

Clima Urbano e Segregação Socio-espacial em Cidades Tropicais de Porte Médio.

João Lima Sant'Anna Neto

Rua Bela Vista, 180 - Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

Professor Titular do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

joalima@fct.unesp.br

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Rua T. Nicolau Maffei 1743 - Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

Professora Doutora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

mccta@fct.unesp.br

Introdução

Na passagem do século XIX para o século XX, o Brasil possuía pouco mais de 17 milhões de habitantes, em sua maior parte, vivendo numa estreita faixa costeira, apesar de seus 8,5 milhões de Km² de extensão.

O oeste do Estado de São Paulo, neste período, ainda contava com expressiva população indígena e, a partir da década de 1910, aventureiros iniciavam a conquista do “sertão” para a incorporação de novas terras e a expansão de atividades agropecuárias.

A cidade de Presidente Prudente, principal núcleo urbano desta região que ocupa uma área aproximada de 20.000 Km², foi fundada em 1917, primeiramente dedicada às atividades pastoris e posteriormente, com a chegada da ferrovia, inicia-se a agricultura comercial.

Fatores naturais favoreceram a expansão da cultura cafeeira, que entre as décadas de 1940 a 1970 foi a responsável pelo rápido crescimento demográfico regional, bem como pela estruturação do território (ABREU, 1972)

O desmatamento acelerado das matas e florestas pelas atividades agropastoris e o assoreamento da rede hidrográfica marcaram profundamente a degradação das paisagens naturais e mudanças no ciclo hidrológico. Há indícios de que este processo de ocupação tenha provocado aumento da temperatura e concentração pluvial, modificando o regime climático.

Nas áreas urbanas, o aumento da temperatura, segundo Amorim (2000) foi ainda maior por causa da concentração de edificações e da impermeabilidade do solo. Além destes fatores, há que se considerar os materiais construtivos utilizados, principalmente pela população de baixa renda, que geram maior inércia térmica e desconforto humano.

Hipótese, Objetivos e Procedimentos Metodológicos.

As áreas urbanas se constituem como pólos de atração populacional. Como a segregação sócio-espacial é uma das características do capitalismo, em geral e, brasileiro, em particular, os bairros populares têm sido estabelecidos nas periferias urbanas, em grande parte utilizando materiais construtivos inadequados tanto do ponto de vista da qualidade de vida, quanto da eficiência térmica.

Esta hipótese direciona o trabalho cujo objetivo é o de identificar como se processa a produção do clima urbano em cidades de porte médio do oeste paulista (Figura 1), partindo de uma análise das formas de estruturação do espaço, das características do uso do solo e dos materiais construtivos na geração de ilhas de calor e suas implicações no conforto ambiental.



Figura 1. Localização do Estado de São Paulo e região de Pres. Prudente

O referencial teórico se baseia na concepção dos canais de percepção do clima urbano proposto por Monteiro (1976) e Monteiro e Mendonça (2004), enfatizando o canal termodinâmico principal responsável pelo fator de conforto térmico. Para a verificação das temperaturas intra-urbanas do ar realizaram-se medidas em transectos móveis nos percursos norte-sul (42 registros) e leste-oeste (78 registros) em cinco dias típicos do verão e outros cinco do inverno de 2002, sob condições atmosféricas estáveis (Figura 2). Foram utilizados termômetros digitais, com os sensores presos em haste de madeira com 1,5m de comprimento, acoplados na lateral de dois veículos que saíram da periferia (rural), passando pelo centro, chegando ao extremo oposto da cidade. As medições foram efetuadas entre 20:00h e 20:45h, por se tratar do horário mais adequado para a medição de ilhas de calor no mundo tropical, uma vez que as temperaturas do ar não experimentam mudanças rápidas e com o por do sol, os materiais construtivos liberam o calor conservado.

Os sistemas atmosféricos regionais que atuaram nos dias de levantamento de campo foram analisados por meio de cartas sinóticas de superfície disponibilizadas no *site* da Marinha do Brasil¹ e das imagens de satélite Goes².

Para a análise dos resultados foram elaboradas cartas de isotermas, através do *Software Surfer for Windows*³, permitindo assim a visualização da variação da temperatura nos diferentes pontos da cidade. A carta de temperatura urbana foi produzida a partir da imagem do Landsat

¹ www.mar.mil.br

² <http://satelite.cptec.inpe.br/imagens/>

³ Surfer é marca registrada Golden Software, Inc.

ETM7, com resolução espacial de 60 metros, no canal termal (banda 6), tratada por meio do software *Idrisi*.

