

# O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG

*The study of urban climate and the urban legislation: considerations based on the case of Montes Claros, MG*

Patrícia Silva Gomes  
Roberto Lamberts

## Resumo

O trabalho discute a interface entre o estudo do clima urbano e a legislação urbanística, tendo como referência empírica os resultados da pesquisa realizada para o caso de Montes Claros, MG. Inicialmente é apresentada uma breve análise da urbanização brasileira, destacando-se os caminhos abertos pelo Estatuto da Cidade em relação à sustentabilidade urbana. Além disto, discutem-se os aspectos teóricos da bioclimatologia urbana, focalizando os impactos da ocupação sobre o clima, especialmente em relação à formação das ilhas de calor. O trabalho analisa o clima urbano de Montes Claros, sobretudo no que se refere ao comportamento higratérmico das áreas construídas e das áreas verdes. Partiu-se da premissa de que há uma correlação entre os microclimas urbanos e as variáveis relacionadas ao uso do solo. Assim, construiu-se um modelo empírico associando os dados gerados de temperatura e umidade a três parâmetros relacionados ao uso do solo, escolhidos a partir dos enquadramentos teóricos: (a) proporção de áreas verdes e impermeáveis; (b) densidade construída; e (c) geometria urbana. Ao final, o artigo propõe como os resultados encontrados podem contribuir no planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Clima urbano. Ilhas de calor. Bioclimatologia urbana. Planejamento ambiental-urbano. Medições climáticas.

## Abstract

*This paper discusses the relationship between the study of urban climate and urban legislation, based on a study carried out in Montes Claros, MG. Initially a review on Brazilian urbanization is presented, focusing on the paths opened by the Statute of the City regarding urban sustainability. Then, theoretical aspects of urban bioclimatology, focusing on the impacts of occupation on climate, particularly of urban heat islands, are discussed. This article analyses the urban climate of Montes Claros in terms of temperature and relative humidity behavior of built and green areas. It was assumed that a correlation exists between the urban microclimates and the variables related to the use of the urban land. An empirical model was built, associating temperature and relative humidity data with three parameters related to the urban use of the land: (a) proportion of green areas and impermeable areas, (b) built density; and (c) urban geometry. Finally, the article proposes how these results can make a contribution to urban planning.*

**Keywords:** Urban climate. Urban heat island. Urban bioclimatology. Urban and environmental planning. Climatic measurements.

Patrícia Silva Gomes  
Universidade Federal de Minas  
Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627,  
Pampulha, Belo Horizonte - MG  
Brasil  
CEP 31270-901  
Tel.: (31) 3409-5000  
E-mail:  
sgomespatricia@yahoo.com.br

Roberto Lamberts  
Departamento de Engenharia  
Civil  
Universidade Federal de Santa  
Catarina  
Caixa Postal 476  
Florianópolis - SC - Brasil  
CEP 88040-900  
Tel.: (48) 3721-9770  
E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

Recebido em 20/11/2008  
Aceito em 02/02/2009

## Introdução

O rápido crescimento urbano verificado no Brasil a partir da metade do século XX fez com que a ocupação das cidades ocorresse de forma desordenada – já que essa não foi precedida de uma política de estruturação para adequar-se à nova condição. Esse crescimento demográfico, ocorrido especialmente nas cidades de médio e grande porte,<sup>1</sup> desencadeou uma série de problemas ao ambiente, como resultado do aumento desmesurado da malha urbana, da verticalização e uso intensivo do solo nas áreas centrais, excessiva impermeabilização, substituição de áreas verdes por áreas construídas, proliferação de assentamentos que desconsideram as restrições do sítio físico, entre outros, fazendo reproduzir nas cidades modelos urbanos com baixa qualidade ambiental.

Os planos diretores criados nesses momentos assumiram uma postura tecnocrática, ou seja, tratavam a cidade como um objeto puramente técnico, no qual se buscava alcançar através de diretrizes de zoneamento os padrões adequados para o crescimento urbano e a organização do espaço físico. Esse rigor na ocupação do solo, associado à ação dos especuladores imobiliários, provocou a exclusão de uma grande maioria da população desfavorecida do processo legal de moradia.

Esse processo fez gerar no país o que se convencionou chamar “padrão periférico de crescimento urbano”,<sup>2</sup> caracterizado pela expansão extensiva das áreas periféricas, destinado, sobretudo, à ocupação pela população de baixa renda, e o crescimento intensivo nas áreas centrais, resultando no adensamento e na verticalização. Como resultado, tem-se um distanciamento entre o projeto de cidade proposto nos planos e a cidade real configurada na prática, o que atestou para a incapacidade do planejamento em resolver os problemas urbanos. Enquanto isso, esses se avolumam, assumindo maior complexidade.

Ante essa realidade urbana e após anos de discussões em torno da necessidade da reforma urbana foi aprovado em 2001 o Estatuto da

Cidade (Lei Federal 10.257) (BRASIL, 2001), que surge como um marco regulatório no planejamento urbano brasileiro.<sup>3</sup> O Estatuto procurou dar um novo enfoque aos planos diretores incorporando o desafio de implementar nas cidades um processo de planejamento democrático, através da criação de instrumentos urbanísticos orientados para a criação de formas de ocupação do solo que atendam à função social da propriedade urbana e também através de algumas inovações como a regularização fundiária e a participação popular.

A criação de instrumentos urbanísticos que subordinam a propriedade urbana (direito de propriedade) ao cumprimento de sua função social (direito coletivo) é um avanço da legislação urbanística, pois abre espaço para o poder público intervir na dinâmica de produção do espaço urbano através da vinculação, por exemplo, de tributos, sanções, compensações ou mesmo impedimento de execução de certos empreendimentos. Entre os instrumentos que trazem de forma implícita referências à questão ambiental como condicionante para a ocupação urbana, destacam-se:

- (a) a outorga onerosa do direito de construir (solo criado), que visa recuperar para a coletividade a valorização do solo decorrente de investimento público, permitindo distribuir de forma mais equitativa os ônus e os benefícios da urbanização;
- (b) a transferência do direito de construir, que tem como fundamento a função social da propriedade e permite que o proprietário urbano possa transferir para outro local seu direito de construir, tendo em vista objetivos como a proteção ambiental e histórico-cultural; e
- (c) o estudo de impacto de vizinhança (EIV), que condiciona a aprovação dos empreendimentos geradores de grande impacto à elaboração prévia de um estudo para a avaliação dos efeitos positivos e negativos trazidos por sua implementação, tais como geração de tráfego, demanda por transporte público, saturação da infra-estrutura, adensamento populacional, sombreamento que causará sobre imóveis vizinhos, valorização imobiliária e as interferências na paisagem urbana e no patrimônio natural e cultural. A partir das

<sup>1</sup> Primeiramente, as metrópoles passaram por uma urbanização acelerada, fruto direto do processo de industrialização na década de 1950. A partir da década de 1980, as cidades médias começaram a verificar o crescimento urbano expressivo. Retratando em números, Maricato (2002) aponta que o Censo do IBGE de 2000 constatou taxas de crescimento urbano de 4,8% para as cidades médias e de 1,3% para as metrópoles.

<sup>2</sup> Vários autores tratam desse assunto, entre eles Rolnik (2001) e Campos Filho (1989).

<sup>3</sup> O Estatuto da Cidade veio regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, referentes à política urbana, estipulando que as cidades com população acima de 20.000 habitantes deveriam elaborar ou revisar seus planos diretores.

conclusões do EIV, o empreendimento poderá ser aprovado (estabelecendo inclusive as condições ou contrapartidas para seu funcionamento) ou poderá ser impedido de execução<sup>4</sup>.

Em relação à problemática ambiental das áreas urbanas, o Estatuto estabelece em seu artigo 2º a garantia ao direito a cidades sustentáveis, “entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações”. Porém, apesar da referência às cidades sustentáveis, é possível perceber que o Estatuto trata as questões referentes à qualidade ambiental de forma simplificada e genérica e que os instrumentos urbanísticos criados tratam a questão apenas de forma implícita.

Nesse contexto, os estudos para elaboração do plano diretor pouco se baseiam no diagnóstico do meio físico como suporte para geração de recomendações para orientar o uso e a ocupação do solo. Em que pese os desafios embutidos,<sup>5</sup> tais diagnósticos estão mais presentes em questões ligadas à expansão urbana, especialmente em virtude dos conflitos entre a ocupação do solo e a preservação ambiental. Em relação às áreas mais densamente ocupadas, percebe-se uma grande lacuna quanto à incorporação dos condicionantes ambientais na geração de recomendações e critérios urbanísticos. Com isso, o que se verifica em alguns casos é que os espaços produzidos, até mesmo em consonância com as exigências da legislação urbanística, apresentam qualidade ambiental questionável.

Nesse contexto, segundo Assis (2007), os métodos do urbanismo bioclimático que partem da compreensão das condições ambientais

<sup>4</sup> A contrapartida a ser oferecida para a implantação do empreendimento pode ser de várias ordens, como, por exemplo, no caso de aumento no adensamento populacional, pode ser exigida a criação de áreas verdes, escolas, creches ou algum outro equipamento comunitário; no caso de sobrecarga à infra-estrutura viária, pode ser exigidos investimentos na colocação de semáforos, em transportes coletivos, entre outros. O EIV pode estabelecer também alterações no projeto do empreendimento, como diminuição de área construída, reserva de áreas verdes ou de uso comunitário, aumento no número de vagas de estacionamento, medidas de isolamento acústico, recuos ou alterações na fachada e normatização de área de publicidade (Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos, 2001).

