



AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO SOBRE
FORMAÇÃO DA ILHA DE CALOR NA CIDADE DE BELO HORIZONTE, MG

Eleonora Sad de Assis

Departamento ACR, Escola de Arquitetura da UFMG, Belo Horizonte.
Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura IMIH, B.H.

RESUMO: Desenvolveu-se um processo para verificar o comportamento da ilha de calor urbano nos períodos crítico de verão e inverno, a partir dos dados climáticos disponíveis nas Estações Meteorológicas locais. O fenômeno foi relacionado à tipologia de uso e ocupação do solo, observando-se a evolução da temperatura em função da densidade e do tipo de ocupação (horizontal ou vertical). Apesar dos limites da análise, o método pode ser útil para avaliação preliminar e controle da qualidade do ambiente urbano, em relação ao conforto térmico.

ABSTRACT: It was developed a method to verify the behaviour of the urban heat island on the critic summer and winter periods, using local meteorological stations data. This phenomenon was related to the land use tipology, observing the evolution of temperature, given the density and the existing land use (low or high rise). In spite of the limits of the analysis, the method can be useful for the evaluation and control of the environmental urban quality, as for as the thermal comfort is concerned.

INTRODUÇÃO

Os espaços urbanos vêm sendo considerados como áreas de impacto máximo da ação humana sobre a organização da superfície terrestre e na deterioração do ambiente, em decorrência de sua concentração demográfica e de atividades.

As alterações climáticas resultantes do processo de urbanização estão entre as mais significativas características do meio natural que sofrem modificações profundas ao longo deste processo.

O efeito denunciador da mudança climática local é o aumento da temperatura nos centros mais densos, o que propicia o surgimento de uma circulação de ar centrípeta em direção ao centro. Este fenômeno tem sido chamado de "ilha de calor urbana". Muitos autores atribuem a formação da ilha de calor aos seguintes fatos:

- efeitos de transformação de energia no interior da cidade, cujas formas mais complexas, apresentando grandes superfícies horizontais e verticais, materiais com boa condutividade térmica e capacidade calorífica, índices de reflexão variados, etc., respondem diferentemente, tanto à radiação solar incidente quando ao regime de ventos, em relação ao meio natural do entorno;
- redução das taxas de resfriamento, causada pela diminuição da evaporação (poucas áreas verdes, impermeabilização do solo e rápido transporte da água de chuva através da rede de canalização), bem como pela diminuição das trocas térmicas por convecção, devido à redução generalizada na velocidade dos ventos no meio urbano, causada pela maior rugosidade de suas superfícies;
- produção de energia antropogênica, através da emissão de calor pelas indústrias, trânsito e habitações.

O aumento na produção local de calor é complementado pelas modificações na umidade e precipitação, além da ventilação. A concentração de material particulado no ar altera, por sua vez, a incidência da energia radiante do sol e facilita a formação de núcleos de condensação,

propiciando o surgimento de núvens de chuva (Lombardo: 1985).

A formação e magnitude do fenômeno parecem diretamente relacionadas à configuração geométrica da cidade e disposição das edificações, bem como à propriedade de inércia térmica dos materiais constituintes, como demonstrou Oke (1982).

Pode-se dizer, então, que estes fatos estão ligados às ações profissionais de arquitetos, engenheiros civis e planejadores urbanos que, através do projeto das estruturas urbanas e/ou de edificações, determinam não apenas as condições internas, mas têm grande responsabilidade pelo ambiente climático exterior.

As pesquisas realizadas em cidades situadas na faixa intertropical, embora ainda escassas, apontam para a tendência de nelas se observar um diferencial de temperatura entre centro e periferia mais elevado do que o que geralmente ocorre nas zonas urbanas de clima temperado.

Acentuando as consequências negativas da alteração climática local, a elevação excessiva da temperatura pode acarretar um aumento significativo no consumo de energia para refrigeração, bem como provocar problemas de saúde na população, que vão além do desconforto térmico, como já se comprovou nas cidades de clima temperado (Landsberg:1976).

