

O USO DE IMAGEM TERMAL GERADA PELOS SATÉLITES DA SÉRIE LANDSAT E NOAA PARA ESTUDO DE ILHA DE CALOR: ESTUDO DE CASO DE SÃO PAULO

Mônica Kofler FREITAS¹

Magda Adelaide LOMBARDO²

Resumo

O presente trabalho apresenta uma revisão das potencialidades e limitações do uso de imagens de satélite da série LANDSAT e AVHRR-NOAA para estudos de ilhas de calor. Neste artigo são abordadas questões referentes ao uso das informações geradas por cada satélite. O uso das técnicas de sensoriamento remoto através das imagens do sensor termal permite caracterizar o campo térmico na área urbana da Cidade de São Paulo.

Palavras Chaves: Sensoriamento Remoto. Sensores Termais. Campo térmico.

Abstract

The use of thermal image for study of the heat island: of São Paulo

This paper is a review of the strengths and limitations of using LANDSAT and AVHRR-NOAA's satellites images for studying heat islands. To achieve this goal, images from both satellites are compared. The use of remote sensing and thermal images allowed the identification of thermal hot spots in the urban area of São Paulo.

Key words: Remote Sensing. Thermal Sensor. Thermal field.

¹ Pós-Doutoranda, Departamento de Planejamento Territorial - Instituto de Geociência e Ciência Exatas – UNESP; Rua 10, CEP 13500-230, Rio Claro – SP (mkofler@universia.com.br)

² Professora Ph.D, Departamento de Planejamento Territorial - Instituto de Geociência e Ciência Exatas – UNESP; Rua 10, CEP 13500-230, Rio Claro – SP (lombardo@rc.unesp.br)

INTRODUÇÃO

Nos Estados Unidos, os primeiros estudos sobre clima urbano utilizando imagens termais ocorreram no início da década de 70, com os satélites da série NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), esta série gera diariamente observações globais de padrões meteorológicos e condições ambientais na forma de dados quantitativos. A pesquisa de Matson et al (1978) foi uma das pioneiras realizadas nos Estados Unidos para detectar ilhas de calor no oeste e nordeste dos Estados Unidos utilizando o satélite NOAA-5. Segundo os autores, as temperaturas observadas em estações fixas de solo apresentaram boa correlação com as temperaturas captadas pelo satélite.

Desde então muitas pesquisas foram desenvolvidas observando as diferenças de temperatura da superfície obtidas de áreas urbanas e rural e padrões de uso do solo, com os dados observados em campo em diferentes escalas espaciais (BALING; BRAZEL, 1998; DOUSSET; GOUWERLON, 2003; VOOGT; OKE, 2003).

Uma importante pesquisa realizada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e o Centro de aplicações da saúde de tecnologias aeroespaciais (CHAART - Center for Health Applications of Aerospace Related Technologies)³, em meados de 90, utilizou imagens no infravermelho termal do satélite meteorológico NOAA para detectar áreas de risco de vetores associados às doenças epidemiológicas, baseado nas temperaturas locais (BECK et al, 2000).

Em alguns estudos sobre clima urbano, como o de Lougeay; Brazel (1996), a imagem termal AVHRR-NOAA foi utilizada combinando a temperatura radiométrica do solo com as atividades urbanas, em alguns casos, analisou-se a distribuição espacial da temperatura radiométrica correlacionada à cobertura vegetal ou então se utilizou de modelos matemáticos para avaliar o balanço termodinâmico de energia na área urbana. A imagem na faixa do infravermelho termal detecta a temperatura radiométrica (ou de superfície) refletida pelos objetos, no intervalo espectral de comprimento de onda entre 10 μm a 14 μm .

A pesquisa de Streutker (2006) analisou cenas noturnas obtidas pelo canal infravermelho termal do sensor AVHRR do NOAA-9 e NOAA-14 da área urbana de Houston-Texas. No período de 1985 a 1987 utilizou-se dados do NOAA-9 e NOAA-14 no período de 1999 a 2001. Constatou-se nesta pesquisa que nestes dois intervalos houve um aumento médio de 35% na temperatura de superfície da área urbana, considerando-se que a área urbana da referida cidade no período de 1990 a 2000 cresceu aproximadamente 20% e a área metropolitana cresceu 27%, no total de 1,1 milhões de habitantes.