<sup>5</sup> Esses desafios estão associados à atuação dos interesses difusos dos diversos atores (Estado, movimentos sociais, ambientalistas e especuladores urbanos) e aos conflitos envolvendo a competência de atuação, já que recursos naturais transcendem a escala local, estendendo-se à escala regional, e a questão urbana é regulada principalmente pela legislação urbanística de âmbito estritamente local.

(insolação, iluminação natural, ventos, vegetação) e urbanas (sistema viário, áreas livres, estrutura urbana) são importantes para a definição de diretrizes de planejamento urbano que levem em consideração a capacidade de suporte de adensamento, a presença de áreas verdes, o impacto causado ao entorno, a geração de ruído urbano, a demanda do sistema de transportes, as relações com o sítio natural e as próprias implicações dos domínios morfoclimáticos.

Mais especificamente, o estudo do clima urbano tem-se mostrado uma importante contribuição para que os aspectos relativos à qualidade ambiental sejam tratados de forma mais adequada no plano diretor. Tal estudo permite associações tanto com o planejamento das áreas livres, do qual são derivadas questões como o zoneamento, a preservação ambiental e a expansão urbana, etc., quanto das áreas construídas, que se relacionam ao uso e ocupação do solo e ao código de edificações, podendo contribuir para a criação de índices urbanísticos mais adequados em termos da orientação solar, insolação e iluminação natural e ventilação.

Assim, diante do exposto, o objetivo do trabalho é analisar o clima urbano de Montes Claros, sobretudo no que se refere ao comportamento higrotérmico das áreas construídas e das áreas verdes, visando obter dados para a apropriação no processo de planejamento urbano.

## **Aspectos teóricos da bioclimatologia urbana e sua relação como o uso e ocupação do solo**

O processo de urbanização pode acarretar modificações na atmosfera urbana causando impactos tais como ilhas de calor, poluição do ar variações no regime de precipitações, o que traz conseqüências como maior geração de calor, inversões térmicas, desconforto térmico, aumento no consumo de energia, modificações na ventilação, umidade e precipitações, além de poder comprometer o equilíbrio térmico em uma escala maior. Por essas razões, o balanço de energia – relações de transferência de calor entre a atmosfera e a superfície – é diferenciado entre as áreas urbanas e as áreas rurais circunvizinhas.

No intuito de compreender a natureza teórica do clima urbano e de sintetizar as características da forma urbana mais diretamente envolvidas no fluxo de energia, foram desenvolvidos alguns métodos de pesquisa, que podem ser divididos em:

- (a) métodos empíricos: fundamentados em condições reais, através de medições climáticas em campo associadas ao tratamento estatístico dos dados;
- (b) métodos escalares: desenvolvidos a partir de maquetes físicas que reproduzem as condições reais de um dado local e possuem uma grande aplicabilidade ao planejamento urbano, já que permitem antever, através da criação de cenários, desejáveis ou não, os efeitos climáticos trazidos pelas possibilidades de ocupação; e
- (c) modelos numéricos: auxiliam o entendimento dos processos atmosféricos e a previsão de fenômenos, podendo ser uma alternativa aos trabalhos de campo para a complementação e a obtenção de dados.

Duarte (2000) sintetiza que o grande desafio colocado às pesquisas de clima urbano é justamente transformar os dados climáticos em critérios de ocupação e índices urbanísticos. Para isso, os métodos devem possibilitar a criação de cenários urbanos que possam simular diversas possibilidades de ocupação, arranjos de edifícios, disposição e dimensionamento de áreas verdes e massas d'água. Nesse contexto, as abordagens metodológicas são complementares, já que os métodos empíricos (descritivos) são eficientes para fornecer informações sobre as realidades urbanas como base para a modelagem física e numérica (exploratórias).<sup>6</sup>

Oke (1981) deu uma importante contribuição teórica ao tema, demonstrando, por meio da modelagem física e numérica, os fenômenos de transformação de energia que ocorrem na camada limite atmosférica.

Em outra vertente, com um enfoque mais descritivo, o trabalho de Katzschner (1997) propõe uma estrutura de integração entre as informações do clima urbano e o planejamento. Assim, os dados climáticos, tais como os caminhos de vento, a distribuição das temperaturas e a identificação da poluição do ar são utilizados como suporte para a definição de diretrizes de projeto e planejamento. O autor sugere ainda que os condicionantes geoecológicos do meio urbano sejam identificados, de modo a definir áreas que precisam ser melhoradas ou preservadas para garantir as condições de qualidade e conforto ambiental para as cidades.

<sup>6</sup> No entanto, é preciso salientar que o desenvolvimento de métodos exploratórios é ainda relativamente limitado, já que é necessário recorrer a modelos muito complexos para simular cenários urbanos muito simplificados, insuficientes para a compreensão de realidades urbanas complexas.

A recente experiência com a medição do balanço de energia, a partir do trabalho de Oke *et al.* (1999) para a Cidade do México, revelou que nas áreas densamente urbanizadas as variáveis de trocas térmicas se relacionam de forma muito mais complexa. Com isso, não foi possível estabelecer uma correlação linear entre os parâmetros de ocupação. As medições na Cidade do México demonstraram que as trocas de calor foram basicamente influenciadas pela temperatura (calor sensível), enquanto a evaporação e a condensação (trocas úmidas) foram praticamente nulas.

No caso brasileiro, Duarte (2000) analisou a correlação, através da regressão linear simples, entre as variáveis diretamente ligadas à legislação urbanística, tais como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e presença de água e de vegetação, e os dados de temperatura do ar da cidade de Cuiabá, MT, propondo como resultado um índice relacionando essas variáveis, de modo a promover melhores padrões de ocupação urbana. Com um enfoque também descritivo, Barbugli (2004) usaram a regressão linear múltipla para analisar variáveis urbanísticas como índices de ocupação, densidade populacional, altitude e ângulo de inclinação solar com dados de temperatura do ar para Araraquara, SP.

A bioclimatologia urbana propõe uma síntese entre os aspectos da ocupação urbana e as condições do meio físico, sendo uma importante abordagem teórica no estudo do clima urbano. Nesse contexto, a partir da contribuição de Higuera (2006), Assis (2007, p. 154) avalia que:

*A experiência de planejamento e projeto urbanos considerando aspectos bioclimáticos está atualmente mais desenvolvida na Europa, onde as metodologias tratam não apenas dos levantamentos a serem efetuados, como também da cartografia para apresentação dos resultados e das sínteses de diagnóstico e intervenção. Os critérios adotados para o planejamento geralmente consideram a preservação dos canais principais de ventilação, a eficiência energética no ordenamento do uso e ocupação do solo (considerando tanto o condicionamento passivo, que implica em critérios de acesso ao sol e aos ventos, quanto a integração de fontes renováveis à matriz energética urbana, como a energia solar e eólica), a manutenção das condições adequadas de umidade através de áreas verdes e preservação dos corpos d'água, e estratégias bioclimáticas específicas para cada domínio climático, que se estendem à escala do edifício.*

Assim, considerando os aspectos da bioclimatologia, focalizam-se a seguir os efeitos dos condicionantes ambientais áreas verdes, relevo, massas de ar e massas d'água, e dos parâmetros urbanísticos densidade construída, geometria urbana e impermeabilidade do solo.

### Efeitos dos condicionantes ambientais

A vegetação exerce diversas funções para o controle do clima, entre elas a de proporcionar sombra, resfriar o ar, aumentar a umidade e filtrar e absorver os poluentes do ar. A radiação visível absorvida pelos vegetais é utilizada na evapotranspiração, o que contribui para as trocas de calor latente (trocas térmicas úmidas), trazendo a umidificação do ar. Portanto, a vegetação, além de absorver a radiação solar excessiva (sombreamento), atua no resfriamento e na umidificação do ar, contribuindo, em ambas as vias, para o estabelecimento de microclimas mais agradáveis.

Os resultados de algumas pesquisas demonstram que a influência das áreas verdes na melhoria do clima se estende somente a uma curta distância nos arredores densamente construídos. Bach (1970) e Honjo e Takakura (1990) demonstram que a distribuição de cobertura vegetal em pequenas parcelas de forma uniforme por toda a cidade é mais eficiente para a amenização climática do que a concentração desta em poucos lugares muito grandes.

A presença de corpos d'água nas áreas urbanas é um importante recurso para o clima, já que são capazes de regular o intercâmbio entre calor e umidade, sendo relevante para a amenização da ilha de calor nas cidades. Através da evaporação, a água converte a energia radiante em calor latente, contribuindo para a redução da

temperatura e para o aumento da umidade do ar, atuando como um condicionador de ar natural. Dessa forma, as massas d'água favorecem a melhoria do microclima de áreas circunvizinhas.

O vento é um dos condicionantes mais importantes e sua ação pode resultar em situações climáticas positivas, através do suprimento de ar fresco e refrigerado; ou negativas, contribuindo para a difusão de poluentes e para a configuração da ilha de calor. A velocidade do vento nas áreas urbanas é menor que nas áreas rurais, como esquematizado na Figura 1.

A ocupação urbana tem uma grande influência nas condições de ventilação, pois as massas de ar em movimento, ao atritarem-se com as superfícies urbanas rugosas, geram um fluxo de ar turbulento, o que favorece as trocas de calor por convecção. Oliveira (1988, p. 33) observa que:

*Quanto mais próximos os elementos da massa edificada, maiores os obstáculos à penetração dos ventos. Quanto maiores os contrastes entre as alturas dos elementos da massa edificada, maior o turbilhonamento dos ventos; melhor ventilação se combinada com porosidade; maior a velocidade dos ventos em parte da massa edificada próxima dos volumes mais altos; e maiores as trocas térmicas com o ambiente atmosférico, ocasionando menores ganhos térmicos, conseqüentemente, menores temperaturas do ar.*

Por fim, as condições do sítio físico também influenciam no condicionamento térmico urbano. Romero (2000) classifica que os microclimas são diferenciados em função da altitude, das declividades topográficas, da orientação das vertentes e da exposição à radiação. Em uma região acidentada, como no exemplo da Figura 2, é possível identificar microclimas variados.