A necessidade, portanto, de se avaliar o impacto causado por uma área urbana no clima local motivou este trabalho, como forma de orientar as ações dos profissionais envolvidos no controle da qualidade do ambiente físico da cidade, na busca por uma organização espacial urbana mais adequada às condições do meio tropical.

Assim, o trabalho teve como objetivo básico desenvolver um processo que permitisse avaliar o comportamento térmico de áreas construídas. Restringiu-se à análise da distribuição horizontal do gradiente térmico da ilha de calor, em função dos limites dos dados climáticos disponíveis nas Estações Meteorológicas locais.

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Belo Horizonte foi escolhido como área de estudo em função das poucas pesquisas desenvolvidas sobre o assunto nesta cidade, bem como pela necessidade de se conhecer melhor o comportamento da ilha de calor em regiões tropicais de clima continental.

Limitou-se o estudo ao município, quando seria mais conveniente que se estendesse à Região Metropolitana, devido à dificuldade de obtenção de dados climáticos e de uso e ocupação do solo nos outros municípios da Grande Belo Horizonte.

A cidade está localizada a 19°55' de latitude Sul e 43°56' de longitude Oeste, a uma altitude média de 875 metros.

A malha urbana ocupava cerca de 96% do território do município em 1985 (1), correspondendo a aproximadamente 322 km², com uma população estimada de 2 122 073 habitantes e, portanto, uma densidade média de 65,9 hab/ha.

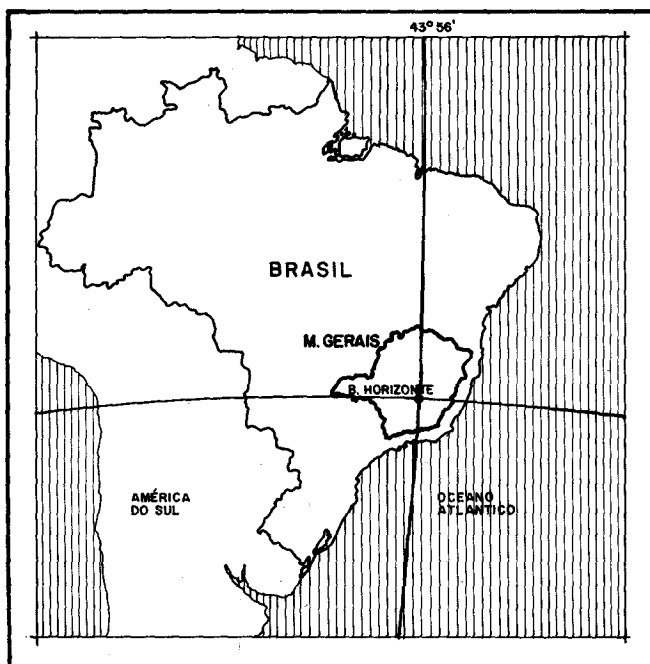


Figura 1 - Localização da Área de Estudo

Aspectos Climáticos

Belo Horizonte está situada no domínio das massas de ar tropicais atlânticas, mas sua situação geográfica favorece frequentes invasões de massas polares e de outros sistemas atmosféricos originados indiretamente das repercussões frontais.

O tipo climático da região onde a cidade está localizada é, pela Classificação Climática de Koeppen, Cwa (tipo tropical chuvoso com temperatura do mês mais frio abaixo de 18°C e distinta estação seca no inverno). Até há pouco tempo atrás, o clima da cidade também era considerado Cwa (Rodrigues, 1966, citado por Ribeiro e Mól 1985).

A classificação climática feita a partir da análise da série de 10 anos mais recentes, porém, mostrou uma mudança para Aw, em função do aumento da temperatura média do mês mais frio, o que talvez possa ser creditado aos efeitos da ilha de calor urbana.