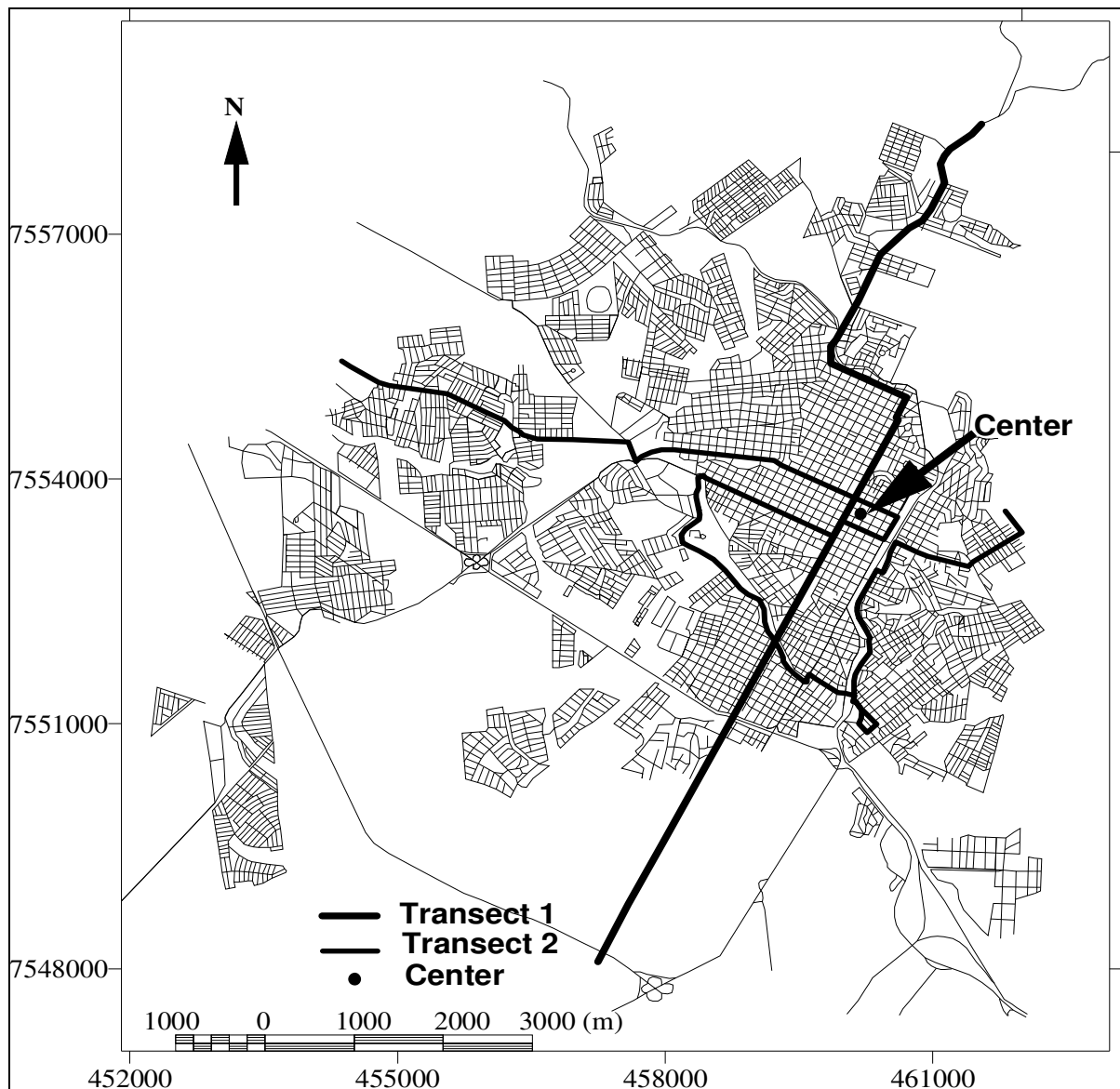


Figura 2. Presidente Prudente - localização dos transectos móveis
Fonte: Planta Urbana - Prefeitura de Presidente Prudente – 1995

Povoamento e Expansão Territorial Urbana

O primeiro censo demográfico da região registrava em 1920, apenas 846 pessoas na área urbana de Presidente Prudente e pouco mais de 4.000 habitantes na zona rural. Com a chegada da Ferrovia (Companhia Sorocabana de Estradas de Ferro), chegaram migrantes de várias regiões do país, além de um grande contingente de italianos e japoneses que se dedicaram a agricultura cafeeira, principal produto de exportação do Brasil até a primeira metade do século XX.

A população local aumentou rapidamente até a década de 1970, diminuindo o ritmo a partir de então, devido a erradicação do café e a substituição das principais atividades agrícolas, pela criação de gado bovino. Esta mudança na estrutura agrária ocasionou o êxodo rural provocando um rápido processo de urbanização (Figura 3).

Como a expansão territorial não foi acompanhada da respectiva estrutura de serviços e de equipamentos urbanos, uma parcela significativa da população vivia e ainda vive sob condições inadequadas do ponto de vista da qualidade de vida e de indicadores de sustentabilidade.

A área urbana de Presidente Prudente apresenta grande diversidade de ocupação do solo, pois os bairros mais antigos (construídos entre as décadas de 1950 e 1970) são densamente construídos e com significativa cobertura vegetal arbórea nas ruas e fundos de quintais.

Por outro lado, as áreas residenciais que surgiram nas décadas de 1980/1990, que são a grande maioria, apresentam-se com edificações esparsas, com gramado e vegetação arbórea. Neste mesmo período, para atender a demanda por habitação das classes populares, foram construídos os conjuntos habitacionais e loteamentos destinados a população de baixa renda com terrenos menores e materiais construtivos menos adequados ao clima tropical e, ao conforto térmico e ambiental (paredes finas e coberturas de fibrocimento), que armazenam muito calor e produzem inércia térmica. O uso do solo urbano é caracterizado pelo predomínio de domicílios residenciais (87%), enquanto os usos industriais, comerciais e de serviços, respondem por apenas 13% do total da área construída.

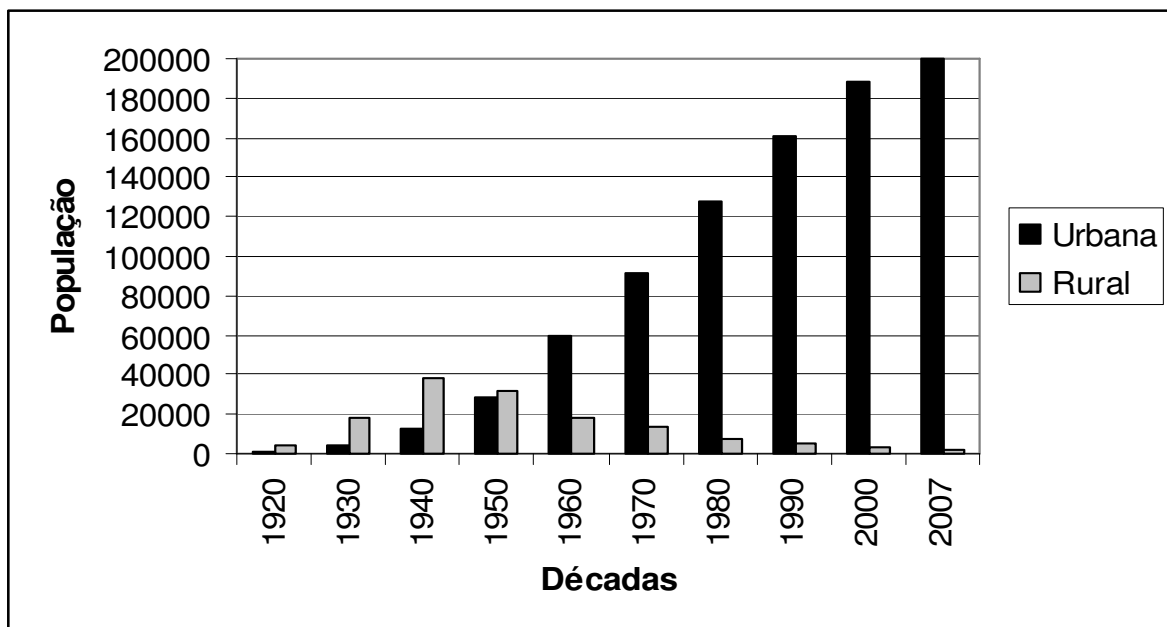


Figura 3. Crescimento populacional de Presidente Prudente (1920/2007)

Fonte: IBGE, 2008.

