

O USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS METROPOLE DE SÃO PAULO

Magda Adelaide Lombardo¹

Resumo

O rápido crescimento demográfico nas grandes cidades gera conseqüências em zonas que geralmente não estão preparadas para a brusca ampliação. Em um espaço intensamente ocupado e sem planejamento proliferam problemas que comprometem profundamente a qualidade de vida da população. A análise e diagnóstico da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é delineada com base na utilização de sistemas de geoprocessamento (SIG) e produtos de sensoriamento remoto. A análise envolve a descrição quantitativa e qualitativa dos diversos eixos temáticos (vegetação, recursos hídricos, uso e ocupação do solo e clima urbano) visando o estudo do clima urbano e sua relação com a qualidade ambiental. Um banco de dados de atributos espaciais integrou as técnicas de geoprocessamento através do uso de imagens de alta resolução. O eixo temático clima urbano contemplará o uso de séries temporais de imagens do TM e ETM+/LANDSAT no infravermelho termal para a identificação da configuração das ilhas de calor. A análise de dióxido de carbono será realizada com a distribuição espacial da intensidade de tráfego urbano de São Paulo, bem como através de dados das Instituições Ambientais e o produto final pode contribuir no subsídio às políticas públicas locais.

Palavras chaves: geotecnologias; análise das mudanças

¹ E-mail: lombardo@rc.unesp.br

Introdução

As mudanças climáticas estão provocando impactos cada vez mais graves, principalmente em megacidades como São Paulo. A maioria desses impactos está associada às variações do clima causadas pela forma de apropriação dos recursos naturais e degradação do ambiente.

Os países desenvolvidos respondem por mais de 2/3 das emissões de gases do efeito estufa, entretanto, as mudanças climáticas irão ampliar a magnitude dos efeitos causados por eventos extremos que estão associados principalmente às áreas mais degradadas dos grandes centros urbanos. Neste contexto, os riscos e sua magnitude dependerão da severidade, frequência, distribuição e variabilidade climática. Recentemente, a adaptação aos impactos adversos das mudanças climáticas tem sido reconhecida como área prioritária para as políticas nacionais e internacionais.

Deve-se destacar que os impactos previsíveis das alterações climáticas no contexto das cidades apontam para o aumento da assimetria das precipitações, potencializando riscos acrescidos de cheias e inundações de caráter repentino agravando a sua vulnerabilidade e periculosidade. Os riscos de inundações intensificam-se em áreas urbanas, devido às alterações induzidas nas condições da drenagem natural, quer pela diversidade de atividades e uso e ocupação do solo, quer pela extensão dos prejuízos.

Recentemente, tem sido estudado o desenvolvimento de medidas de caráter preventivo que visam mitigar os efeitos das cheias e inundações, poluições, integrando estes impactos no planejamento e desenho urbanos, visando a gestão integrada de águas pluviais em meio urbano, integrando o controle na origem das águas fluviais, promovendo a sua infiltração, detenção e retenção, a reabilitação dos sistemas de drenagem pluvial, associando integradamente o controle da poluição com sistemas simplificados de tratamento.

No contexto das áreas urbanas – metropolitanas, as alterações climáticas são mais intensas e refletem seus efeitos na escala local e regional. Neste trabalho foram analisadas as alterações climáticas na Área Metropolitana de São Paulo, tendo como base o conhecimento inter-multi-disciplinar com a utilização de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver metodologia capaz de selecionar e propor possíveis indicadores que afirmam os resultados das simulações de alterações climáticas, podendo auxiliar nas ações para minimizar problemas deste âmbito em áreas urbanas – metropolitanas.

Clima e urbanização

O século XX corresponde a um período de aquecimento, com um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície de 0,74°C. O aumento da temperatura, que atualmente se verifica, tem afetado mais as regiões continentais e as altas latitudes (IPCC, 2001, 2007) e acentuou-se nas últimas décadas do século XX e nos primeiros anos do século XXI; os anos mais quentes foram 1998 e 2005.

Também tem se verificado uma diminuição da amplitude térmica diurna devido à subida das temperaturas mínimas. O aumento da temperatura global tem sido atribuído, sobretudo a ação antrópica, destacando-se as emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

A intensificação do efeito estufa devido às emissões antrópicas de GEE, associadas, sobretudo à queima de combustíveis fósseis, mas também a atividades como agricultura e pecuária, que contribuem fortemente para as emissões de CH₄ e N₂O.