Fonte: Adaptado de Landsberg (1981)

Figura 1 - Gradientes genéricos de vento em área urbana, suburbana e área aberta



Fonte: Romero (2000, p. 31)

Figura 2 - Influência do relevo na formação de microclimas

As ondulações do terreno determinam ângulos de incidência solar e, conseqüentemente, a quantidade de radiação recebida. Da mesma forma, dependendo da trajetória solar, as vertentes podem estar expostas a condições de radiação direta ou sombra. A interação desses dois fatores com o perfil da declividade proporciona diferenças climáticas para as diversas situações geomorfológicas, tais como fundos de vale, planícies e encostas. O relevo pode funcionar também como uma barreira para as massas de ar, definindo distintas condições de ventilação urbana, seja através da exposição aos ventos dominantes, seja através da formação de zonas de estagnação de massas de ar. A temperatura tende a variar com a altitude. De forma geral, cada 100 m de elevação corresponde a uma queda de temperatura de 0,65 °C.

Assim, considerando a influência desses fatores naturais sobre o clima, enfatiza a necessidade de sua incorporação na determinação dos critérios de ocupação e na definição das densidades urbanas para os diferentes recintos urbanos.

### Parâmetros urbanísticos

As pesquisas em clima urbano demonstram a relação existente entre a distribuição de temperaturas do ar e o uso do solo. Geralmente, as regiões intra-urbanas com temperaturas mais elevadas correspondem àquelas onde se concentram os usos industriais e comerciais, o que normalmente significa maior concentração de pessoas; aquelas com temperaturas mais amenas correspondem aos bairros residenciais ou locais com elevada presença de cobertura vegetal, o que foi verificado por Lombardo (1985), em seu estudo sobre a ilha de calor na metrópole paulista.

Oke (1981), usando modelos físicos teóricos e modelagem numérica, demonstrou que a geometria urbana e as propriedades térmicas das superfícies construídas são as principais variáveis

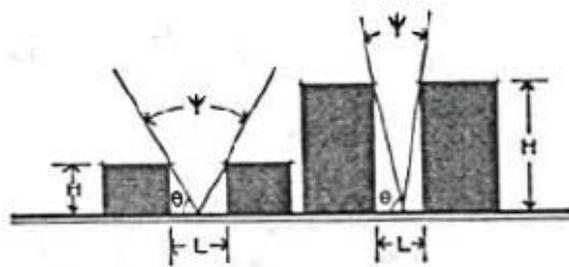
envolvidas na alteração do balanço energético local e, por conseguinte, na formação da ilha de calor noturna<sup>7</sup>.

A geometria urbana refere-se às relações nos cânions urbanos entre a altura dos edifícios e a distância entre eles (H/W). Os efeitos de aquecimento e resfriamento relacionados aos cânions urbanos são distintos para as condições diurnas e noturnas. Durante o dia, o sombreamento das edificações pode provocar uma diminuição na quantidade de radiação que atinge o solo e, conseqüentemente, o ar próximo ao nível da rua. As relações nos cânions urbanos podem ser descritas pela variável fator de visão de céu (FVC). Esse fator é um parâmetro adimensional que expressa a relação geométrica entre a superfície terrestre e o céu, quantificando a área de céu visível e a respectiva projeção da obstrução pelos elementos da superfície, como mostra a Figura 3.

No trabalho de Souza, Rodrigues e Mendes (2003), o FVC foi calculado automaticamente a partir de uma extensão do programa ArcViewGIS 3.2 – o 3DSkyView –, que permite a modelagem tridimensional do espaço urbano e, associado a uma rotina de cálculo nele implantada, torna-se possível a simulação do fator de visão do céu para vários pontos simultaneamente.

Oke (1981) conclui que, quanto mais obstruído é um local no meio urbano, menor é a capacidade de troca térmica radiativa, o que dificulta a irradiação térmica do calor, contribuindo para o aquecimento noturno – daí a compreensão da ilha de calor como fenômeno tipicamente noturno.

<sup>7</sup> Usando modelos de simulação, Oke demonstrou, fazendo o FVC variar enquanto mantinha a inércia térmica constante, que se poderia produzir fatos temporais de uma ilha de calor ideal durante a noite. Do mesmo modo, no caso de não haver diferenças de FVC entre áreas urbanas e rurais, um incremento da inércia térmica também poderia produzir aqueles fatos (ASSIS, 1990).



Fonte: Lowry (1988)

Figura 3 - Fator de Visão de Céu ( $\psi$ )

O outro fator determinante para a formação da ilha de calor noturna – as propriedades térmicas das superfícies – relaciona-se com a capacidade dos materiais em armazenar calor e pode ser descrito pela abordagem da inércia térmica.

A energia solar total (ganhos) é convertida em uma parcela que é dissipada (perdas) e outra que fica armazenada internamente. Os materiais utilizados na construção, em especial o concreto e o asfalto, absorvem parte do calor em seu interior, conseqüência de sua massa térmica. Esse calor retido é devolvido ao ambiente principalmente no período noturno (atraso térmico). Assim, nas áreas adensadas, a configuração dos cânions urbanos, pouco adequada à dissipação de calor, permite que a energia calorífica armazenada pelas estruturas urbanas durante o dia seja dissipada à noite, favorecendo o aquecimento noturno.

Santos, Gazzola e Assis (2003) trabalharam com a abordagem da inércia térmica, através da correlação entre as temperaturas do ar e a quantidade de massa construída. Os resultados revelaram boas aproximações, sendo relevantes para previsões de densidades urbanas.

A estimativa da densidade construída está diretamente relacionada com a abordagem da massa térmica e, conseqüentemente, com as propriedades térmicas dos materiais. Os estudos de vários pesquisadores (CHANDLER, 1965<sup>8</sup>; OKE; WANNELL, 1970<sup>9</sup>; LANDSBERG, 1976<sup>10</sup> apud ASSIS, 1990) demonstraram que o centro da ilha de calor numa cidade está freqüentemente localizado sobre a área de maior densidade de construção. Nesse sentido, Duarte (2000, p. 23) comenta que:

*Com o entendimento dos fenômenos de aquecimento urbano, já se sabe que é conveniente substituir o parâmetro população usado em alguns modelos da ilha de calor por densidade construída, como propôs Givoni (1999)<sup>11</sup>, por esta apresentar uma relação causal mais forte com o aquecimento urbano citando, o que afeta diretamente o papel das leis de uso e ocupação do solo. (Grifo da autora).*

O excesso de impermeabilização do solo favorece o aumento do escoamento superficial das águas pluviais. Além disso, as propriedades térmicas dos materiais de pavimentação favorecem o estoque de calor, contribuindo para o aquecimento térmico.

Nos estudos de bioclimatologia, a metodologia para o tratamento desses dados inclui sua espacialização em mapas temáticos, e a partir do cruzamento dessas informações é possível definir critérios para a ocupação.

## Metodologia

A pesquisa desenvolveu-se tomando como estudo empírico o clima urbano de Montes Claros. O município possui uma população estimada em 348.991 habitantes<sup>12</sup> e é o principal pólo populacional e econômico da região norte de Minas Gerais.

Sua temperatura média normal anual é de 24,2 °C e seu tipo climático é o tropical subúmido, sendo definido por duas estações típicas: um verão quente com chuvas e uma estação seca prolongada. Devido à distribuição irregular das chuvas, o município está incluído na área mineira do Polígono das Secas. O município possui temperatura máxima de 29,3 °C e mínima de 16,7 °C, sua umidade relativa anual é de 66,6% (consulta direta ao 5º Distrito do Instituto

<sup>8</sup> CHANDLER, T. J. *The Climate of London*. Londres: Hutchinson, 1965. 292 p.

<sup>9</sup> OKE, T. R., WANNELL, F. G. *The Form of the Urban Heat Island in Hamilton, Canada*. Bruxelas: World Meteorological Organization, 1970. (Urban Climates, 108)

<sup>10</sup> LANDSBERG, H. E. *Weather, Climate and Human Settlements*. Geneva: World Meteorological Organization, 1976. 53 p. (Special Environmental Report, n. 7)

<sup>11</sup> GIVONI, B. *et al.* Outdoor Comfort Research Issues. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 1, p. 77-86, jan. 2003.

<sup>12</sup> Dados do IBGE (2006).

Nacional de Meteorologia – 5º DISME/INMET). A radiação solar na região é bastante elevada e os ventos são suaves, com predominância, no verão, dos sentidos norte e nordeste (durante o dia) e oeste (durante a noite), e, no inverno, de leste e, secundariamente, nordeste.

Após o reconhecimento da cidade, foram escolhidos para a pesquisa de campo 11 locais que representam diferentes condições em relação às características ambientais e à ocupação urbanística. Os pontos selecionados abrangem nove na área urbana, um fora do perímetro urbano e um aparelho mantido na estação do INMET.

Na área central foram escolhidos cinco pontos:

- (a) o Alto dos Morrinhos, com topografia mais acidentada e ocupação antiga e espontânea;
- (d) a Praça da Catedral, que possui grande densidade de edificações, sem recuos frontais e com pequeno afastamento lateral, ruas estreitas, cobertura vegetal inexpressiva, acentuada impermeabilização do solo e intensa movimentação de veículos e pedestres;
- (b) a Praça da Matriz, que é um dos poucos locais com arborização significativa no centro da cidade – em seu entorno há uma ocupação antiga com casarios históricos e ruas estreitas;
- (c) a Avenida Deputado Esteves Rodrigues (Av. DER), que se situa em um entroncamento de avenidas sanitárias – o local é bastante impermeabilizado devido à canalização dos cursos d'água e ao excesso de pavimentação asfáltica;
- (e) o Senac, que possui uma avenida *boulevard* e está passando por um processo de verticalização com a implantação de edifícios comerciais e residenciais.