A expansão territorial urbana tem privilegiado o setor ocidental da cidade devido tanto às questões políticas e econômicas como pelas características do relevo. Nesta área os divisores de água apresentam perfis convexos mais alongados, formando interflúvios mais suaves e separados entre si por vales menos estreitos, representando hoje cerca de 80% do total da malha urbana. No quadrante Leste o relevo possui declives acentuados que dificultam a expansão da malha urbana, onde habita população de baixa renda.

Os materiais construtivos e o conforto térmico

A expansão territorial urbana caracteriza-se pelo aumento das áreas edificadas e pavimentadas que geram inércia térmica e a produção de calor. As ilhas de calor não causam apenas desconforto térmico em ambientes de clima tropical, mas são responsáveis também, pelo

aumento da demanda por energia e por ambientes urbanos insalubres que afetam a saúde humana.

As coberturas (telhados) são as principais responsáveis pelo calor produzido tanto no interior quanto no entorno das edificações. Este calor é determinado pelas variáveis de albedo (reflectância) e emissividade dos materiais. O albedo representa a porção da radiação solar incidente, que é refletida pelo material, enquanto a emissividade determina o desempenho térmico caracterizado pela temperatura superficial.

Assim, superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecerem mais frias quando expostas à radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço, transmitindo menos calor para seu entorno. Ao contrário, quanto menor for o albedo e a emissividade maior será a absorção de calor e sua permanência no ambiente de entorno.

Diversos tipos de materiais construtivos têm sido utilizados nas edificações em áreas urbanas. No oeste paulista prevalece o uso de três tipos de materiais de cobertura: as telhas cerâmicas, as de fibrocimento e as metálicas (alumínio, zinco e aço galvanizado). As coberturas cerâmicas são mais utilizadas em residências de classe média e alta, as de fibrocimento prevalecem nos bairros e conjuntos habitacionais de população de baixa renda e as metálicas nas edificações comerciais e industriais.

Em função de suas propriedades físicas, os materiais de cobertura apresentam as seguintes respostas térmicas (FERREIRA; PRADO, 2003).

Tabela 1. Temperatura superficial dos materiais (ASTM E 1980-98)⁴

Material	Albedo (a)	Emissividade (e)	Temperatura Superficial (°C)	Diferença de Temperatura entre o ar e o material
Cerâmica Vermelha	0,53	0,9	36,8	- 0,1
Cerâmica Branca	0,54	0,9	36,2	- 0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	+ 10,3
Alumínio s/pintura	0,57	0,05	69,4	+ 32,6
Alumínio cores claras	0,40-0,47	0,9	40,1 - 43,3	De + 3,2 a + 6,5
Alumínio cores escuras	0,26-0,38	0,9	45,0 - 51,4	De + 8,1 a + 14,5
Aço galvanizado sem pintura	0,57	0,25	57,9	+ 21,1

Características Climáticas Regionais

O clima tropical continental sub-úmido do centro oeste do Brasil, caracteriza-se por duas estações do ano bem definidas: um verão quente e chuvoso de outubro a março e um inverno ameno e seco de abril a setembro. Entretanto, diante da forte irregularidade climática da região, explicada por sua localização na latitude do trópico de capricórnio, área de conflito entre os sistemas tropicais e extra-tropicais, Presidente Prudente apresenta uma variabilidade sazonal acentuada (Figura 4).

De modo geral, os sistemas tropicais prevalecem na região a maior parte do ano, ora com o seu ramo atlântico, mais úmido, ora com trajetórias continentais, mais quentes e secas. No período de primavera e verão, as temperaturas diárias oscilam entre os 20°C e 32°C, com

⁴ ASTM E 1980-98: *Standart Prattice for Calculating Solar Reflectance Index*

máximas absolutas próximas aos 40°C. Nesta época do ano concentra-se cerca de 75% da precipitação anual de 1.300mm.

No outono/inverno as temperaturas decrescem ligeiramente, mas permanecem elevadas, à exceção dos episódios das invasões do anticiclone polar, quando as temperaturas mínimas oscilam entre 15°C e 20°C, com valores absolutos que podem chegar a 0°C.

A temperatura média anual (1969/2007) tem oscilado, entre 21°C e 24°C, de forma ascendente desde que a expansão da área urbana do município ultrapassou os limites da estação meteorológica, como demonstra a Figura 5 sobre a evolução das temperaturas no período de registo. Observa-se um aquecimento de 1,7°C em menos de 40 anos.

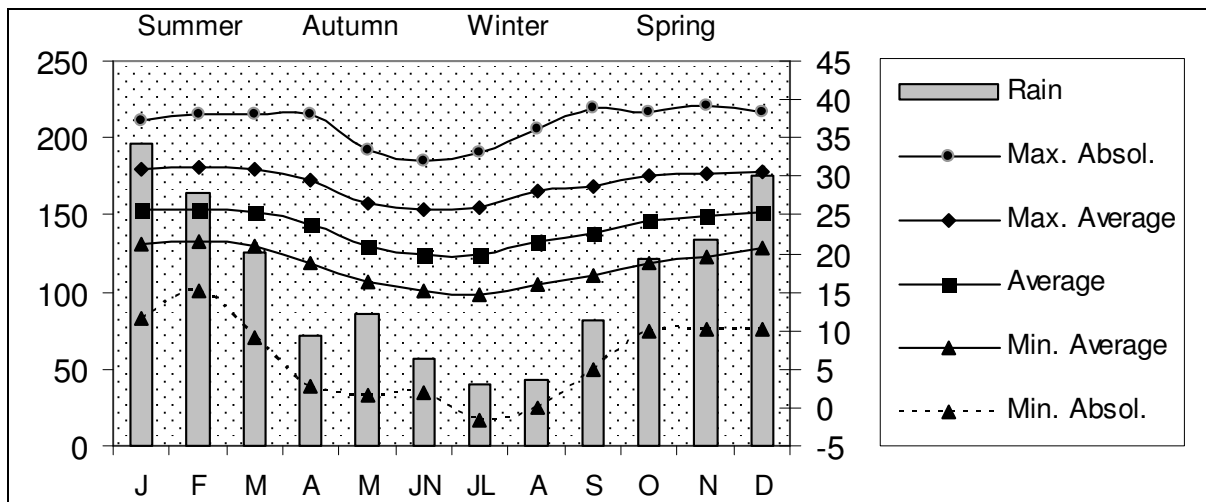


Figura 4. Climograma de Presidente Prudente (1969/2007)