No Brasil, apenas na década de 1980, iniciaram-se pesquisas com os sensores termais, dentre as quais a pesquisa de Lombardo (1985) foi praticamente pioneira utilizando imagens de sensores termais para o estudo do clima urbano na Região Metropolitana de São Paulo com o objetivo de identificar ilhas de calor através de imagens seqüenciais de dois satélites operacionais do sistema NOAA-6 e NOAA-7 para analisar as condições térmicas da área urbana. A observação deste satélite pode ser feita sobre a mesma região, em passagens que se Repetiram entre 1980, 1981 e 1982 alternadamente nos horários das 15:00 hs e 7:00 hs.

Com o avanço do novo satélite lançado em 1999, o LANDSAT-7 possuindo um novo sensor a bordo denominado ETM+ (*Enhance Thematic Mapper Plus*) foi melhorada a resolução espacial da imagem de 120m para 60m na banda espectral 6 do infravermelho termal. Isso favoreceu sensivelmente os estudos no Planejamento Urbano e Regional.

³ CHAART foi estabelecido pelo Centro de Pesquisa Ames da Divisão de Ciências da Vida através da NASA, para avaliar e investigar a saúde da população com o apoio do Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica.

As imagens termais dos satélites LANDSAT – TM, canal 6, foram empregadas por Assis (1990) e Mendonça (1995) para a análise qualitativa do desenho térmico das áreas urbanas. Na pesquisa de Mendonça, tendo como *locus* a cidade de Londrina (PR), o cálculo das temperaturas para o estudo do campo térmico resultou numa diferença de temperatura da ordem aproximada de 15°C entre partes da área urbana e partes das superfícies circunvizinhas. Entretanto, problemas na identificação de parâmetros fundamentais para a correção atmosférica da imagem foram limitantes quanto a aplicação de algoritmos (a exemplo de LOMBARDO, 1984; HUBERTO; MOUNIER; GOURY, 1992) mas não impediu, que o tratamento da mesma fosse realizado, pois que o principal objetivo era a individualização das áreas urbanas no contexto regional.

Já a pesquisa de Assis (1990) utilizou a classificação de imagens termais do satélite LANDSAT – TM para a identificação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte. A metodologia de classificação empregada foi a de corte seletivo de histogramas através de distinção de intervalos significativos a partir de sua análise.

O Instituto de Tecnologia de Hiroshima no Japão, desde março de 2000 criou uma estação terrestre para recebimento e processamento de dados do sensor ETM+/LANDSAT-7 para pesquisas sobre impactos ambientais e episódios de desastres de Vulcões nas cidades. Desde então, Suga et al (2000) utilizam dados de imagens termais do LANDSAT para estimar a distribuição da temperatura de superfície (radiométrica) para tipos de cobertura do solo na cidade de Hiroshima em séries temporais, visando criar um sistema de monitoramento do fenômeno de ilha de calor.

Outras pesquisas como a de Kwarteng e Small (2006) citam que o estudo do fenômeno de ilhas de calor através das imagens termais ETM+/LANDSAT permite que se faça uma análise da correlação da variação da temperatura dos bairros nas cidades de Nova York (EUA) e Kuwait, no deserto, através da proporção da vegetação no espaço urbano e a combinação de materiais da superfície urbana. O estudo de Yang e Liu (2006) também se baseia nas imagens de ETM+/LANDSAT para analisar o efeito da ilha de calor em Lanzhou, China e a correlação com o índice de vegetação através do cálculo do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que é o índice de vegetação mais empregado para a diferenciação entre as tipologias vegetais que ocorrem na área urbana⁴. Os resultados mostram que efeito da ilha de calor é significativo e que poderia ser caracterizada visualmente pelo padrão espacial, pela extensão, heterogeneidade e propriedades térmicas dos materiais constituintes da área urbana. A proporção da vegetação na área urbana é notada pelo esfriamento da temperatura como um dos indicadores da qualidade ambiental.

Song Yb (2005) investigou a ilha de calor causada pelas mudanças do tipo de uso do solo na Região Metropolitana de Seul, cidade de Boundang. As temperaturas de superfície foram extraídas pelas imagens Termiais TM/LANDSAT-5, ao longo de 15 anos (1985-1999). O estudo com as imagens demonstrou que devido ao rápido desenvolvimento urbano as temperaturas elevaram-se até 4°C. O autor relata que de acordo com a expansão da cidade, as áreas de vegetação foram diminuídas causando essa diferença na temperatura e, onde há maior presença de vegetação as temperaturas são menores.