Na região sudoeste foram colocados dois pontos:

- (f) o Parque Municipal, que possui uma vegetação densa, com espécies do cerrado e uma lagoa com significativo espelho d'água – no entorno localizam-se bairros residenciais de baixa densidade;
- (g) proximidade do Parque Sapucaia, que se situa no pé da Serra do Ibituruna (maior elemento do relevo no sítio físico da cidade) e apresenta uma cobertura vegetal nativa de cerrado bastante expressiva – a densidade habitacional do local é muito baixa.

O ponto fora do perímetro urbano foi:

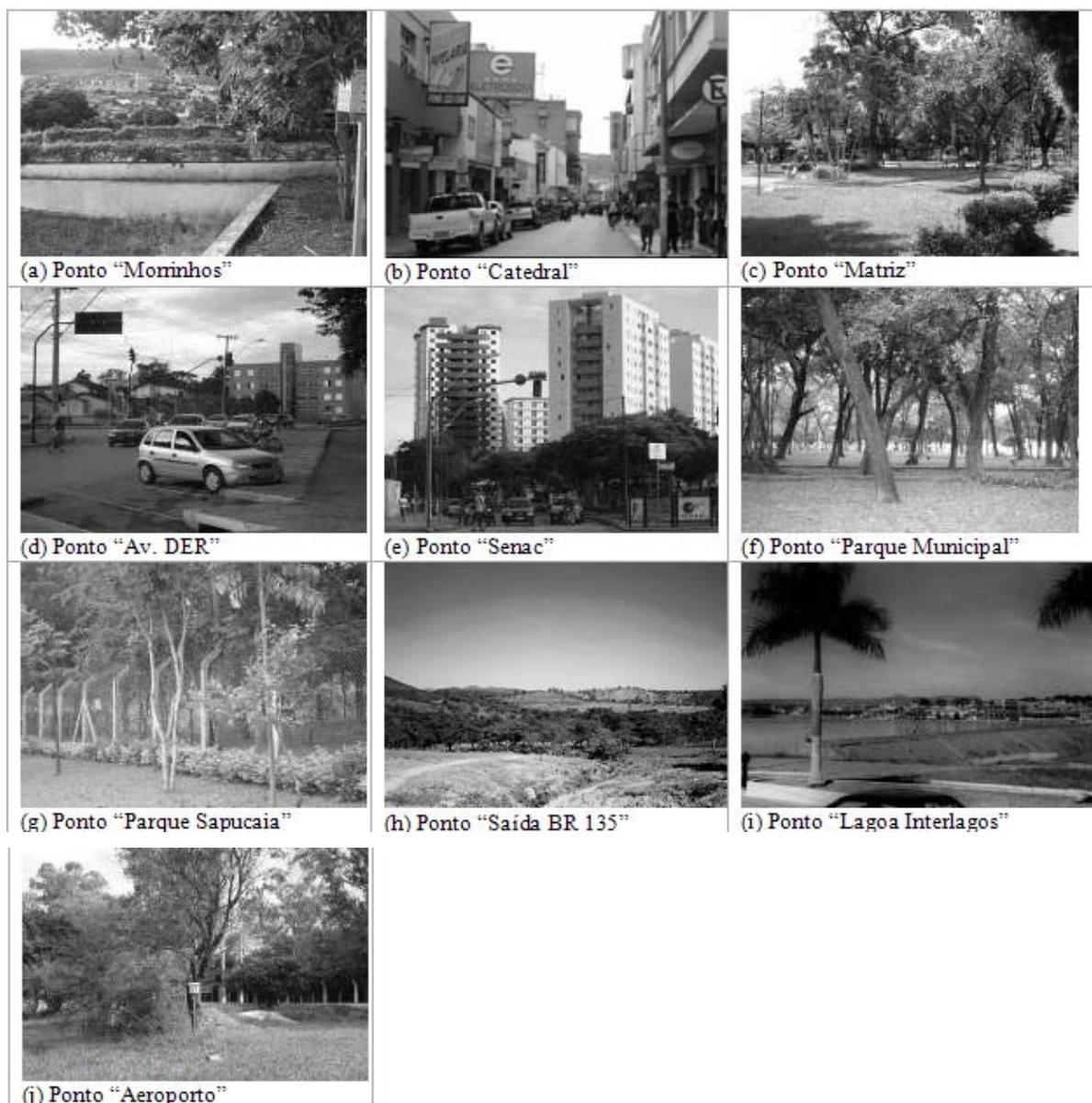
- (h) a saída da BR-135, escolhida por representar o entorno natural da região.

Na região norte, selecionaram-se:

- (i) o entorno da Lagoa Interlagos, que possui a maior massa d'água da cidade – no local há vários lotes vagos e predomina os usos residencial e comercial (especialmente restaurantes);
- (j) o Aeroporto, que está localizado em uma região mais afastada da malha urbana, com a existência de uma cobertura vegetal bastante significativa; e
- (k) o INMET, que possui cobertura vegetal pouco significativa e poucas edificações de entorno.

A Figura 4 mostra o aspecto da ocupação em cada ponto.

Após escolhidos os pontos para a análise, realizou-se a pesquisa de campo, que consistiu na medição dos dados de temperatura e umidade e na determinação dos parâmetros urbanísticos utilizados no estudo.



Fonte: Gomes (2008)

Figura 4 - Perfil da ocupação nos locais estudados

### Método para a determinação dos parâmetros urbanísticos

Os parâmetros urbanísticos analisados no estudo estão relacionados com a abordagem teórica da ilha de calor. Com esse intuito, foram analisadas as seguintes variáveis:

- (a) identificação das diferentes superfícies de ocupação e suas respectivas porcentagens;
- (b) determinação da densidade construída; e
- (c) análise da geometria urbana através da determinação do fator de visão do céu (FVC).

Para a análise desses parâmetros, foi estipulada uma área de 150 m de raio ao redor do ponto de observação climática. Esse valor foi adotado com base em constatações de estudos anteriores, entre eles Mizuno *et al.* (1990) e Barbugli (2004), embora alguns autores como Duarte (2002) salientem que ainda não há consenso nos trabalhos de clima urbano sobre o raio de influência da medição climática.

A identificação das superfícies de ocupação foi realizada por meio da interpretação visual utilizando-se como referência a imagem de satélite de alta resolução IKONOS datada de 2005, combinada com os dados do mapa urbano e

do cadastro imobiliário. Essas informações foram complementadas em um trabalho de campo que consistiu na verificação da situação de cada edificação: atualização da área de projeção da edificação, presença de coberturas, anexos, quintais e anotação do número de pavimentos.

Após a identificação, foram quantificadas as diferentes superfícies, enquadrando-as nas seguintes categorias: áreas edificadas; áreas permeáveis – arborizadas, gramadas, solo natural e britado; áreas impermeáveis – pavimentadas, calçadas e asfaltadas; e corpos d'água, como mostra a Figura 5b. A identificação das superfícies de ocupação está intimamente relacionada às propriedades térmicas dos materiais, o que justifica sua abordagem.

A densidade construída foi determinada a partir da projeção das áreas edificadas levantadas anteriormente (item 1) e do respectivo número de pavimentos de cada edificação obtido em trabalho de campo (Figura 5d). Na determinação do número de pavimentos não foram considerados as sobrelojas e os terraços descobertos. Nas edificações com pé-direito maior (as igrejas, por exemplo) foi feita uma estimativa da altura (interna) para depois associá-las ao respectivo número de pavimentos, considerando cada pavimento com 3 m de pé-direito. Colocou-se o cálculo das coberturas separadamente, já que estas não apresentam o mesmo desempenho térmico das estruturas edificadas, tendo em vista a inércia térmica.

O cálculo da densidade construída foi feito a partir das seguintes equações:

$$\text{Área total edificada} = \sum (\text{Área de cada categoria edificada} \times \text{Respectivo número de pavimentos}) + \sum (\text{Áreas cobertas}) \quad (1)$$

$$\% \text{ Área edificada por amostra} = \frac{(\text{Área total edificada} \times 100)}{(\text{Área Total da Amostra})} \quad (2)$$

Esse parâmetro tem uma relação direta com a legislação urbanística, já que relaciona dois aspectos importantes da ocupação urbana: a quantidade de edificações por unidade de área e a respectiva altura (gabarito) dessas edificações, que estão relacionadas, respectivamente, à taxa de ocupação e ao coeficiente de aproveitamento. Como a densidade de edificações está diretamente relacionada à presença da massa construída, sua abordagem é importante para a análise da inércia térmica, causa primária da ilha de calor.

Para a análise da geometria urbana através do FVC, usou-se a técnica das fotografias com lente

olho-de-peixe, que representa um ângulo de 180° da cena fotografada, que foi nivelada a partir do solo. Inicialmente, selecionou-se o local mais representativo da tipologia de ocupação em cada ponto. Os pontos foram localizados preferencialmente no meio das quadras, de modo a representar as características geométricas médias, conforme Oke (1981), e evitaram-se ruas muito inclinadas. Marcou-se na lente o indicativo do norte.

De posse das imagens, desenhou-se o contorno da área de céu visível através do programa AutoCad®, desconsiderando os elementos não inerentes à paisagem urbana.