(1) O ano de 1985 é um ano de referência para este estudo, em função de as informações disponíveis sobre uso e ocupação do solo, densidade demográfica, mapeamentos, etc., para B. Horizonte, só estarem atualizadas até este ano.

De fato, estudos de Ribeiro e Mól (1985) apontam para sinais de aumento da temperatura no período analisado pelos autores (1937 a 1982). Eles concluíram que o aumento deve-se mais ao aquecimento de inverno que ao aumento de calor no verão e levantaram a possibilidade de relação entre o crescimento da cidade e o aumento das temperaturas.

As normais climatológicas relativas à cidade são apresentadas nos Quadros 1 e 2, calculadas para a série de 10 anos mais recentes (1976 a 1985) de uma mesma estação meteorológica.

A temperatura média anual de Belo Horizonte é de 21,2°C com registros extremos de 36°C e 3,1°C, durante o período analisado. A média das máximas durante o verão é de 29°C e a das mínimas durante os meses de inverno é de 12,9°C.

A umidade relativa média anual é de 77,3%. As médias mensais mais elevadas ocorrem durante o verão e as mais baixas durante o inverno seco.

QUADRO 1 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS ANUAIS (PERÍODO 1976/85)							
ANO	Tx(°C)	Tc(°C)	Tm(°C)	UR(%)	VEL.VENTO (m/s)	DIR.PR.	INSOL(h)
1976	27,3	21,0	16,0	70,7	1,1	L	2572,2
1977	27,9	21,4	16,2	70,4	1,4	L	2585,0
1978	27,0	20,8	15,8	74,2	1,7	L	2416,0
1979	26,7	20,6	15,9	79,6	1,7	L	2305,8
1980	27,5	21,5	16,9	83,2	1,7	L	2484,7
1981	27,0	20,8	16,1	86,4	1,6	L	2411,7
1982	27,3	21,1	16,5	82,1	1,4	L	2247,6
1983	27,1	21,3	17,0	78,8	1,2	O	2134,4
1984	28,4	22,0	17,0	74,3	1,3	L	2680,1
1985	27,3	21,0	16,1	73,3	1,2	L	2564,1
NORMAIS	27,4	21,2	16,4	77,3	1,4	L	2440,2

QUADRO 2 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS MENSAIS (PERÍODO 1976/85)														
VARIÁVEIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	NOR	
TEMPERATURA (°C)	MAX. ABS	34,2	33,4	33,4	31,0	31,2	29,9	29,8	33,6	32,7	36,0	34,4	33,1	36,0
	MED. MAX	27,9	29,1	28,9	27,4	26,5	25,6	25,4	26,9	27,0	22,1	27,8	27,5	27,4
	MED. COM	22,6	23,2	22,9	21,3	19,9	18,5	18,2	19,8	20,7	22,0	22,4	22,3	21,2
	MED. MIN	18,8	18,5	18,4	16,6	14,9	13,1	12,7	14,1	15,7	17,4	18,1	18,2	16,4
UR(%)	MIN. ABS	16,7	14,7	14,1	11,5	7,5	3,1	6,4	7,2	9,2	13,1	14,0	13,8	3,1
	MED. COM	72,3	76,9	79,1	79,8	77,2	77,6	75,5	70,7	73,7	73,9	77,7	82,8	77,3
VENTO (m/s)	VEL. MED	1,4	1,7	1,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,4	1,4
	DIR.PR.	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
NEBULOSIDADE	7,1	5,8	5,8	5,0	4,4	3,3	3,4	3,8	5,0	5,7	6,7	6,7	5,2	
CHUVA (mm x 10)	31,8	17,2	20,3	7,9	2,7	1,3	1,8	1,6	5,0	9,5	26,0	35,0	166,3	
INSOLAÇÃO (hx10)	16,2	21,9	19,7	21,9	23,3	24,7	25,7	23,8	18,1	19,6	16,5	14,2	24,4	