As previsões de aumento de temperatura e da subida do nível do mar estão associadas aos vários cenários futuros, de acordo com diversos parâmetros: evolução da população, o tipo de energia utilizada e os indicadores de ordem econômica, social, ambiental, tecnológica e política.

O aquecimento urbano tem sido muitas vezes associado ao aquecimento global muito embora os dois sejam de escalas e natureza diferenciadas. Entretanto, a acumulação dos efeitos térmicos, as diferentes escalas ocasionam efeitos graves nas áreas urbanas.

Devido ao incremento no gasto de energia (para uso doméstico, transportes, para fins industriais, entre muitos outros, ditados por uma constante necessidade de reduzir as distâncias e elevar o nível de vida (KANN, 2006), as cidades são as fontes mais importantes de GEE, contribuindo com cerca de 85% para as emissões totais de CO₂, CFCs e O₃ troposférico. A elevada densidade dos poluentes na pluma urbana afeta a

química da atmosfera e o clima em larga escala (CRUTZEN, 2004). Segundo alguns autores, o incremento da convecção, como resultado do aquecimento sobre as áreas urbanas, poderá contribuir para o transporte de água e de poluentes para a média e alta troposfera, com potenciais conseqüências a nível regional e global (CRUTZEN, 2004; SHERWOOD, 2002).

O clima de uma cidade depende de seu macroclima, com características regionais, dos aspectos locais e das particularidades do tecido urbano (LOWRY, 1977).

A IC é mais freqüente durante a noite e tem sua maior intensidade poucas horas após o por do sol (OKE, 1987); tipicamente, as condições mais favoráveis à formação ou intensificação da IC são situações com vento fraco ou calmo e céu limpo ou pouco nublado.

A intensidade da IC, segundo ALCOFORADO et al (2008), é geralmente calculada como a diferença entre as temperaturas mais elevadas medidas no centro da cidade e as mais baixas na periferia, contudo, é extremamente difícil a comparação e generalização dos processos obtidos para as diferentes cidades devido as diferenças nos processos de medição (diferentes tipos de estações meteorológicas ou medições itinerante, etc), nos parâmetros térmicos considerados (temperaturas máximas, medias, mínimas, valores diários, mensais ou anuais) e em termos gerais, à falta de uniformidade nos métodos de tratamento e análise dos dados (ALCOFORADO e ANDRADE, 2005).

As causas da IC são complexas, resultando da interação de vários processos a diferentes escalas. Indicam-se a seguir as principais (OKE, 1987):

- Modificações no balanço radioativo devido a geometria urbana, aos materiais de construção e as cores predominantes;
- Emissão de calor de origem antrópica;
- Acumulação diurna de calor nos edifícios e materiais de construção, o qual é libertado durante a noite;
- Modificações na composição da atmosfera urbana;
- Redução da velocidade média do vento;
- Redução da evapotranspiração devido à escassez de vegetação e ao predomínio de superfícies impermeabilizadas.

O aumento da rugosidade nas áreas urbanas leva a uma diminuição da velocidade média do vento regional (OKE, 1987). Por exemplo, Lisboa, devido à

expansão urbana na década de 80, ocorreu, no Verão, uma redução na velocidade média do vento de 30% ($\approx 2\text{m/s}$), abaixo dos 100m de altura (LOPES, 2003). Esta redução foi, contudo, muito desigual espacialmente; na Baixa, em que se associam o abrigo topográfico (em relação aos ventos dominantes de N e NW) e uma elevada rugosidade, a redução da velocidade do vento terá sido de cerca de 3m/s ; no Norte da cidade, com rugosidade e abrigo muito menores, a diminuição da velocidade do vento foi apenas de 0,5 a 2m/s . As condições no Norte da cidade poderão vir a modificar-se em função do crescimento urbano que nesta área se observa (LOPES, 2003; ALCOFORADO et al 2000).

Podem, contudo, ocorrer acelerações pontuais do vento, em função da sua morfologia urbana: por exemplo, as ruas podem canalizar o vento, aumentando a sua velocidade e originando situações de desconforto ou mesmo risco para os pedestres.

