings**, New York: Elsevier, n. 11, p. 103-113.



ROSSI, F; DUMKE, E; KRÜGER, E, 2009. *Atualização do ano climático de referência para Curitiba*. In: X Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído (ENCAC), 2009, Natal RN. **Anais...** Porto Alegre RS: ANTAC, v. 1. p. 1-10.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.