As imagens termais geradas pelos satélites das séries NOAA e LANDSAT permitem desenhar o fenômeno de ilha de calor e correlacionar ao padrão de urbanização. A utilização das imagens geradas pelos sensores na faixa do infravermelho termal vai depender muito do nível de escala de detalhamento, como resolução espacial e de séries temporais. A escala do estudo possibilita definir parâmetros climáticos regionais e locais auxiliando nas ações do planejamento urbano na recuperação efetiva de espaços com ausência de vegetação (LOMBARDO, 1995; BALLING; BRAZEL, 1998).

⁴ Para o caso das imagens LANDSAT: $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$.

Lombardo (1995) e Voogt e Oke (2003) ressaltam ainda na importância de estudos do clima urbano com a descrição mais detalhada do tipo de materiais e edificações existentes no espaço urbano para avaliar padrões espaciais da temperatura de superfície.

IMAGEM TERMAL

As medidas realizadas por sensores orbitais através das imagens termais constituem um importante recurso para se avaliar a dimensão e espacialização do fenômeno da ilha de calor nas cidades. Estas medidas fornecem a radiância aparente dos corpos terrestres, sendo que a variável de interesse é a temperatura radiométrica.

A temperatura radiométrica diferencia-se da temperatura da atmosfera através da variação da emissividade dos corpos em função do comprimento de onda, e o que na prática se estima é a radiância emitida pela superfície que interage com a própria atmosfera ao longo de sua trajetória até atingir os sensores orbitais. Sendo assim, a qualidade dos dados obtida pelo sensor depende muito das condições de estabilidade da atmosfera, céu claro, da nebulosidade, teor de vapor d'água e da concentração dos gases como o dióxido de carbono e os aerossóis, pois estes alteram o comportamento espectral de cada material (DASH et al, 2002).

Existem vários algoritmos para estimar a temperatura radiométrica, no entanto, alguns parâmetros da superfície e do perfil atmosférico são importantes para determinar a temperatura radiométrica, como (DASH et al, 2002):

- avaliação dos efeitos da atmosfera;
- estimativa da emissividade;
- estabilidade da função resposta espectral e resolução radiométrica do satélite;

Embora os satélites da série AVHRR-NOAA não permitam trabalhar com uma resolução espacial melhor para a área urbana, sua vantagem está na possibilidade de obter imagens em horários que caracterizam melhor o fenômeno de ilha de calor. Isto se justifica porque o horário de registro da imagem do satélite é um fator importante a se considerar. Quando as temperaturas são estimadas a partir dos dados obtidos no período da manhã (às 10:00 hs) como no caso do satélite LANDSAT, não registram o período de maior temperatura da superfície urbana. Akbari (1997) ressalta que alguns materiais de revestimento das edificações e pavimentação têm um processo de aquecimento mais lento, porque possuem baixa condutibilidade térmica e alta emissividade.

Lombardo (1985) desenvolveu um método para extrair os valores aproximados de temperatura do ar através de imagem na faixa do infravermelho termal (comprimento de onda de 10 μ m e 14 μ m). As imagens utilizadas na pesquisa foram do NOAA-7 e NOAA-8 nas quais a imagem no infravermelho termal capta a temperatura radiométrica refletida pelos objetos na área urbana. Com base na análise das emissividades dos diferentes alvos, e com uso do programa LOWTRAN, foi possível remover, em parte, o efeito da atmosfera. As medidas de temperatura do ar obtidas através do trabalho de campo foram associadas às temperaturas radiométricas extraídas das imagens na faixa do infravermelho. Esse modelo pode ser utilizado tanto para imagens do NOAA quanto das imagens da série do LANDSAT, porém ajustadas à resolução espacial correspondente ao pixel da imagem.