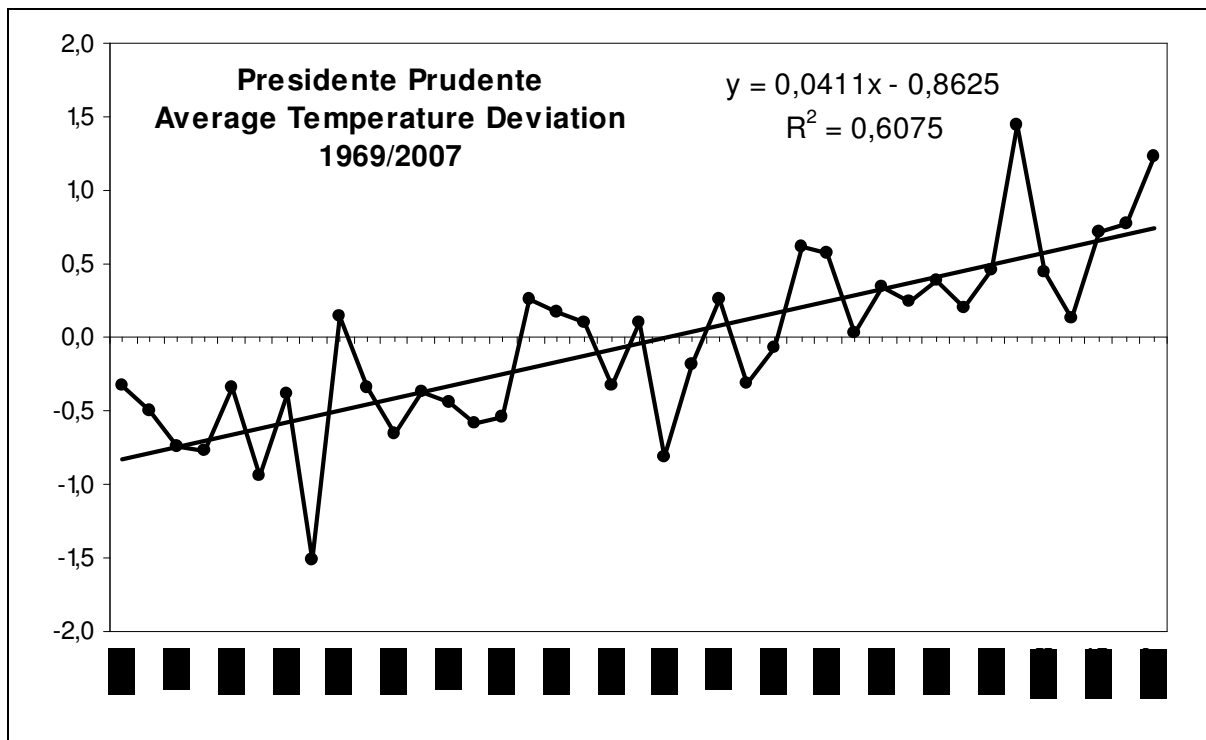


Figura 5. Evolução da temperatura média anual de Presidente Prudente.

A Estrutura Térmica Intra-Urbana

A temperatura da área urbana de Presidente Prudente foi analisada sob duas técnicas distintas. Primeiramente, foram realizados trabalhos de campo (transectos) em duas situações características da sazonalidade regional, em janeiro (representativo do verão) e julho (inverno) de 2002. Posteriormente foi produzida uma carta térmica utilizando-se da imagem do Landsat ETM 7⁵ (canal termal da banda 6), com resolução espacial de 60 metros, de 21 de março de 2001. As temperaturas foram convertidas para valores de superfície considerando-se valor fixo igual a 1 de emissividade.

A resposta térmica da estrutura urbana demonstrou que a urbanização e as características do uso do solo são responsáveis pela distribuição da temperatura do ar gerando ilhas de calor nos bairros densamente construídos e no centro. Este padrão de distribuição, entretanto, pode se modificar em função da direção e velocidade do vento que desloca estas ilhas de calor para outras áreas da cidade. Foram observadas ilhas de calor de forte magnitude, com diferenças entre o ponto mais quente e o ponto mais frio entre 3,6°C e 5,6°C em dias representativos do verão e de 4,9°C a 9,6°C no inverno. As diferenças foram menores nos dias com ventos um pouco mais fortes (3,0m/s a 4,0m/s). (Tabela 2).

Durante a noite a cidade gera ilhas de calor com o aumento da temperatura nos bairros densamente construídos e no centro, diminuindo em direção ao meio rural e bairros menos densamente construídos. Além da densidade de construções, os materiais utilizados também contribuem para o armazenamento do calor.

Tabela 2. Temperaturas máximas, mínimas e diferenças térmicas entre os pontos.

Temp.(°C)	January (summer)					July (winter)				
	15/01	16/01	17/01	18/01	23/01	14/07	16/07	17/07	23/07	25/07
Max.	27,5	26,2	26,3	25,9	27,8	17,9	22,3	20,1	22,3	26,7
Min.	21,9	22,6	21,1	21,9	24,2	11,9	14,8	14,7	17,4	17,1
Diference	5,6	3,6	5,2	4,0	3,6	6,0	7,5	5,4	4,9	9,6

Fonte: Trabalho de Campo – Janeiro e Julho de 2002

Na maioria dos estudos de ilha de calor realizado no período noturno, o centro da ilha é bem definido e freqüentemente está localizado no centro da cidade com maior densidade de construções ou nos bairros industriais.

Em Presidente Prudente, contudo, foi detectado pelo menos duas células separadas da ilha de calor, que podem ser diretamente atribuídas às estruturas urbanas.