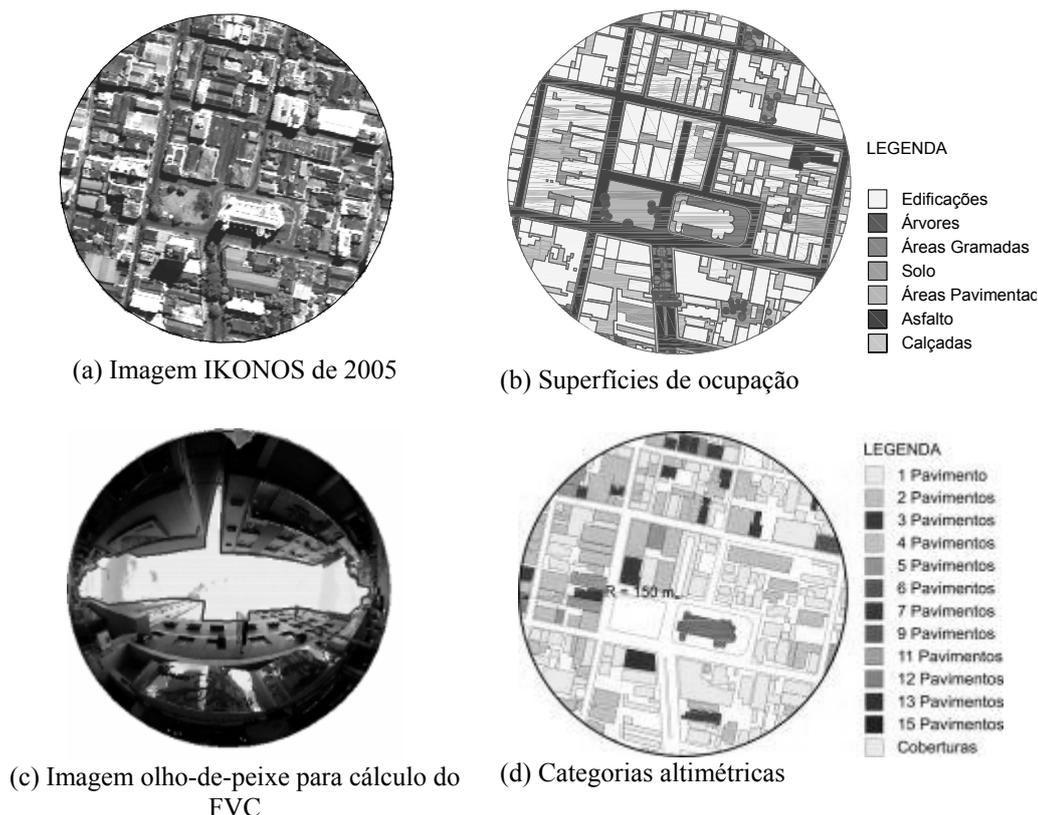
O FVC foi determinado, mediante procedimento de cálculo de área, usando-se como referência o contorno da área de céu visível de cada local em projeção equidistante. O valor do FVC, dado em porcentagem, foi obtido através da proporção entre a área total do círculo correspondente à projeção da imagem e a área da obstrução, como mostra a Figura 5c.

### Método para as medições climáticas

As medições climáticas em campo foram feitas através de medidas fixas, simultâneas (nos 11 pontos) e contínuas, utilizando-se aparelhos eletrônicos *dataloggers* do tipo HOBO® (precisão de 0,3 °C), modelo RH/Temp H08-003-02. Antes da medição em campo, foi realizado um teste para ajustar/padronizar as leituras dos *dataloggers* utilizados.

Os *dataloggers* foram protegidos em miniabrigos de madeira, confeccionados em paredes duplas, contendo pequenas aberturas desencontradas entre uma parede externa e outra interna, permitindo, assim, a livre circulação do ar, mas evitando a incidência solar direta. As superfícies internas foram revestidas com uma folha de alumínio. Os abrigos foram pintados na cor branca e apoiados em uma haste de madeira a 1,5 m do solo.

Foram realizados três ciclos de medição, todos no ano de 2007. O primeiro, em janeiro, abrangendo a situação de verão quente e úmido; o segundo, em junho e julho, abrangendo o inverno com temperaturas amenas e baixa umidade; e o terceiro, em setembro, situação com temperatura elevada e baixa umidade. Os dados de temperatura e umidade foram levantados em períodos com condições estáveis de tempo atmosférico (céu aberto e calmaria: velocidade do vento inferior a 3 m/s).



Fonte: Gomes (2008)

Figura 5 - Determinação dos parâmetros urbanísticos para o exemplo do ponto “Catedral”

### Método para análise dos resultados

Para a análise qualitativa da ilha de calor, cujos resultados são discutidos no item 4.1, trabalhou-se com os dados médios horários do período de dez dias estudados.<sup>13</sup>

Para a análise do comportamento das áreas construídas e das áreas verdes e impermeáveis, cujos resultados são discutidos nos itens 4.2 e 4.3, foram realizados vários testes de regressão linear,<sup>14</sup> utilizando-se os gráficos de dispersão

entre as variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa (variáveis resposta ou dependentes) e as variáveis urbanísticas (explicativas ou independentes), na tentativa de compreender a intensidade e o período de influência destas últimas no comportamento higrotérmico. Para a montagem dos testes de correlação linear foram considerados os seguintes ajustes na base de dados climáticos e urbanísticos:

(a) em relação à base de dados climáticos, entre os dez dias consecutivos estudados, foram escolhidos para os testes de correlação linear apenas alguns, considerados mais típicos, ou seja, aqueles com menor nebulosidade e velocidade do vento. Utilizaram-se para isso as imagens de nebulosidade (para cada dia e horário) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e as médias da velocidade do vento do INMET. Os dias selecionados foram os seguintes: 19, 21, 22 e 26 de janeiro; 28, 29 e 30 de junho; 2 e 3 julho; e 20, 23 e 28 de setembro; e

<sup>13</sup> Como a variação topográfica existente entre os pontos “Morrinhos” (695 m) e “Interlagos” (620 m) é de 75 m fez-se uma correção considerando a variação proporcional de 0,49 °C (pois, como já colocado, a cada 100 m de altitude na baixa troposfera há uma variação média de 0,65 °C na temperatura). Assim, os próximos pontos mais elevados são “ONG” e “Aeroporto” (670 metros) o que corresponderia, pela mesma proporção, a uma variação de 0,32 °C, aproximadamente dentro da mesma faixa de erro dos instrumentos que é de 0,30 °C.

<sup>14</sup> Na equação linear, o valor R<sup>2</sup> (Fator de Determinação) mede descritivamente a proporção da variação de Y que pode ser explicada por X. Um valor de R-quadrado muito próximo de um, por exemplo, indica uma forte relação entre as duas variáveis, este coeficiente é sempre positivo. O Coeficiente de Correlação (r) pode ser negativo ou positivo. Valores de (r) igual ou próximo de (1) ou (-1) implicam na maior correlação entre as variáveis, assim, no primeiro caso a relação é direta,

enquanto que no segundo é inversa, valores próximos de zero, significam que existe pouco relacionamento entre as variáveis.

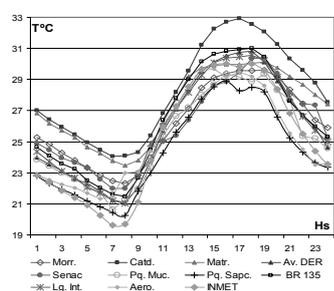
(b) em relação aos dados urbanísticos, para o FVC, o ponto do Parque Sapucaia foi retirado da correlação justamente por apresentar elevada obstrução do céu em virtude da vegetação, o que está em desacordo com a abordagem desse parâmetro porque resulta em processos de trocas térmicas diferentes. A correlação com a densidade construída foi feita utilizando-se todos os pontos. Para a correlação com a taxa de cobertura vegetal, foram eliminados os pontos do INMET e da Lagoa Interlagos, pois, apesar de possuírem apenas 3% de cobertura vegetal, a temperatura nesses locais se mostrou mais amena por outros motivos; assim, optou-se por excluí-los da análise. Na correlação com as áreas impermeáveis, eliminou-se o ponto situado fora do perímetro urbano (Saída BR-135).

As correlações foram feitas para os horários de 5, 9, 15 e 21 horas para cada dia separadamente, e também para as médias horárias dos dias escolhidos. São discutidos os resultados para alguns desses dias.

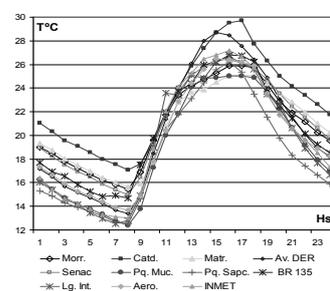
## Resultados

### Formação da ilha de calor

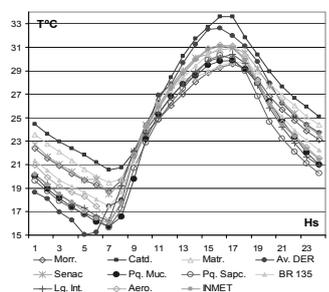
A análise do campo térmico urbano deve ser realizada para um período de 24 horas. Nesse sentido, a Figura 9, a seguir, mostram a evolução horária da temperatura e da umidade nos locais estudados, em três períodos medidos.



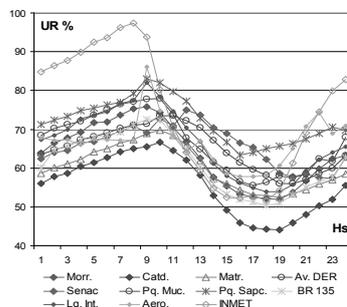
(a) Média horária da temperatura, situação de janeiro



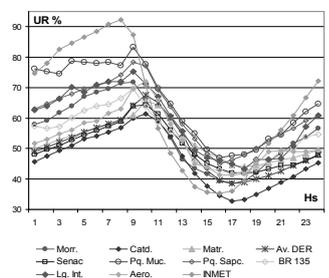
(b) Média horária da temperatura, situação de julho



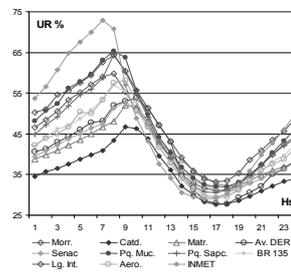
(c) Média horária da temperatura, situação de setembro



(d) Média horária da umidade, situação de janeiro



(e) Média horária da umidade, situação de julho



(f) Média horária da umidade, situação de setembro

Fonte: Gomes (2008)

Figura 6 - Média horária da temperatura e da umidade durante os dez dias de medição nos três períodos de 2007.