APLICABILIDADE DA IMAGEM TERMAL

A aplicabilidade e uso das imagens termais vai depender muito do tipo de pesquisa e do nível de detalhamento para o estudo do clima. Deve-se levar em conta uma série de fatores como:

- O período do ano em que a imagem é registrada é de fundamental importância, pois o fenômeno pode ser melhor caracterizado nos meses de dezembro e janeiro, quando o Sol se coloca bastante alto ao meio dia durante a época de verão no hemisfério sul, chegando a ficar praticamente a pino no dia 21 de dezembro nos trópicos. No período de inverno, os meses de junho e julho são propícios para analisar o fenômeno, pois o Sol fica mais distante do zênite, atingindo uma inclinação máxima em relação à vertical de 44° na direção norte, ocorrendo ao meio dia do dia 21 de Junho;
- As condições de estabilidade da atmosfera: céu claro, ausência de nebulosidade, baixo teor de vapor d'água, influem diretamente na qualidade da imagem para estudar o fenômeno de ilhas de calor. Esta é uma das limitações nos estudos sequenciais devido às variações das condições atmosféricas.
- O horário de passagem do satélite também é importante para caracterizar o fenômeno de ilha de calor. Os satélites meteorológicos da série NOAA com passagem sobre a cidade de São Paulo permitem obter registros de imagens no horário das 15:00 hs PM, constituindo um importante recurso para se avaliar a dimensão e espacialização do fenômeno de ilhas de calor.
- O horário de passagem do satélite da série LANDSAT no Brasil, especificamente na cidade de São Paulo é às 10:00 hs, não caracterizando o fenômeno da ilha de calor.
- A resolução espacial nominal na imagem no ponto nadir é outro fator a se considerar, pois irá definir as escalas de trabalho. A tabela 1 indica as resoluções espaciais e as características dos satélites estudados no presente trabalho;
- A resolução temporal define a frequência de aquisição das imagens, quando se quer compreender o comportamento do fenômeno ao longo de um período (diário, mensal e anual);

Tabela 1 - Características Orbitais dos satélites NOAA e LANDSAT

	<i>NOAA-12</i>	<i>NOAA-14</i>	<i>LANDSAT-5</i>	<i>LANDSAT-7</i>
Resolução Temporal	101,2 min	102 min	16 dias	16 dias
Resolução Espacial	1,2 Km	1 Km (AVHRR/2)	60 m Banda 6	120 m Banda 6
Resolução Radiométrica	10 bits	12 bits	8 bits	8 bits
Permite Escalas	1:100.000 1.50.000	1:100.000 1.50.000	1.50.000	1:50.000 1.25:000
Área imageada	2.500 x 4.000 Km	2.500 x 4.000 Km	185 x 185 Km	185 x 185 Km

Fonte: Adaptado de Silva, 2002.

REGIÃO METROPOLITANA: ESTUDO DE SÃO PAULO

A Região Metropolitana de São Paulo localiza-se na porção sudeste do Brasil, possui cerca de 1.747 Km² de área urbanizada. O impacto da rápida urbanização da cidade de São Paulo trouxe transformações significativas ao meio ambiente e conseqüentemente sensíveis modificações no clima. Com uma população de aproximadamente 10,8 milhões de habitantes (IBGE, 2004) e considerada a maior cidade do Brasil, apresenta quadros graves de poluição atmosférica, superando negativamente neste aspecto, cidades como Nova York e Boston nos EUA.

Além das características diversificadas de uso e ocupação do solo (comercial, industrial, serviços e residencial verticalizada) e relevo, outros fatores contribuem para que ocorram vários picos de temperatura espalhados pelo tecido urbano, como a concentração de poluentes em determinadas zonas. Esses fenômenos podem ser usados como indicadores da degradação ambiental que freqüentemente ocorre nos espaços intensamente urbanizados (LOMBARDO, 1985).

O estudo para a MetrÓpole Paulistana realizado por Lombardo (1985) demonstrou que os padrões diferenciados de emissão de calor determinaram temperaturas mais elevadas na área central e à medida que se afasta em direção ao subúrbio as temperaturas tendem a diminuir, caracterizando assim o fenômeno de ilhas de calor.

Os levantamentos realizados em campo por Lombardo (1985) constataram que a diferença entre as temperaturas de brilho inferidas a partir de dados obtidos pelo satélite NOAA e as temperaturas medida em estação meteorológica fixa apresentou um coeficiente de correlação superior a 0,94. Isto significa que os resultados obtidos foram bem próximos do real.

A figura 1 mostra em diferentes horários o registro da temperatura da superfície na área do núcleo central e da zona de transição (periferia) da cidade de São Paulo. As temperaturas foram registradas por volta das 15:00 hs PM, 7:00 e 9:00 hs AM.

Considerando que a insolação é quem aquece o solo e as fachadas dos edifícios, o aumento da carga térmica da pavimentação e concreto das edificações é dado precisamente pelo número de horas de insolação. A quantidade de radiação solar recebida pela superfície terrestre é medida por uma unidade de área, e varia de acordo com a estação, a hora do dia, a latitude, a transparência da atmosfera, o aspecto e/ou a declividade do solo, etc.