Quadros 1 e 2 - Normais Climatológicas do período analisado

A velocidade média dos ventos é de 1,4 m/s, com pouca variação durante o ano. A direção predominante é Leste. Se considerarmos a relação que Oke e Hanneil (1970) encontraram entre a velocidade crítica do vento para eliminar a ilha de calor e o logaritmo da população total de uma cidade, veremos que a velocidade crítica do vento para dispersar a ilha em Belo Horizonte seria de cerca de 10,2 m/s, sete vezes maior que a média local, o que coloca em evidência a extrema necessidade de controle da ocupação urbana, de modo a criar condições de permeabilidade às correntes de ar, cuja velocidade já é muito baixa na região.

O número total anual normal de horas de insolação é de 2440,2, sendo julho o mês mais ensolarado (256,5 horas) e janeiro o de menor insolação (162,1 horas). O número máximo de horas de insolação mensal registrado na série utilizada é de 287 horas.

A normal anual de precipitação dá um total de 1663,4 mm de chuva para a cidade. O mês mais chuvoso é dezembro (350,4 mm) e o mais seco é junho (13,0 mm). O ano mais chuvoso da série foi o de 1983, com um total de 2508,9 mm e 1984 foi o mais seco com 1088,2 mm. Esses valores extremos, ao acusarem uma amplitude de 1421,6 mm, são suficientes para demonstrar a grande variabilidade dos

totais anuais de chuva.

Levando em conta que cerca de 60% da precipitação é removida através do sistema de drenagem pluvial em Belo Horizonte, temos que 998 mm/ano ou 998 l/m²/ano não contribuem para o resfriamento das superfícies urbanas através do consumo de calor latente para a evaporação. Para evaporar um litro de água a 20°C necessita-se de 600 kcal de calor. Então, numa cidade do porte de Belo Horizonte, supondo sem vegetação, 1,93 x 10¹¹ kcal de calor provenientes da radiação solar durante o ano (ou 2,20 x 10⁷ kcal/hora, ou 2,56 x 10⁷ W) não seriam utilizadas, contribuindo para o superaquecimento do meio urbano. Assim, fica também evidenciada a importância da utilização da vegetação e os efeitos perniciosos da excessiva impermeabilização do solo na diminuição da umidade do ar e no aumento de sua temperatura.

MÉTODOS E TÉCNICAS

A análise do fenômeno em questão envolveu a inter-relação entre os parâmetros climáticos e a organização espacial urbana.

Os parâmetros referentes ao uso do solo urbano (tipologia, uso e densidade de ocupação), como também aqueles ligados à incidência de áreas verdes urbanas foram levantados e compatibilizados através da utilização de estimativas realizadas pelo poder público municipal e trabalhos de campo.

Os procedimentos para a identificação da tipologia de uso e ocupação do solo da cidade foram os usuais da pesquisa em urbanismo, resultando em um Mapa Base de Classes Predominantes de Uso e Densidade de Ocupação do Solo Urbano (figura 2).

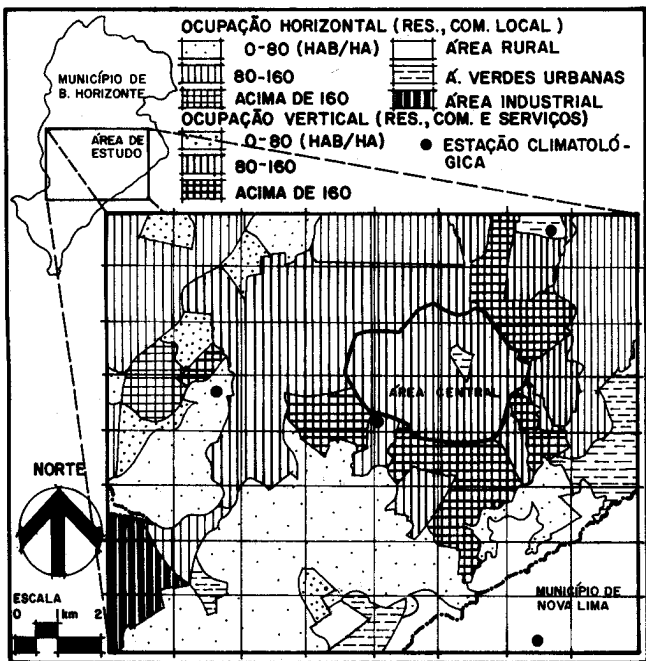


Figura 2 - Localização da Área de Estudo no Município e Classes Predominantes de Uso e Ocupação do Solo na cidade.