Eliminando-se a ocorrência dos outros fatores, como a interferência das trocas convectivas (ventilação) e da topografia (já que houve a correção do ponto “Morrinhos”), pode-se verificar a ocorrência da ilha de calor na cidade, associando-a a influência das trocas radiativas entre as superfícies e a atmosfera.

Como no modelo teórico clássico, a configuração da ilha de calor na cidade apresenta maior magnitude nas áreas centrais adensadas, diminuindo gradativamente até a periferia urbana. Durante a madrugada até o nascer do sol, estabelece-se a diferença de temperatura entre as áreas centrais, representadas pelos pontos da Catedral, Matriz, Avenida Sanitária, Senac e Morrinhos; e as periféricas (demais pontos). Essa diferença térmica é menos expressiva durante a manhã. De um modo geral, os pontos localizados na área central, registraram durante a tarde temperatura superior àqueles localizados nas áreas periféricas. Essa diferença prolonga-se até o período noturno, quando ocorre a dissipação do calor acumulado pela estrutura urbana. A diferença térmica no período noturno foi mais expressiva, corroborando com as características da ilha de calor como fenômeno tipicamente noturno. Em termos quantitativos, a diferença

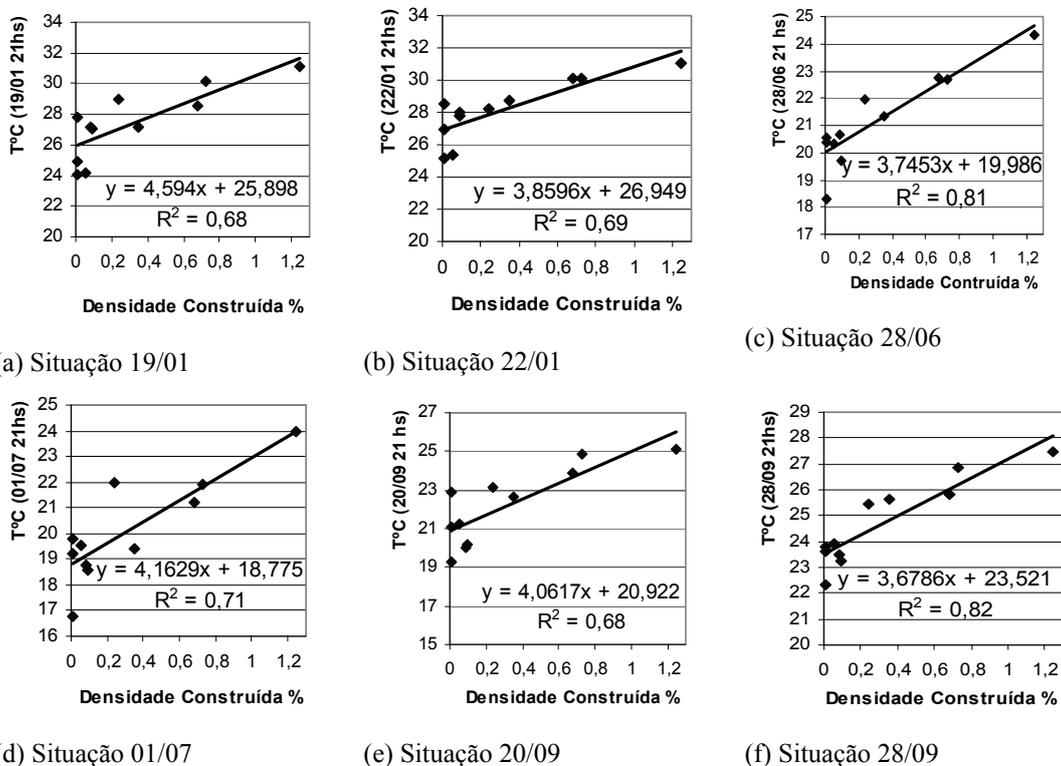
térmica encontrada é de aproximadamente 5 °C nas três condições medidas.

Em relação à umidade relativa, nota-se que a diferença entre os pontos centrais e periféricos é mais expressiva durante a madrugada e pela noite. Durante o dia, os pontos situados nas áreas mais densamente ocupadas apresentam um percentual de umidade menor.

### Comportamento das áreas construídas

A análise das áreas construídas está intimamente relacionada às variáveis densidade construída e fator de visão de céu.

Para a análise da densidade construída foram realizados testes de regressão linear nos horários de 9, 15 e 21 horas (arbitrados em função dos horários de leituras do INMET) e para o horário das 5 horas da manhã (madrugada). Os resultados das correlações encontradas para os horários diurnos foram baixas; já no período noturno, encontraram-se coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 68% e 69% para janeiro, 71% e 81% para junho e julho, e 68% e 82% para setembro, como pode ser visto na Figura 7.



Fonte: Gomes (2008)

Figura 7 - Densidade construída x temperatura às 21h em diferentes datas

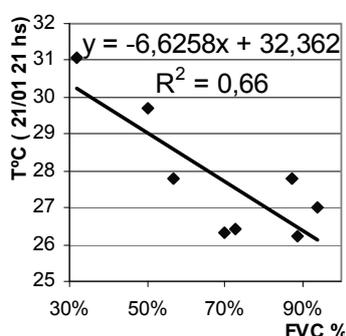
Considerando a média da temperatura às 21 horas para os dias escolhidos para os testes de correlação, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados foram os seguintes: 66% para janeiro, 69% para junho e julho, e 73% para setembro.

Foram feitos também testes de correlação apenas para os pontos centrais, Catedral, Matriz, Av. DER e Senac, considerando a temperatura média às 21 horas para os dias escolhidos em cada período. Os valores de  $R^2$  encontrados foram bem mais significativos: 91% para janeiro, 99% para junho e julho, e 89% para setembro.

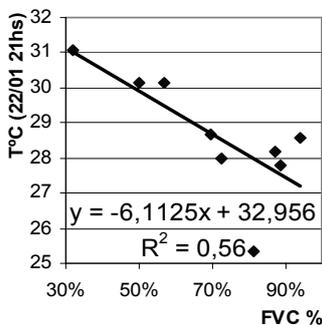
Esses resultados reforçam a abordagem da ilha de calor como fenômeno noturno e confirmam a

influência da inércia térmica, pois os materiais constituintes da massa edificada urbana tendem a atrasar o fluxo térmico, assim o calor armazenado durante o dia pelas construções é dissipado no período noturno, elevando-se a temperatura nesse horário.

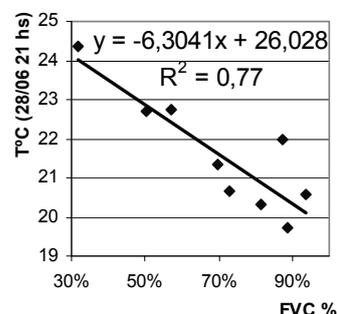
Para o FVC foram encontrados os seguintes fatores de determinação no período noturno: 56% e 66% para janeiro, 65% e 77% para junho e julho, e 68% e 72% para setembro, conforme a Figura 8. Essas correlações tendem a perdurar até a madrugada. Nota-se a correlação negativa entre os dados, ou seja, o menor FVC (maior obstrução) corresponde às maiores temperaturas.



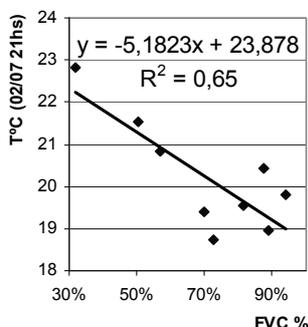
(a) Situação 21/01



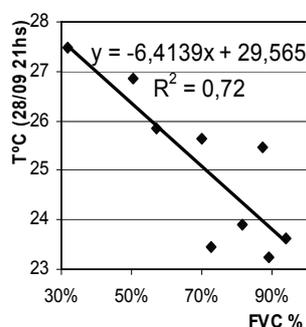
(b) Situação 22/01



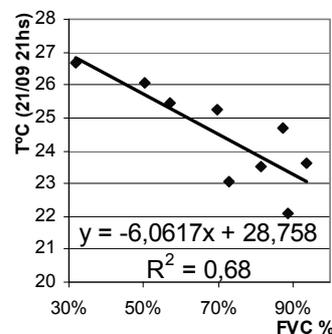
(c) Situação 28/06



(d) Situação 02/07



(e) Situação 28/09



(f) Situação 21/09

Fonte: Gomes (2008)