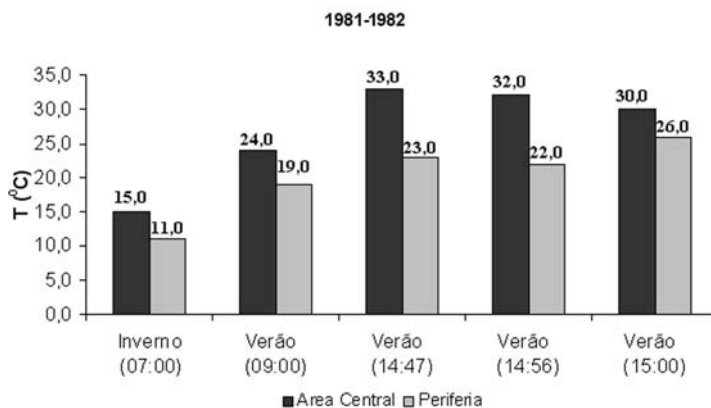
No inverno as temperaturas estimadas a partir de dados obtidos pelo satélite correspondem às 7:00 hs do dia 24 de junho e ao dia 16 de julho, às 14:47 hs. Enquanto que no verão as temperaturas foram registradas: às 9:00 hs do dia 24 de fevereiro; às 14:56 hs no dia 18 de setembro; e às 15:00 hs no dia 16 de setembro.

A figura 2 mostra a variação térmica registrada pelas imagens do sensor NOAA-6 e NOAA-7 nos determinados dias dos anos de 1980 (inverno), 1981 (verão e inverno) e 1982 (verão) (LOMBARDO, 1985).

O núcleo central da cidade onde se inserem as atividades comerciais e de negócios concentra elevada densidade de edificações e registrou as maiores ocorrências de ilhas de calor. Os materiais usados nas edificações e nos espaços urbanos como o asfalto e o concreto têm grande influência no calor produzido na cidade, durante o dia os edifícios emitem a radiação térmica na região denominada *Urban Canopy*, com o agravante de que a noite a poluição do ar desfavorece a dispersão do calor.

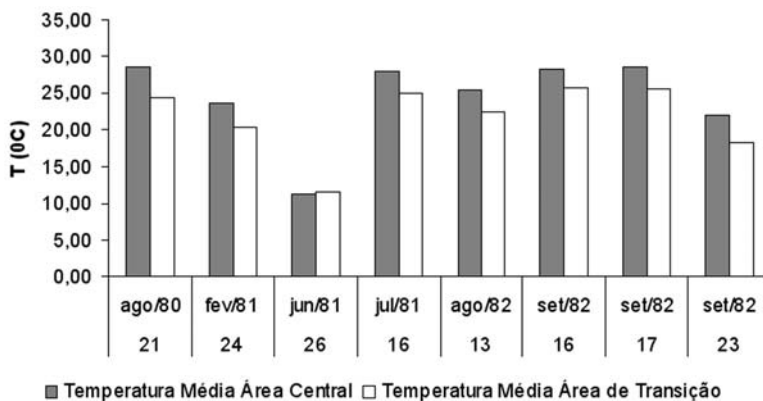
No inverno a diferença das temperaturas registradas pelo sensor na área central e periferia ocorreu em torno de 4°C. No verão as temperaturas esta variação chegaram por volta de 10°C. Segundo Lombardo (1997), no inverno ressalta-se a associação entre ilha de calor e altos índices de poluição, assim como o abaixamento da umidade relativa do ar, o que traz desconforto térmico.

Figura 1 – O registro das temperaturas obtidas pelo satélite da série NOAA nos horários de passagem



Fonte: Adaptado de LOMBARDO, 1985.