O levantamento dos parâmetros climáticos foi efetuado junto ao 5º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia, abrangendo dados médios mensais de todas as estações meteorológicas implantadas em Belo Horizonte. Os dados utilizados foram Temperatura (média compensada, média das máximas e das mínimas), Umidade Relativa, Velocidade e Direção dos Ventos e Insolação.

Na caracterização climática e análise do comportamento mesoclimático do recinto urbano, os dados normais de umidade relativa e temperatura foram plotados no Diagrama bioclimático, como pode ser visto na Figura 3.

grama bioclimático, como pode ser visto na Figura 3.

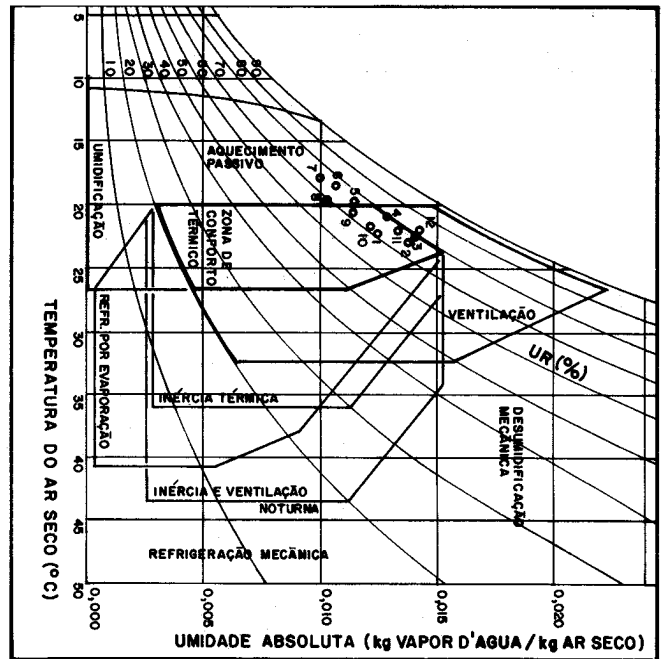


Figura 3 - Os dados médios situam B. Horizonte na zona de conforto térmico durante a maior parte do ano. Nos meses de maio, junho, julho e agosto há necessidade de aquecimento passivo e em dezembro, de privilegiar a ventilação. É possível que os extremos dos meses de verão também caiam nesta zona. Diagrama Bioclimático segundo Guivoni e Milne (1978).

Tomou-se a temperatura como parâmetro básico para a verificação da ocorrência da ilha de calor. Os dados de temperatura (média, média das máximas e das mínimas) foram corrigidos para a altitude da estação meteorológica de referência (aquela de onde se extraiu a série analisada), de modo a se observar melhor a influência do entorno construído, isolando o efeito da altitude. A correção foi feita considerando o decréscimo de 6,5°C a cada quilômetro de altura, para a atmosfera padrão.

A seguir, procedeu-se a uma análise de regressão múltipla entre os dados das várias estações, para o período analisado de 1976 a 1985.

Os dados utilizados foram os dos meses de verão e inverno, determinados segundo método proposto por Akutsu e col. (1987, p.8). Identificou-se, assim, como meses típicos de verão para Belo Horizonte, os meses de fevereiro e março, sendo junho e julho os meses típicos de inverno.