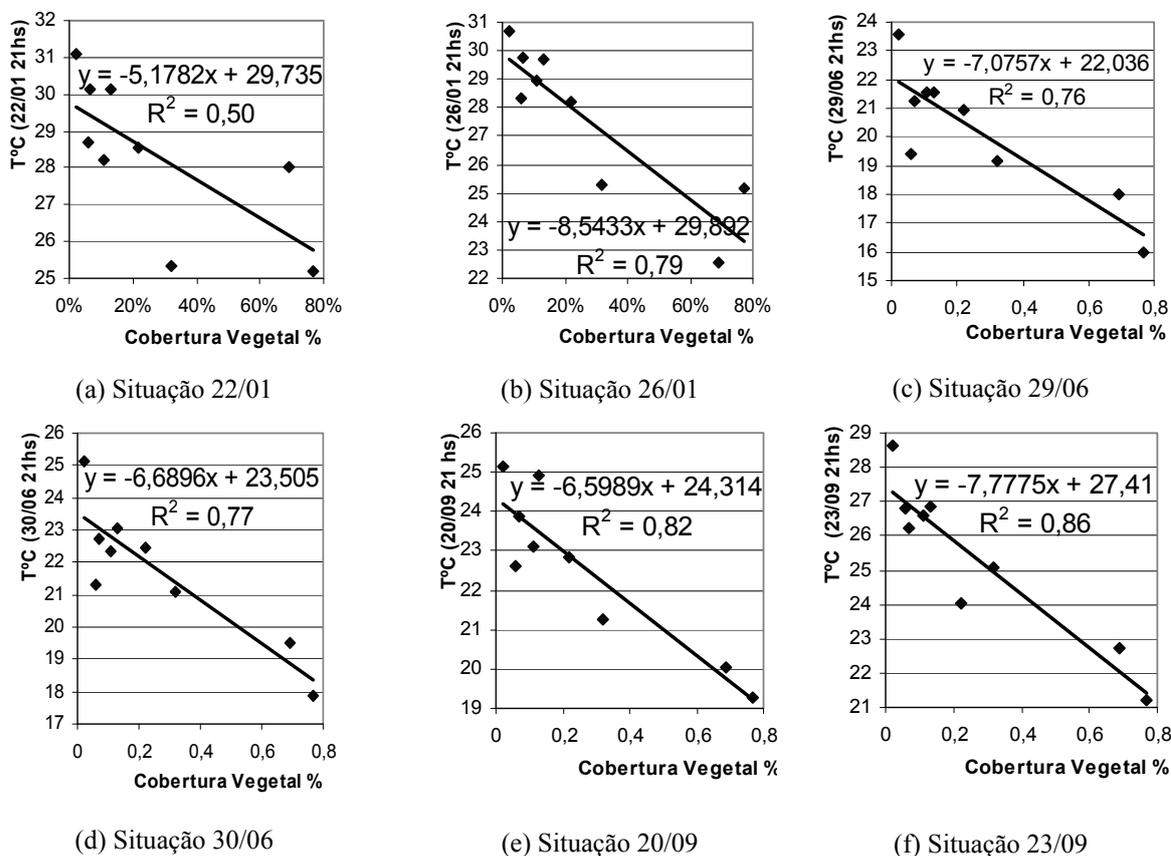
Figura 8 - FVC x temperatura às 21h em diferentes datas

Considerando a média da temperatura às 21 horas para os dias selecionados, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados foram os seguintes: 73% para janeiro, 44% para junho e julho, e 55% para setembro.

Considerando apenas os pontos centrais (Catedral, Matriz, Av. DER e Senac), as correlações com a temperatura média às 21 horas foram bem mais significativas: 98% para janeiro, 99% para julho e 94% setembro. Os valores demonstram que o FVC está relacionado com o aquecimento noturno, pois, como explicou Oke (1981), nas áreas com maior obstrução do céu, as superfícies apresentam maior dificuldade para dissipar o calor, resfriando-se mais lentamente, o que justifica os valores encontrados.

### Comportamento das áreas verdes e impermeabilizadas

A correlação linear entre as áreas verdes (vegetação arbórea) e a temperatura foi negativa para os quatro horários analisados: 5, 9, 15 e 21 horas, ou seja, o aumento de cobertura vegetal é acompanhado por diminuição da temperatura. Porém, os valores foram mais significativos para o período noturno, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 50% e 79% para janeiro, 76% e 77% para e julho, e 82% e 86% para setembro, conforme a Figura 9. Essa influência estende-se até a madrugada (às 5 horas).



Fonte: Gomes (2008)

Figura 9 - Cobertura vegetal x temperatura às 21h em diferentes datas

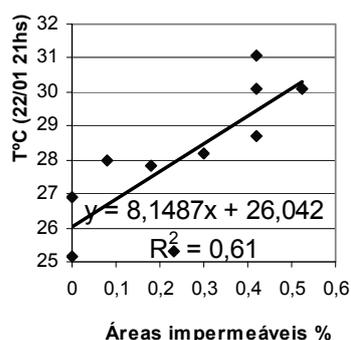
Considerando a média da temperatura às 21 horas para os dias escolhidos para a correlação, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados foram os seguintes: 52% para janeiro, 73% para junho e julho, e 85% para setembro.

Nos demais horários, embora as correlações tenham sido inferiores a 50%, e, portanto, difíceis de ser trabalhadas para fins conclusivos, revelaram tendências que devem ser comentadas: no período da manhã (às 9 horas) os coeficientes  $R^2$  foram maiores para setembro (época seca) do que para janeiro (época úmida); já para o período vespertino (às 15 horas), os coeficientes  $R^2$  foram maiores para janeiro e menores para julho e setembro.

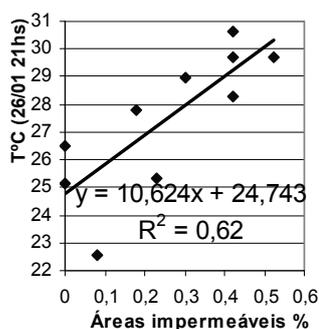
Analisando o comportamento das áreas verdes apenas nos pontos centrais (Catedral, Matriz, Av. DER e Senac), encontraram-se, para a média da temperatura às 15 horas, coeficientes de determinação de 81% para janeiro, 89% para

julho e 87% setembro. Nesses locais, a grande impermeabilização do solo e a escassez de cobertura vegetal fazem com que as trocas térmicas de calor latente sejam menores, reduzindo, assim, a perda de calor por evapotranspiração.

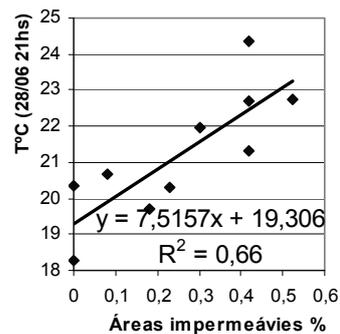
A correlação linear entre as áreas impermeáveis (consideradas aqui pelo somatório das superfícies calçadas, pavimentadas e asfaltadas) e a temperatura foi sempre positiva, ou seja, uma acompanha o aumento da outra. Não foi possível estabelecer correlações coerentes para essa variável no período diurno; já no período noturno (às 21 horas), conforme a Figura 10, os valores de  $R^2$  foram mais significativos: 61% e 62% para janeiro, 60% e 63% para julho, e 74% e 75% para setembro, com tendência a manter-se até a madrugada.



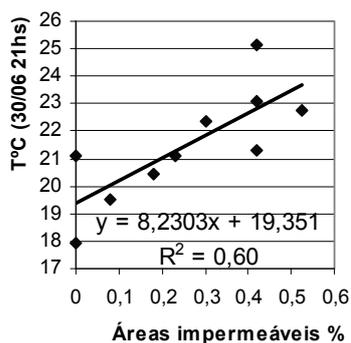
(a) Situação 22/01



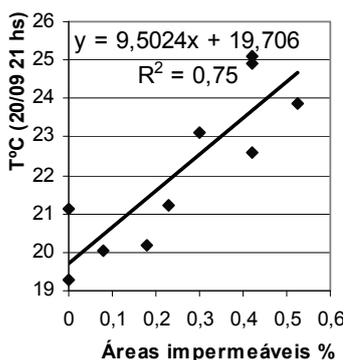
(b) Situação 26/01



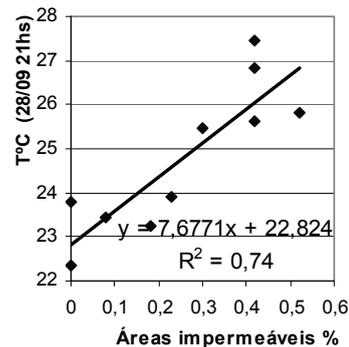
(c) Situação 29/06



(d) Situação 30/06



(e) Situação 20/09



(f) Situação 23/09

Fonte: Gomes (2008)

Figura 10 - Áreas impermeáveis x temperatura às 21h em diferentes datas

Considerando a média da temperatura às 21 horas para os dias selecionados, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados foram os seguintes: 58% para janeiro, 59% para junho e julho, e 73% para setembro.

Os resultados das correlações envolvendo a umidade relativa foram sempre positivos para a cobertura vegetal e negativos para as áreas impermeáveis. A correlação entre a cobertura vegetal e a umidade média máxima (para os dias selecionados em cada período) obteve coeficientes de determinação de 52% para janeiro, 81% julho e 73% para setembro. Esses valores demonstram o efeito da vegetação na melhoria da umidade e mostram sua contribuição nas épocas em que a umidade relativa do ar é baixa. Para as áreas impermeáveis e a umidade média máxima, os fatores de determinação encontrados foram de 56% para janeiro, 81% e julho e 83% para setembro.

Assim, relacionando os dados encontrados, percebe-se que esses são mais facilmente compreendidos pela abordagem da ilha de calor como fenômeno noturno. Os valores de  $R^2$  para o período diurno não foram muito significativos, o que pressupõe que as temperaturas diurnas, especialmente no horário de pico, são dificilmente explicadas por uma variável urbanística isolada.