Observou-se uma célula maior de ar mais quente localizada na zona central em direção a porção norte e sul da cidade, onde estão localizados os bairros mais antigos e densamente construídos. À medida que a densidade de construções diminui, verificou-se a queda na temperatura em direção ao meio rural.

A segunda célula localizou-se na porção oeste da cidade, onde se encontram dois conjuntos habitacionais populares densamente construídos. As temperaturas nesta célula, embora também elevadas em comparação a outros pontos da cidade, foram de 1° a 2°C mais baixas em relação ao centro. Assim, além da temperatura ser ligeiramente mais baixa do que no centro da cidade, seu tamanho foi bem menor em relação ao centro e seu entorno.

A diminuição na densidade de construção produz um efeito pronunciado no que se refere à quebra de continuidade da distribuição das temperaturas mais elevadas. Sob condições de calmaria e velocidade do vento de até 0,5m/s, entre as células da porção oeste e a da área central, foram observadas temperaturas mais baixas. (Figura 6).

⁵ A imagem de satélite utilizada foi adquirida no site Global Land Cover Facility <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

O intervalo das temperaturas mais baixas entre as duas principais células de temperaturas mais elevadas, foi quebrado no dia 17/07, devido à presença de ventos fracos de sudeste, entre 1m/s às 20:00 horas e 3 m/s às 21:00 horas. O movimento do ar foi suficiente para homogeneizar as temperaturas mais elevadas por toda a porção oeste da cidade, independentemente da densidade de construções (Figura 7).

O calor produzido na área mais densamente construída foi distribuído pelo vento predominante de Sudeste e apenas o meio rural e os bairros localizados ao leste do centro da cidade tiveram temperaturas mais baixas neste dia.

Os limites das áreas construídas em direção à zona rural, definiram claramente o limite da ilha de calor. Porém, as áreas intra-urbanas com menor densidade de construções, estiveram sujeitas a temperaturas mais elevadas, por ocasião de brisas provenientes do quadrante leste, onde se localizaram, habitualmente no período noturno, as temperaturas mais elevadas. Em noites sem nebulosidade, como as observadas neste estudo, no ambiente rural os fundos de vales foram favoráveis às temperaturas mais baixas, como se observou nas porções sul, oeste e leste da mancha urbana.

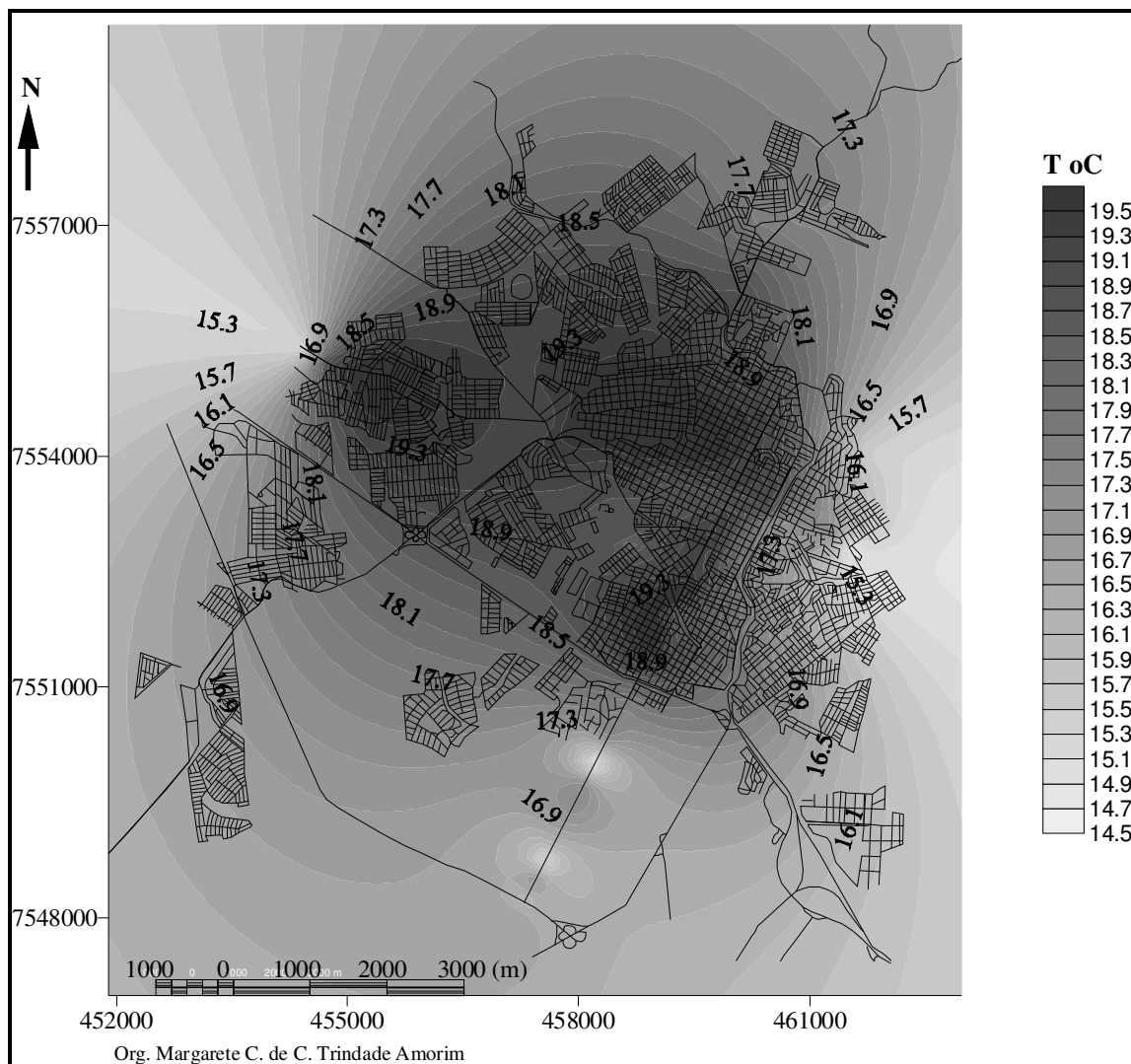


Figura 6. Presidente Prudente: temperatura do ar 14/07/2002, 20:00h

É importante observar que os córregos localizados no ambiente urbano, em sua maioria, foram canalizados. No período noturno, os pontos com altitudes mais baixas, não provocaram a diminuição da ilha de calor principal encontrada na cidade. Até mesmo o Parque do Povo (principal área verde e de lazer), onde o Córrego do Veado foi canalizado e a área foi coberta por vegetação rasteira e arbórea, o intenso fluxo de veículos e o uso do solo nas avenidas que margeiam o fundo de vale (comercial e residencial), fizeram com que as temperaturas permanecessem elevadas.