Os dados resultantes de temperatura média das máximas e das mínimas para a situação de verão e de inverno, em cada ponto (estação meteorológica), foram plotados sobre o mapa base. Através do traçado das linhas isotermais, pôde-se observar a ocorrência da ilha de calor sobre o centro urbano (Figuras 4a e 4b).

Uma malha de 70 pontos foi lançada sobre a área de estudo (Figura 2) e para cada um deles foram lidas as variáveis de tipologia de uso do solo, densidade de ocupação, temperatura média das máximas de verão (Txv), temperatura média das mínimas de verão (Tmv), temperatura média das máximas de inverno (Txi) e temperatura média das mínimas de inverno (Tmi).

Finalmente, uma análise de regressão simples das temperaturas para a densidade foi feita, para cada tipologia de uso do solo.

RESULTADOS

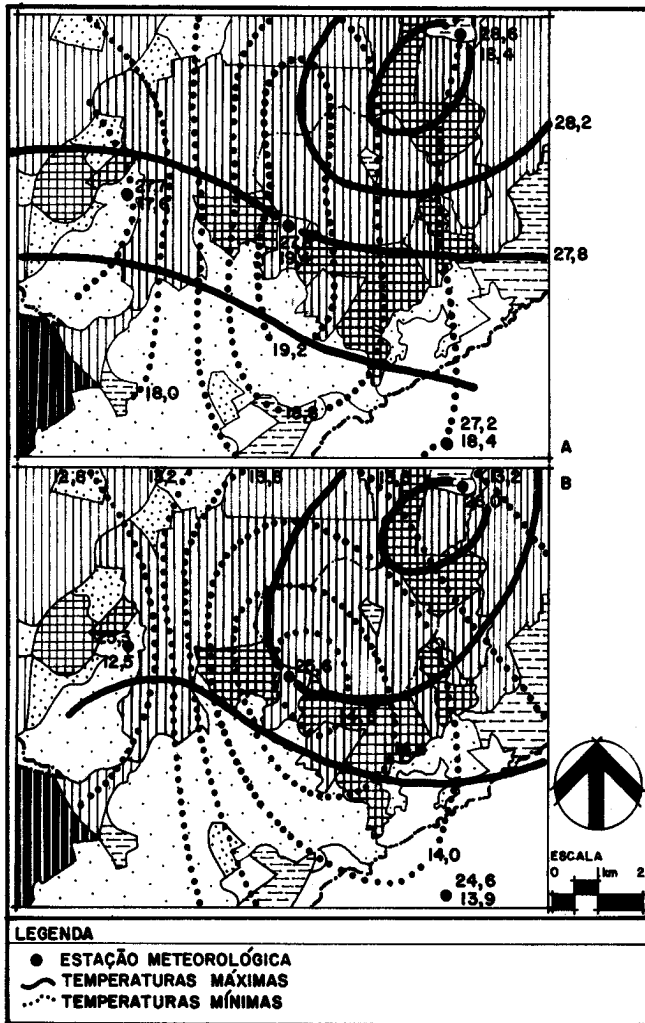


Figura 4 - Ilha de Calor sobre o centro urbano de Belo Horizonte. Em A situação de verão e em B situação de inverno (médias).

Os gráficos da Figura 5 mostram a relação entre a densidade de ocupação e as temperaturas.

Observou-se um comportamento diferenciado na evolução das temperaturas máximas (diurnas) em função da tipologia de ocupação, tanto no verão quanto no inverno, enquanto as temperaturas mínimas (noturnas) não sofreram grande variação.

Em 5A e C, verifica-se que a tendência à elevação da temperatura é mais acentuada para a ocupação horizontal quando cresce a densidade de ocupação, do que para a ocupação do tipo vertical, cujo incremento na densidade causa relativamente pouco aumento na temperatura.

Pode-se dizer que, a partir de uma faixa de densidade de 130 a 150 hab/ha, o impacto da ocupação horizontal sobre o conforto térmico urbano é maior do que o tipo vertical principalmente no verão.