## Conclusões

Os resultados encontrados a partir da correlação entre variáveis climáticas e urbanísticas mostraram-se em concordância com a abordagem teórica da ilha de calor. Através dos resultados percebeu-se que as variáveis urbanísticas (explicativas) têm pesos importantes para a compreensão do fenômeno, o que leva a concluir que o comportamento climático nos locais estudados não pode ser atribuído a uma variável isoladamente, sendo mais adequada a associação dessas variáveis. Assim, é possível notar que há uma interdependência entre as variáveis explicativas e que, portanto, as relações entre essas não são lineares. O próprio clima urbano é um sistema aberto, cujos processos podem compensar uma tendência de aumento térmico, como, por exemplo, através da alteração dos ventos, da alteração do estoque de calor e do aumento do sombreamento durante o dia.

Essas conclusões também foram destacadas no trabalho de Oke *et al.* (1999) para a Cidade do México, no qual concluíram que as variáveis do balanço energético se relacionavam de forma muito mais complexa. Nesse estudo, não foi

possível estabelecer uma correlação linear entre as variáveis.

Em termos gerais, concluiu-se nesta pesquisa que:

(a) há a formação da ilha de calor na cidade nos três períodos medidos. Em geral, as diferenças de temperatura centro/periferia tendem a se estabelecer mais acentuadamente no período da tarde e prolongam-se até a noite, quando o fenômeno tem uma magnitude maior;

(b) as variáveis urbanísticas densidade construída e fator de visão de céu apresentaram uma significativa influência no aquecimento noturno, o que está de acordo com a abordagem teórica da ilha de calor. Contudo, considerando os resultados obtidos para os pontos da área central, percebeu-se que a variável FVC parece ter maior influência no aquecimento noturno do que a densidade construída, o que demonstra a importância da geometria da malha urbana (ou seja, dos arranjos construtivos) na dissipação do calor;

(c) a vegetação apresenta maior correlação com os dados higrótérmicos no período noturno. Percebeu-se que no período da tarde (às 15 horas) as correlações foram melhores em janeiro do que em julho e setembro. Esse fato pode estar associado à própria retração da vegetação na época seca. Em relação à umidade, notou-se que as melhores correlações foram obtidas para julho e setembro (situações mais secas), o que demonstra que a presença de cobertura vegetal pode contribuir para a melhoria da umidade nessa época, em que o ar é mais seco;

(d) em relação às temperaturas noturnas, percebeu-se melhor correlação também com a época seca. Considerando apenas as correlações obtidas para os pontos centrais, que são bastante artificializados, percebeu-se que a presença da cobertura vegetal possibilita a amenização térmica em todas as condições medidas, principalmente em julho e setembro. Contudo, os dados climáticos dos pontos Matriz e Senac (loais arborizados, mas pertencentes a entornos adensados), comparativamente aos demais pontos centrais, mostraram que o efeito da vegetação pode ser muito localizado; e

(e) em relação às superfícies impermeáveis, notou-se que as correlações obtidas com a umidade relativa são mais significativas nos períodos secos de julho e setembro, o que demonstra que a impermeabilização do solo contribui para a diminuição da umidade.

Apesar dos limites do método empírico, foi possível apontar algumas possibilidades de

utilização dos dados gerados no trabalho ao planejamento urbano do município. Contudo, salienta-se que, para a definição de critérios mais específicos, tendo em vista a legislação urbanística, seria necessário avançar nos estudos utilizando a base de dados climáticos e urbanísticos para gerar simulações físicas e numéricas.

Com isso, as conclusões possíveis de ser tiradas para a apropriação no planejamento local são:

(a) em relação à geometria urbana, considerando a atual fase da dinâmica urbana do município, bastante orientada para o crescimento vertical, a inclusão de questões técnicas na definição dos índices urbanísticos mostra-se necessária, pois se percebeu que, ao longo dos anos, a legislação urbanística manteve uma perspectiva apenas de regulação do mercado imobiliário. Uma boa medida nesse sentido seria o desenvolvimento de estudos mais detalhados para estabelecer afastamentos baseados na altura das edificações tendo como parâmetro de referência o “envelope solar”;

(b) em relação às áreas verdes, recomenda-se que seja elaborado um plano municipal de áreas verdes que leve em consideração as necessidades de cada local. Para a área central, por exemplo, o aumento da arborização de rua contribuiria para amenizar a temperatura, melhorar a umidade e proporcionar sombra com baixa transmissividade no nível dos pedestres. Além disso, o incremento da vegetação e a criação de massas d’água nas praças centrais ajudariam na renovação do ar fresco e na criação de espaços de permanência mais agradáveis, já que há grande circulação de pessoas nesses locais;

(c) outras sugestões seriam a melhoria da arborização das avenidas sanitárias,<sup>15</sup> tendo em vista a ilha de calor identificada nesses pontos, e a criação de uma área com vegetação (cinturão verde) nas proximidades do Distrito Industrial, já que se percebeu que sua localização na direção predominante da entrada dos ventos de verão torna-se impertinente;

(d) em relação às massas d’água, percebeu-se que a Lagoa Interlagos apresentou um efeito maior na umidificação do ar na época seca, o que

<sup>15</sup> Contudo, pondera-se que tal medida é apenas paliativa, já que os problemas decorrentes da retirada da mata ciliar e da impermeabilização do solo permanecem. Mesmo assim, é preciso colocar que há atualmente uma mudança de mentalidade em relação às matas ciliares do município, já que certos trechos onde elas ainda se mantêm preservadas estão sendo usados para a criação de parques urbanos, como os parques Guimarães Rosa e Bicano. Vale ainda ressaltar que a preservação das margens dos cursos d’água constitui-se em uma obrigatoriedade pelo Código Florestal de 1965.

reforça sua importância para a amenização higrótérmica. Assim, essa medida deve ser estendida a outros pontos da cidade, já que a Lagoa foi criada justamente com esse intuito; e

(e) em relação à impermeabilização do solo, seria importante estimular, através da legislação, o uso das áreas permeáveis (obrigatórias) para a criação de áreas verdes, com o duplo intuito de melhorar a drenagem pluvial e possibilitar o refrescamento na envoltória da edificação. Nesse sentido, julga-se necessário manter uma taxa de permeabilidade mínima ao nível do lote, recomendando-se que as taxas de ocupação de 100% e 70% permitidas atualmente pela legislação de uso e ocupação do solo da cidade possam ser revistas.

## Referências

ASSIS, E. S. **Impactos da Forma Urbana na Mudança Climática**: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSIS, E. S. **Mecanismos de Desenho Urbano Apropriados à Atenuação da Ilha de Calor Urbana**: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. 1990. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

ASSIS, E. S. *et al.* Aplicação de Dados do Clima Urbano no Desenvolvimento de Planos Diretores de Cidades Mineiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Antac, 2007. 1 CD-ROM.

BACH, W. Urban Climate: air Pollution and Planning. In: DETWYLER, T. R.; MARRCUS, M.G. (ed.). **Urbanization and Environment**. Belmont: Duxbury, 1970.

BARBUGLI, R. A. **Influência do Ambiente Construída na Distribuição das Temperaturas do Ar em Araraquara/SP**. 2004. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Diretor Participativo**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados, 2001.

- CAMPOS FILHO, C. M. **Cidades Brasileiras:** seu controle ou caos, o que os cidadãos brasileiros devem fazer para a humanização das cidades. São Paulo: Nobel, 1989. 143 p.
- DUARTE, D. Estado da Arte em Clima urbano e Planejamento. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA E DESENHO URBANO, NUTAU' 2002. **Anais...** São Paulo: Nutau/USP, 2002. p. 1003-1111.
- DUARTE, D. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas na Região de Clima Tropical Continental.** 2000. 296 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- GOMES, P. S. **Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos:** o caso de Montes Claros, MG. 2008. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático.** Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 241 p.
- HONJO, T.; TAKAKURA, T. Simulation of Thermal effects of Urban Green Areas on Their Surrounding Areas. **Energy and Buildings**, Netherlands, v. 15, n. 3/4, p. 443-446, 1990.
- IBGE. **Cidades.** 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 14 jul. 2006.
- KATZSCHNER, L. Urban Climate Studies as Tools for Urban Planning and Architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Antac, 1997. 1 CD-ROM.
- LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate.** New York: Academic Press, 1981. 275 p.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles:** o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.
- LOWRY, W. P. **Atmospheric Ecology for Designers and Planners.** McMinnville: Peavine, 1988. 435 p.
- MARICATO, E. **Brasil:** cidades: alternativas para a crise urbana. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2002. 204 p.
- MIZUNO, M. *et al.* Effects of Land Use on Urban Horizontal Atmospheric Temperature Distributions. **Energy and Buildings**, Netherlands, v. 15, n. 1/2, p. 165-176, 1990.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: comparisons of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237-254, jul./set. 1981.
- OKE, T. R. *et al.* The Energy balance of Central Mexico City During the Dry Season. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24, p. 3919-3930, out. 1999.
- OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade Adequada ao Clima:** a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília: Ed. da UnB, 1988. 134 p. (Textos Universitários; v. 1).
- PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, A. T. C. Envelope Solar: um exercício teórico ou uma proposição viável. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. **Anais...** São Paulo: Antac, 1995. 1 CD-ROM. p. 499-504.
- ROLNINK, R. Estatuto da Cidade: instrumento para as cidades que sonham crescer com justiça e beleza. In: SAULE JÚNIOR, N.; ROLNIK, R. **Estatuto da Cidade:** novos horizontes para a reforma urbana. São Paulo: Pólis, 2001. (Cadernos Pólis; 4).
- ROMERO, M. A. B. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. 2. ed. Brasília: Ed. da UnB, 2000. 128 p.
- SANTOS, I. G. S.; GAZZOLA, H. L.; ASSIS, E. S. Influência da Geometria Urbana e da Inércia Térmica na Alteração do Clima Urbano: uma abordagem preditiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Antac, 2003. 1 CD-ROM.
- SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. Expandindo um SIG-3D para Aplicação em Conforto Ambiental em Nível Urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Antac, 2003. 1 CD-ROM.