Em pesquisa realizada anteriormente, Amorim (2000), mostrou que no verão as magnitudes mais fortes das ilhas de calor (entre 4°C e 6°C) durante o dia foram observadas principalmente entre 10h00 e 16h00, coincidindo com os horários de maior insolação e maior aquecimento diurno e intensificando assim o desconforto térmico presente no verão das cidades tropicais. Nos outros horários (7h00, 8h00, 9h00, 17h00 e 18h00), foram freqüentes ilhas de calor de média magnitude (entre 2°C e 4°C), mas, também foram registradas, em alguns dias, ilhas de calor de forte magnitude, embora com menor freqüência.

No verão os principais responsáveis pelas maiores diferenças entre os pontos mais quentes foram as áreas densamente construídas e com pequena quantidade de vegetação. A presença da arborização nas ruas e fundos de quintais exercem papel fundamental neste período mais quente, pois as áreas densamente arborizadas e, em alguns casos, com alta densidade de construções tiveram as temperaturas mais baixas, mas as áreas densamente construídas e com pouca vegetação ou com poucas construções, e também sem vegetação, tiveram as temperaturas mais altas.

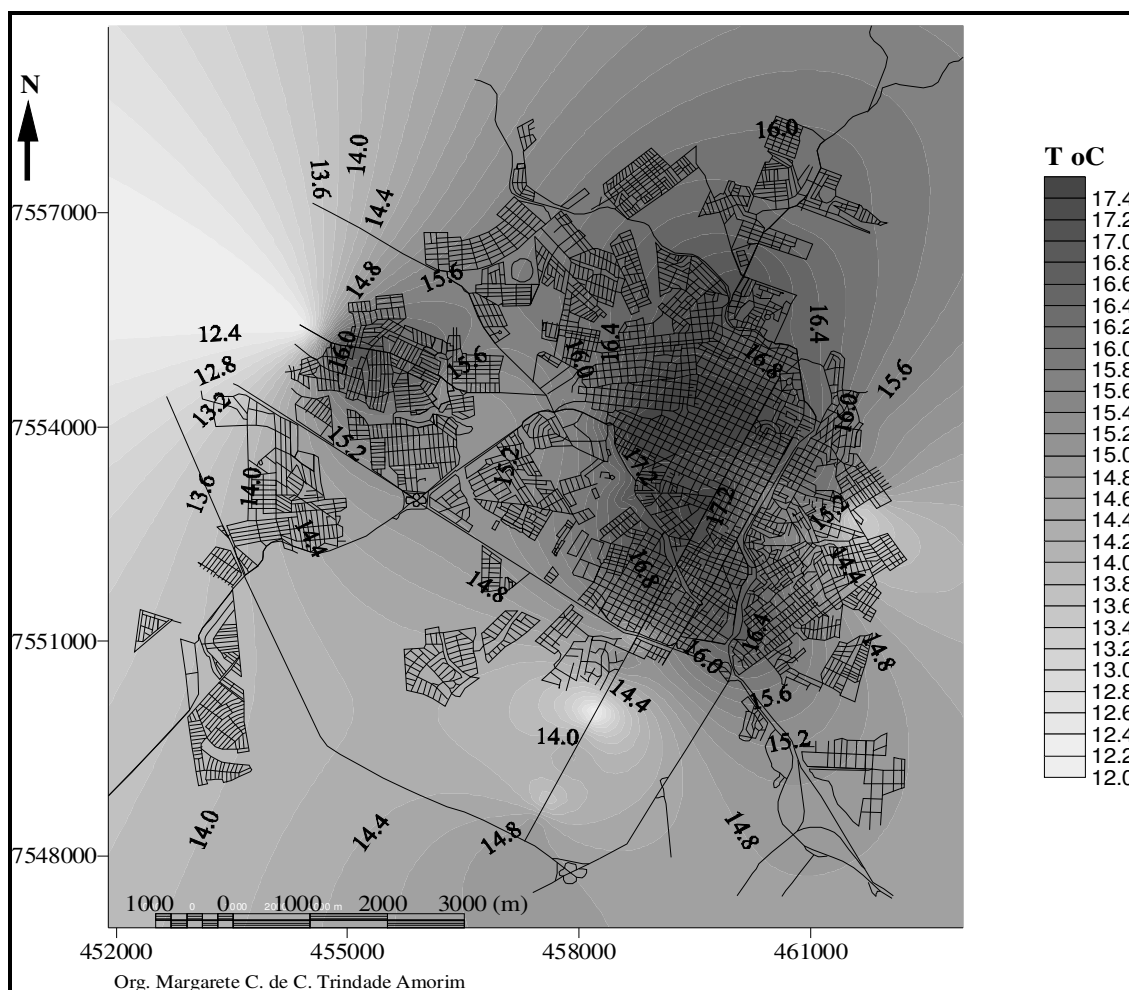


Figura 7. Presidente Prudente: temperatura do ar 17/07/2002, 20:00h

A localização das temperaturas mais elevadas relaciona-se diretamente à densidade de construções e o calor noturno é atribuído à liberação do calor estocado durante o dia pelas edificações, conforme se observa na imagem tratada do canal termal do Landsat 7 (Figura 8).