Figura 2 - Diferenças de temperaturas pelo Satélite NOAA no núcleo Central e na Zona de Transição do Município de São Paulo

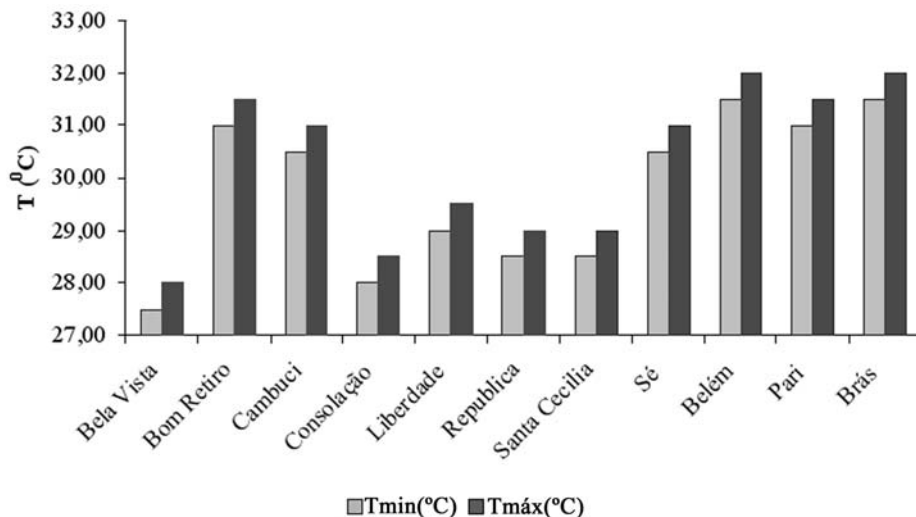


Fonte: Adaptado de LOMBARDO, 1985.

As diferenças de uma região a outra ocorreram devido a uma série de fatores como a presença da cobertura vegetal, a sua distribuição nos diversos setores da cidade, o tipo de uso predominante industrial ou comercial, o adensamento e verticalização das edificações, bem como a predominância de classes de materiais utilizados nas construções.

O setor central abrange oito distritos: Santa Cecília, República, Bom Retiro, Consolação, Sé, Cambuci, Liberdade e Bela Vista. Nos bairros da Consolação e Santa Cecília, as temperaturas registradas pelo satélite ETM+/LANDSAT-7 (03/Set/1999), através da imagem na banda termal, para o estudo da ilha de calor, às 10:00 hs da manhã mostraram-se menores (em torno de 1 a 2°C a menos) em comparação com os bairros de Bom Retiro, Sé e Cambuci (Figura 3). Em determinados horários ocorrem correntes de ventos que propiciam regiões menos quentes.

Figura 3 – Variação da Temperatura nos Bairros da Área Central registrado pelo ETM+/LANDSAT-7 (03/09/1999)



Fonte: SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE/PMSP, 2006.

Em trabalho de Lombardo (1985) foram estimadas as temperaturas a partir de dados transmitidos por vários satélites da série NOAA no ano de 1981 e 1982 e, em datas diferentes, refletindo as variações do comportamento térmico de inverno e verão nos espaços urbanos. Nota-se que as temperaturas estimadas com dados do LANDSAT-7 foram registradas apenas no dia 09 de setembro de 1999, no horário da passagem do satélite pela manhã, às 10:00 hs AM. Dessa forma não foi possível registrar as variações de comportamento térmico no ambiente urbano ao longo do ano, mas apenas naquele exato momento da passagem do satélite. Entretanto, é interessante observar de forma ilustrativa as diferenças de temperaturas registradas nos diferentes Distritos para compreender os fatores que influenciam nestas diferenças.

Em alguns distritos, como Consolação, onde há maior índice de vegetação por m² de área urbanizada, as temperaturas mostraram-se mais baixas (em torno de 1 a 2°C) em comparação com os bairros de atividade industrial. A princípio deduz-se que as atividades industriais induzem a temperaturas bem mais elevadas, embora haja uma série de fatores que devam ser considerados.