Isto pode ser explicado pelo fato de que, para uma mesma densidade de ocupação, a partir de uma determinada faixa, a horizontal causa maior pressão sobre o solo urbano, diminuindo significativamente a disponibilidade de espaços para áreas verdes não pavimentadas, que contribuiriam sensivelmente para a refrigeração local, através do sombreamento e do processo de evapotranspiração dos vegetais (Bernatzky:1982). Além disso, grandes superfícies horizontais estariam expostas à radiação solar direta durante o dia, lançando menos sombras sobre as estruturas urbanas.

Note-se, aliás, que as regiões mais densas de ocupação horizontal da área de estudo têm normalmente um índice de cobertura vegetal inferior a 3%, enquanto este índice

ce varia de 3 a 50% nas áreas mais densas de ocupação vertical.

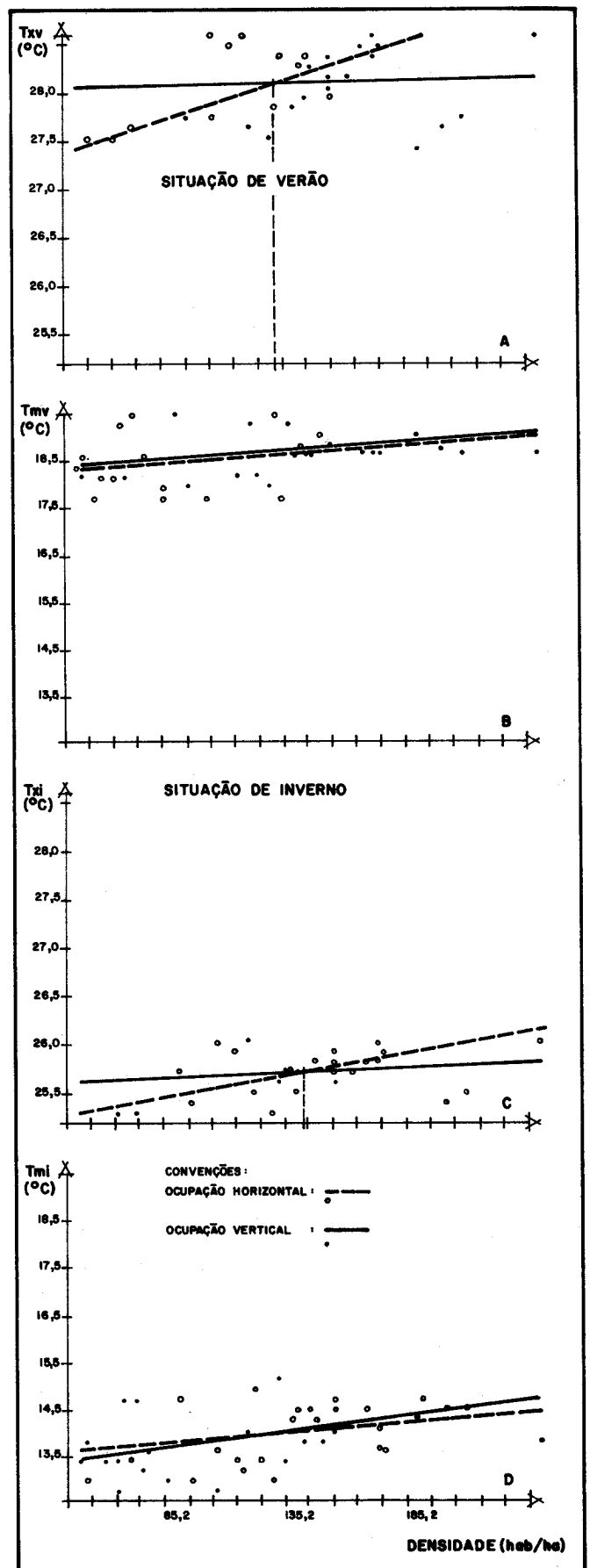


Figura 5 - Relação entre Densidade e Temperaturas.