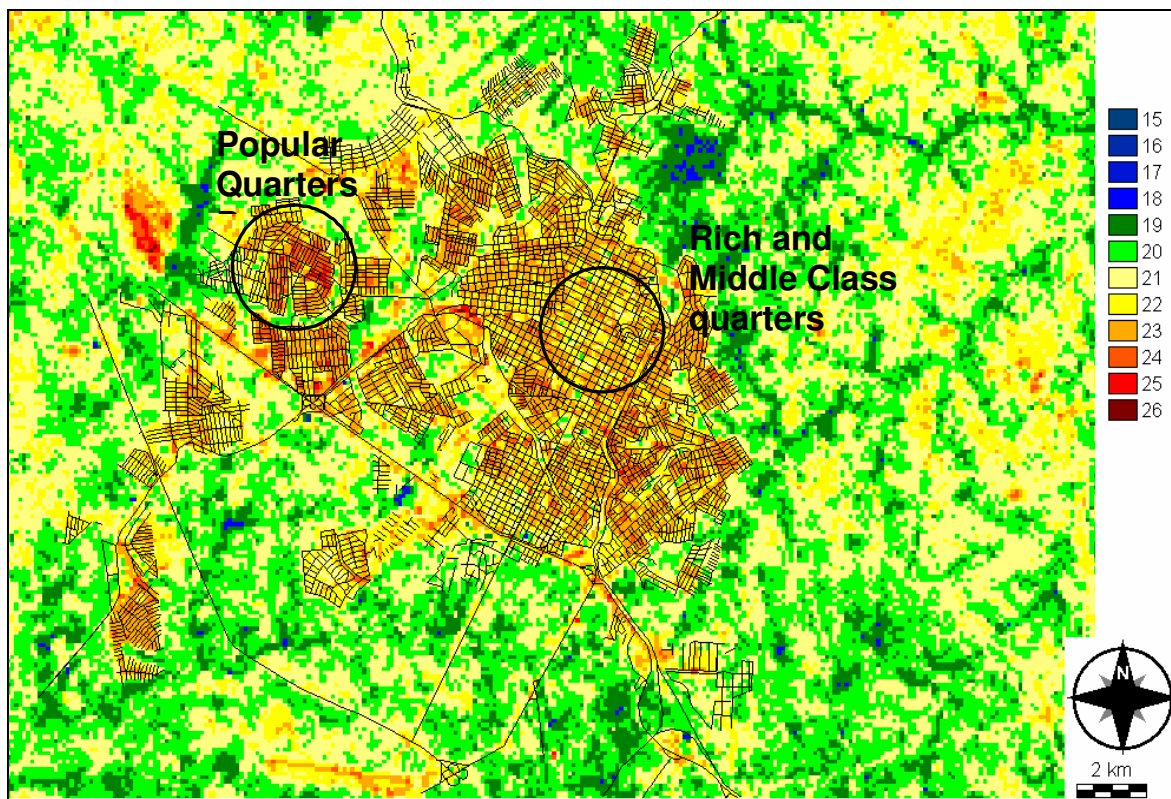


Figura 8. Pres. Prudente: Temperatura da superfície: imagem tratada do Landsat 7 – Canal Termal

Assim, pode-se afirmar que a presença da vegetação tem papel fundamental para amenizar as altas temperaturas durante o dia, fato também observado na imagem tratada do Satélite Landsat 7 (Figura 8), mas no período noturno, conforme se verificou nesta pesquisa, a presença da vegetação nas ruas e fundos de quintal não contribui para amenizar as altas temperaturas em áreas densamente construídas. As temperaturas mais baixas foram observadas nos bairros periféricos pouco ocupados, nas áreas rurais e fundamentalmente nos fundos de vale do meio rural próximo à cidade.

Os dois transectos se iniciavam e terminavam no ambiente rural onde se configuraram nitidamente as mais baixas temperaturas nesses pontos, nos fundos de vale pouco edificadas e nos bairros próximos à zona rural, que tem as altas temperaturas amenizadas pelas brisas que se formam devido ao aquecimento.

Clima Urbano e Segregação Socio-espacial

A estrutura térmica da área urbana interpretada na imagem tratada do Landsat 7 (Figura 8), traduz a ocupação atual, a densidade de construções e a arborização. Nos bairros densamente construídos, principalmente nos conjuntos habitacionais populares de baixa renda com coberturas de fibrocimento e com pequena quantidade de vegetação arbórea nas ruas e fundos de quintais, as temperaturas detectadas na superfície foram as mais elevadas, atingindo 25°C (Figuras 9 e 10). Nos bairros centrais as residências com terrenos maiores, em que as edificações não ocupam toda a área, com coberturas de telha cerâmica e, com a presença de vegetação arbórea esparsa, as temperaturas foram menores, em torno de 21° C (Figuras 11 e

12). Nos parques e demais áreas verdes urbanas, as temperaturas variam entre 19 e 21°C, em função do tipo de vegetação mais rasteira ou arbórea.



Figura 9. Bairro popular com cobertura de fibrocimento. Imagem do Google (2007)



Figura 10. Casa popular com cobertura de fibrocimento, janelas pequenas e muros altos.

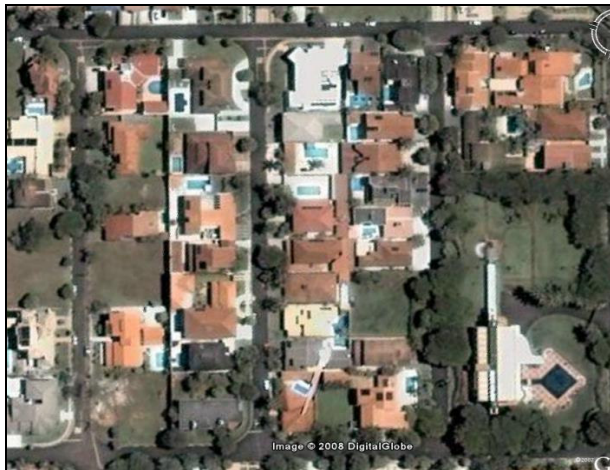


Figura 11. Bairro de classe média



Figura 12. Casa de classe média com telha cerâmica, grades vazadas e janelas amplas.

Em cidades de médio porte de climas tropicais continentais a produção do clima urbano é resultado da interação entre a radiação recebida e a refletida basicamente pelos tipos de materiais construtivos de edificações de uso residencial que armazenam o calor durante o dia e são liberados nas primeiras horas após o por do sol. Como as cidades tropicais são naturalmente quentes, estas ilhas de calor são responsáveis pela intensificação do desconforto térmico e, portanto, podem ser consideradas como um indicador de qualidade ambiental urbana. A população de baixa renda, impossibilitada de adquirir materiais construtivos mais adequados e lotes urbanos de maior tamanho, é a mais prejudicada pelos efeitos adversos do calor armazenado nas edificações. Na maior parte dos dias de primavera e verão, as temperaturas diurnas do ar oscilam entre 30°C e 35°C que somadas ao calor produzido e armazenado pelas coberturas de fibrocimento, podem superar os 45°C, expondo a população, notadamente os idosos e crianças (que permanecem mais tempo dentro das residências), a situações de insalubridade, que se manifestam na forma de enfermidades como doenças respiratórias e do aparelho circulatório.