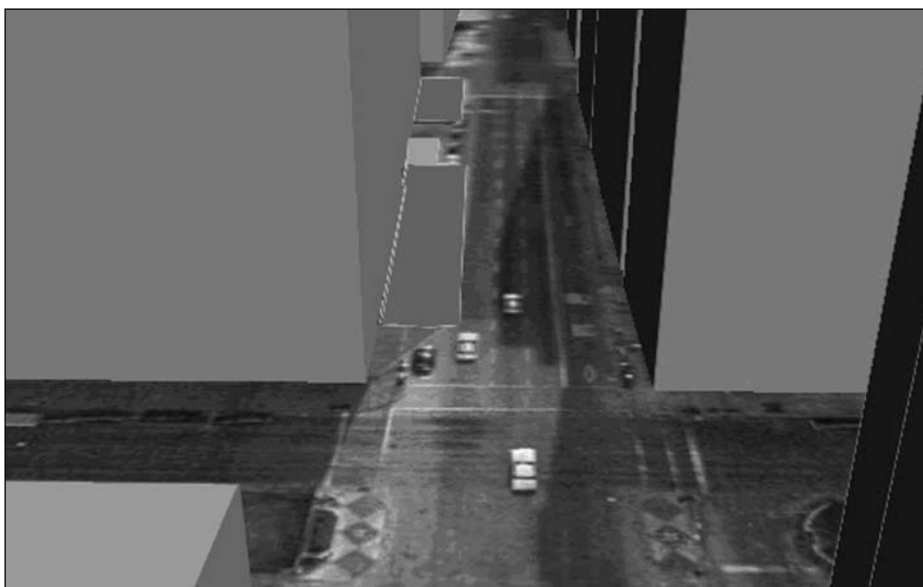
Na zona leste e centro as temperaturas registradas pelo satélite NOAA-7 foram próximas de 33°C enquanto que no Parque do Estado foi de 24°C, enfatizando o efeito da vegetação e também do relevo da região.

Em trabalho realizado pela Secretaria do Verde e Meio Ambiente de São Paulo, as temperaturas estimadas na área central, utilizando-se dados do LANDSAT-7, foram bem menores (em torno de 2 a 3°C) do que as obtidas a partir da série NOAA e a região central não foi registrada como a mais quente. Neste sentido deve-se levar em consideração que a passagem do satélite LANDSAT ocorre no horário das 10:00 hs AM, o que não registra realmente o fenômeno de aquecimento (o pico da temperatura) na área central.

A densa verticalização, característica predominante do uso do solo no Distrito da Consolação, associada a uma composição arbórea diferenciada favoreceu o abrandamento térmico apresentando temperaturas bem menores (cerca de 3 a 5°C) do que no Distrito industrial de Bom Retiro, com topografias mais planas e tipologia de edificação predominantemente horizontal (até 4 pavimentos). Esse efeito de temperatura mais baixa no Distrito da Consolação pode ter forte influência de outros fatores, como o sombreamento dos prédios altos e da vegetação que tem papel fundamental nos microclimas urbanos, não só atenuando o calor como minimizando a poluição emitida pelos veículos.

O núcleo central (Sub-Prefeitura Sé) possui 2,71m² de área verde/habitante, representando um total de áreas verdes de 3,91% do total do município de São Paulo. O Distrito da Consolação é o que possui maior índice (16,68%) de cobertura vegetal arbórea (m² de verde/área total Centro), em comparação com a área central (SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE, 2006). A temperatura pode variar de 3 a 4°C para menos quando há presença da distribuição arbórea em relação às áreas expostas à radiação solar. Essa diferença se acentua com aumento do deslocamento do ar entre as áreas ensolaradas e sombreadas (Figura 4). A avenida que concentra corredores de edifícios que projetam sombras e canalizam ventos pode caracterizar um microclima com temperaturas mais baixas.

Figura 4 – Imagem da Av. Paulista com Sombreamento das Edificações – Efeito Cânion Urbano



A desagregação do valor médio do índice de verde /habitante é importante de ser analisada espacialmente para cada distrito considerado, uma vez que regiões com elevadas taxas de áreas construídas induzem a uma maior densidade demográfica e consequentemente estas regiões apresentam déficit de área verde/habitante. O planejador deve considerar os valores de índices verdes como uma informação quantitativa geral, pois estes não expressam como as áreas verdes se encontram, ou seja, como estão sendo utilizadas e distribuídas dentro de cada setor da cidade.

A função das áreas verdes nas cidades está intimamente relacionada com a quantidade, a qualidade e a distribuição das mesmas dentro da malha urbana. As áreas que possuem uma boa distribuição arbórea ou distribuição bastante heterogênea podem ter variações de temperatura de até 10°C, como no bairro do Morumbi (LOMBARDO, 1985) em comparação com o núcleo central. As altas temperaturas são verificadas em áreas com crescimento vertical intenso e pouca quantidade de verde principalmente nos espaços residenciais e industriais densamente ocupados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados termais obtidos das imagens de satélite mostram uma imagem qualitativa do campo térmico urbano, entretanto, necessita-se estabelecer um grau de confiança dos dados captados por sensores remotos de acordo com os objetivos da pesquisa.