Entre os poluentes gasosos com efeito sobre a saúde humana destacam-se o dióxido de enxofre (SO_2), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x), sendo o mais importante o dióxido de azoto (NO_2), diferentes compostos voláteis (COV) e, dentre os que já são responsáveis pelo efeito estufa, sobressaem o CO_2 , CH_4 , N_2O , já referidos e ainda os clorofluorcarbonetos (CFC) e os halofluorcarbonetos (HFC).

É importante distinguir entre os poluentes primários, diretamente emitidos para a atmosfera pelas atividades humanas (como o CO ou o CH_4) e os poluentes secundários, que resultam da modificação de compostos químicos pré-existentes na atmosfera (precursores); o exemplo mais conhecido é o ozônio troposférico (O_3), formado a partir do NO_2 , COV e os nitratos de peróxido-acyl nitrates (PAN) através de reações químicas na atmosfera, na presença de radiação solar. Em condições favoráveis (fortes concentrações de precursores e níveis elevados de radiação solar) pode formar-se o conhecido smog (smok + fog) fotoquímico (muito freqüente na cidade de Los Angeles, por exemplo), com elevadas concentrações de O_3 e de outros poluentes de origem fotoquímica (OKE, 1987; STONE, 2005), as temperaturas elevadas contribuem também para o incremento da concentração do O_3 troposférico (STONE, 2007).

Além dos poluentes gasosos, as partículas com outros poluentes na baixa atmosfera urbana têm efeitos nocivos sobre a saúde (CURTIS et al. 2006). Em situações de atmosfera noturna muito estável (sem vento e sem nebulosidade), a combinação de partículas com outros poluentes na baixa atmosfera urbana pode incrementar a

morbilidade e a mortalidade dos habitantes. A poluição mais ligada à atividade industrial (nomeadamente compostos de enxofre e determinados tipos de partículas) tem vindo a ser reduzida nas áreas urbanas dos países desenvolvidos, sobretudo devido às transformações econômicas e ao progresso tecnológico. Nos países menos desenvolvidos, contudo, esta evolução tem sido muito mais lenta. A poluição associada às emissões de tráfego (NO₂, CO, O₃, diferentes tipos de partículas) tem tido uma redução muito mais lenta, sendo menores as dessimetrias regionais.

Embora muitas vezes se conclua que o aquecimento do planeta dará lugar a um incremento das IC, tal poderá também não ocorrer. A IC é calculada como a diferença de temperatura centro-periferia e essas diferenças podem permanecer constantes (OKE, 1997). A intensidade da IC pode mesmo decrescer, se ocorrer um incremento da instabilidade vertical da atmosfera, associado a temperaturas mais elevadas (BRÁZDIL e BUDÍKOVÁ, 1999). A evolução da IC dependerá igualmente das mudanças na frequência dos diferentes tipos de tempo que a condicionam (OKE, 1987; MORRIS e SIMMONDS, 2000).

O processo de urbanização é umas das principais interferências da mudança na natureza da superfície do solo e nas propriedades atmosféricas presentes na Camada Limite Urbana (UCL). Essa transformação resulta em mudanças dos ventos regionais, na geometria da radiação solar e da insolação e emissão de poluentes propiciando as temperaturas mais elevadas nas zonas urbanas consolidadas em comparação com as zonas periféricas ou rurais.

As variações térmicas observadas entre as zonas urbanas e rurais podem chegar até 10°C, tendo como causas principais a substituição da vegetação natural pelo excesso de concreto e asfalto, adensamento das edificações e ações antrópicas (LOMBARDO, 1985). Os principais efeitos nocivos apontados por vários autores (ROSENZWEIG et al, 2004; GIVONI, 1998; LOMBARDO, 1985) são:

1. Redução da evapotranspiração e evaporação, pela ausência de vegetação e água disponível;
2. Altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características do sítio construído, provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local da massa de ar; e;

3. Ocorrência de inundações nestas áreas, pela presença ocasional de chuvas intensas.

Parte da problemática relativa às alterações climáticas do meio ambiente urbano é proveniente da degradação dos recursos naturais causando grandes impactos na qualidade ambiental, com reflexos diretos aos habitantes. Atualmente essa problemática vem despertando a atenção de especialistas nacionais e internacionais, com enfoque inter-multi-disciplinar e de abrangência tanto global como regional e local.