Desta forma, as áreas urbanas de maior segregação socioespacial, são as mesmas em que é maior a morbidade por doenças respiratórias, que são muito dependentes das influências climáticas (Figura 13). São, também, as áreas em que se produz a maior intensidade das ilhas de calor, ao contrário das áreas metropolitanas, em que o dinamismo da circulação viária e as fontes de emissão de partículas acabam sendo majoritários.

Assim, o clima também se constitui em importante fator de qualidade de vida e indicador de justiça social.

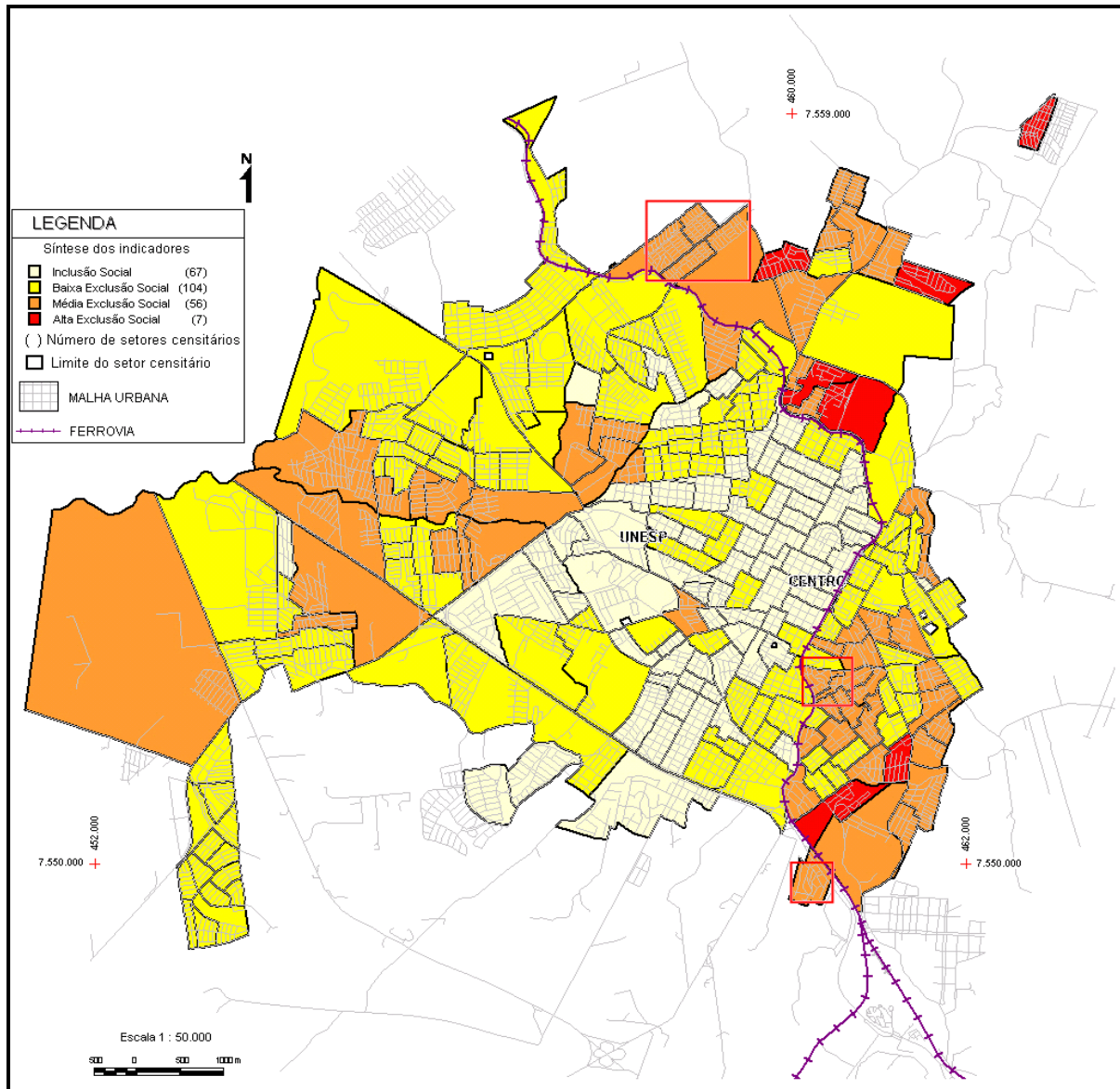


Figura 13. Mapa da exclusão social de Presidente Prudente

Bibliografia

ABREU, D. S.

AMORIM, M.C. de C.T. *O clima urbano de Presidente Prudente /SP*. São Paulo, 2000. 374p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

AMORIM, M.C.de C.T.; SANT'ANNA NETO, J.L. Analyse de La structure thermique Du climat urbain de Presidente Prudente – Brésil, à partir d'image thermique Landsat7 et de mesures de surface. In: XXIeme Colloque da La Assiciación Internationale de Climatologie, Montpellier (França), 2008.

FERREIRA, F.L.; PRADO, R.T.A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2003.

GOMEZ, A. L., GARCIA, F. F. La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. *Estudios Geográficos*, 45, n.174, p.5-34, enero-marzo 1984.

JOHNSON, D. B. Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U. K. *Journal of climatology*. v. 5, p. 221-225, 1985.

MONTEIRO, C. A. de F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, 25).

MONTEIRO, C.A. de F; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2004

OKE, T. R., MAXWELL, G.B. Urban heat island dynamics en Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, v.9, p.191-200, 1975.

PITTON, S. E. C. *As cidades como indicadores de alterações térmicas*. São Paulo, 1997. 272p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SANT'ANNA NETO, J.L. (org) *Os climas das cidades brasileiras*. Presidente Prudente: UNESP, 2002.

SANT'ANNA NETO, J.L.; AMORIM, M.C. de C.T. Febrile Cities: the influence of construction materials in the production of heat island in low-income districts of urban areas with tropical climate in Brazil. In: *Proceedings of Climate Change and Urban Design*. Commission for European Urbanism, 2008, Oslo (Noruega).