DISCUSSÃO

As análises de regressão entre densidade e temperaturas tiveram um coeficiente de determinação (r^2) da ordem de 0,50 e um coeficiente de correlação (r) da ordem de 0,70 o que limita os resultados apontados, os quais devem ser considerados como tendências. Maior número de medições de temperatura devem ser realizadas na área de estudo para se obter melhor precisão nos resultados.

Mesmo considerados apenas como tendências, os resultados concordam com a teoria de Oke (1982), segundo a qual a geometria da malha urbana, aqui avaliada através da tipologia de ocupação, além das propriedades térmicas das superfícies, produz diretamente a variação de temperatura.

Um outro tipo de limitação da análise, em termos de comparação com resultados de outras cidades, está ligado ao fato de que a literatura geralmente considera o fenômeno da ilha de calor como um diferencial entre as temperaturas do recinto urbano e do campo à sua volta. No nosso caso, não havia dados disponíveis sobre as temperaturas no meio rural.

Esta escala de tratamento de dados mostrou-se adequada para a verificação da ocorrência da ilha de calor, porém, não é suficiente para a observação dos efeitos das massas de vegetação urbana, mesmo porque as estações meteorológicas encontram-se dentro de áreas verdes.

Este tipo de estudo pode ser útil na avaliação do impacto do uso e ocupação do solo no clima e conforto térmico em uma cidade, orientando a legislação pertinente no sentido de melhorar as condições ambientais dos setores urbanos mais atingidos, através do controle da tipologia de uso e ocupação do solo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi elaborado como aluna bolsista do Mestrado em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo parte da pesquisa para dissertação de mestrado, em desenvolvimento.

Gostaria de expressar meus agradecimentos ao 5º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia, pela cessão dos dados climáticos e orientação no seu tratamento; à Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo apoio no tratamento de dados e pesquisa bibliográfica; à SUDECAP e Secretaria Municipal de Meio Ambiente, pela cessão de dados sobre uso e ocupação do solo, áreas verdes e bibliografia; à Heloísa T. Nunes pela orientação na conceituação e tratamento de dados climáticos e ao prof. Allaoua Saadi, pelas sugestões para a determinação da ilha de calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. AKUTSU, M. e col. *Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares - manual de procedimentos para avaliação*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Divisão de Edificações), 1987.
02. BERNATZKY, A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 5, 1-10, 1982.
03. CHANDLER, T. J. *Urban Climatology and its relevance to Urban Design*. Technical Note 149, WMO 438, Geneva, 1976.
04. GUIVONI, B. e MILNE, M. Architectural Design based on Climate, in: WATSON, D., org. *Energy Conservation through Building Design*. New York, McGraw-Hill, 1978.
05. LANDSBERG, H. E. *Special Environmental Report n. 7 - Weather, Climate and Human Settlements*. WMO 448, Geneva, 1976.
06. LOMBARDO, M. A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles - o exemplo de São Paulo*. São Paulo, HUCITEC, 1985.
07. OKE, T. R. e HANNELL, F. G. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climates Technical Note 108*. Brussels, WMO, 1970.
08. OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quart. Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24, 1982.
09. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (Secretaria de Meio Ambiente). *Situação das Áreas Verdes em Belo Horizonte - estudo e discussão preliminares baseados em levantamentos do DPJMA e PLAMBEL [minuta]*. Belo Horizonte, SMMA, 1987.
10. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP). *Pesquisa de adensamento, ocupação e população*. Belo Horizonte, SUDECAP (Diretoria de Planejamento / Departamento de Planejamento e Programação), 1986, inédito.
11. RIBEIRO, C. M. e MÖL, C. R. Avaliação das Mudanças Climáticas em Belo Horizonte: análise dos parâmetros temperatura e precipitação, in: *Anais do Simpósio Situação Ambiental e Qualidade de Vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG, Belo Horizonte, UFMG, 1985, p. 67-77*.