Uma região fortemente edificada, como o centro de São Paulo, pode apresentar grandes variações no campo térmico em função dos principais fatores relacionados aos índices de vegetação arbórea, uso do solo predominante, dos tipos de materiais de construção mais comuns. É importante lembrar que as temperaturas radiométricas inferidas somente numa determinada data e horário da passagem do satélite (às 10:00 hs AM) não poderiam caracterizar o clima urbano local, necessitando-se para tal um estudo seqüencial razoável de imagens que permitam verificar uma tendência do comportamento térmico.

Através das imagens termais do satélite LANDSAT - 7 foram constatadas diferenças térmicas na área central, com variações de temperaturas em torno de 3 a 5°C mais elevadas no Distrito de Bom Retiro quando comparado ao distrito da Consolação.

A relação estreita entre o uso e ocupação do solo e a ilha de calor, com suas variações espaciais, comprovam a necessidade urgente de um re-planejamento do uso do solo, com a implantação dos espaços verdes intersticiais nos diversos Distritos da Grande São Paulo, fundamentais para a melhoria do conforto térmico e, conseqüentemente qualidade de vida dos habitantes.

A correlação ilhas de calor e cobertura vegetal pode representar um importante instrumento de planejamento para a gestão pública, até porque o poder público municipal não estabelece zonas prioritárias para arborização prevista nas diretrizes da Política Ambiental da cidade. O zoneamento ambiental do Plano Diretor Estratégico da cidade de São Paulo deve ser um instrumento definidor das ações para promoção e recuperação da qualidade ambiental do espaço físico-territorial e também na identificação de áreas críticas: degradadas.

As técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens termais para a caracterização do campo térmico da cidade de São Paulo possibilitam um importante instrumento para qualificar os ambientes urbanos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil e FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS

ASSIS, E.S. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo urbano sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG, ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, Gramado, 1990. **Anais ... Gramado: ANTAC**, 1990, p. 53-57.

AKBARI, H. et al. Peak Power and Cooling Energy Savings of high Albedo Roofs. **Energy and Buildings**, San Francisco, v. 25, p. 117-126, 1997.

BALLING, R.C.; BRAZEL, S. W. High-resolution surface-Temperature patterns in a complex urban terrain. **Photogrammetric Engineering Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, p. 1289-1293, 1998.

BECK, R. L. et al. Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. **Emerging Infectious Diseases**, Atlanta, v. 6, n. 3, p. 217-226, 2000.

DASH, P. et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 2563-2594, 2002.

DOUSSET, B.; GOURMELON, F. et al. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperature and landcover. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, p. 43-54, 2003.

KWARTENG, A. Y.; SMALL, C. Comparative Analysis of Thermal Environments in New York City and Kuwait City. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Berlin. Disponível em http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/kwarteng.pdf, acesso em 10/mar/2006.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o caso de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

LOUGEAY, R.; BRAZEL, A, et al. Monitoring Intra-Urban Temperature Patterns an Associated Land Cover in Phoenix, Arizona using LANDSAT thermal data. **Geocarto International**, v. 11, p. 79-89, 1996.

MATSON et al. Satellite Detection of Urban Heat Islands. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 106, n.2, p. 1725-1734, 1978.

MENDONÇA, F. A– **O clima e o Planejamento urbano de cidades de Porte Médio e Pequeno: Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR**. 1995. 298f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - FFLCH/USP, São Paulo, 1995.

SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**. Disponível em <http://www.atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br>, acesso em 20/mar/2006.

STREUTKER, R. D. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. **Remote Sensing of Environment**. Disponível em www.isu.edu/~stredavi/uhi_growth_web.pdf, acesso em 05/mai/2006.

SONG, YB. Influence of new town development on the urban heat island - The case of the Bundang area. **Journal of Environmental Sciences-China**, Korea, v. 17, n. 4, p. 641-645, 2005.

SUGA, Y. et al. Verification of Surface Temperature from LANDSAT ETM+Data. **ACRS 2000, Environment**, <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts5/env003pf.htm>, acesso em 10/mar/2006.

VOOGT, J. A, OKE, T. R. Thermal Remote Sensing of urban Climates. **Remote Sensing of Environment**. v. 86, p. 370-384, 2003.

YANG, H.; LIU, Y. A satellite remote sensing based assessment of urban heat island in Lanzhou city , northwest China. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. Disponível em http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/yang_lui.pdf, acesso em 12/ma/2006.

Recebido em outubro de 2006
Revisado em julho de 2007
Aceito em agosto de 2007