Com a expansão das cidades, há geralmente uma diminuição das áreas verdes e de suas superfícies líquidas, que são substituídas pelo asfalto e pelo concreto, resultando em áreas impermeabilizadas e favorecendo a ocorrência do fenômeno típico do clima urbano conhecido por ilhas de calor e sua intensidade depende das condições micro e meso-climáticas locais das cidades (MONTEIRO, 2003). Esse fenômeno tem sua origem através da transmissão de calor que se dá pela condutividade térmica dos materiais de revestimento que compõem a cidade, na inércia termal e na sua conversão em calor sensível, nas disfunções no albedo dos materiais de superfícies e na interação de gases poluentes (ASSIS, 2000).

A emissão de poluentes também tem forte influência nas elevadas temperaturas, principalmente em áreas com atividades comerciais e industriais devido ao elevado fluxo de veículos em horários picos, pois a camada de poluentes pode reduzir a radiação solar direta por refletir parte dela, dificultando a dispersão do calor (LOMBARDO, 1985).

Os estudos das alterações climáticas têm sido cada vez mais considerados pelos urbanistas nos processos de planejamento urbano. Surgindo daí a necessidade de estabelecer critérios que estejam voltados para a questão da poluição do ar e do comportamento térmico, através da descrição qualitativa em sua variação espacial.

O conhecimento das variabilidades climáticas, espaço das chuvas, descargas dos rios, de fatores ambientais, sócio-culturais, condições de uso e conservação dos seus recursos naturais permitem planejar, evitar ou atenuar os efeitos do excesso ou da falta de água. A Organização Mundial da Saúde (OMC) mostra que os recursos hídricos constituem-se um importante aliado para a implementação de ações de saúde e ambiente, haja vista a necessidade da água para a vida humana, agricultura e a geração de energia. É fundamental considerar o impacto da variabilidade climática e da

mudança climática nos recursos hídricos, a fim de que políticas e estratégias claras e mecanismos e ferramentas efetivos para proteger a poluição dos recursos hídricos.

A vegetação em suas diferentes formas influencia decisivamente no controle da qualidade ambiental. Os espaços urbanos com a presença da cobertura vegetal têm um efeito amenizador do aquecimento térmico gerado pelas edificações e superfícies pavimentadas, além de contribuir para a minimização do efeito estufa (GIVONI, 1998).

Vulnerabilidade das mudanças climáticas na região Metropolitana De São Paulo

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), considerada a maior área urbana brasileira, com cerca de 18 milhões de habitantes, apresenta, hoje, um dos quadros mais críticos do país no que diz respeito à alteração da temperatura o aumento do dióxido de carbono (CO₂). Isto ocorre devido ao grande numero de usuários do transporte individual, que acaba produzindo mais da metade de toda a poluição atmosférica da cidade. Além disso, o CO₂ gera efeito estufa o que agrava a situação ambiental comprometendo a qualidade ambiental de seus habitantes. A causa está na falta de organização espaço-territorial e na gestão dos recursos naturais ao longo de sua história.

Todas estas questões implicam no planejamento do desenvolvimento urbano, utilizando-se de instrumentos e estratégias ambientais inseridas em políticas públicas com o objetivo de conservar o máximo do ambiente natural promovendo o desenvolvimento econômico e social sustentável. A institucionalização da proteção do ambiente e da qualidade de vida pode ser definida como um processo de corporificação de certas práticas da sociedade em organizações, normas e procedimentos, legitimamente aceitos por um número suficientemente expressivo de pessoas, o que permite assegurar sua reprodução (GUAY, 1991).

Entretanto, para que ocorra a adequada aplicação de instrumentos e diretrizes estratégicas visando a qualidade físico-ambiental é necessário compreender primeiramente a inter-relação do ambiente urbanizado através da identificação de indicadores ambientais. O objetivo principal na identificação dos indicadores ambientais é o de agregar e quantificar as informações do ambiente urbano de maneira que sua significância fique mais aparente (BELLEN, 2005).

É importante avaliar o impacto do homem sobre o meio ambiente e considerar a capacidade dos ecossistemas em absorver choques violentos e sentir a saturação dos

recursos naturais e a carga das atividades econômicas e sua relevância na organização do espaço. É nas metrópoles que os problemas ambientais geralmente atingem maior amplitude, notando-se concentração de poluentes no ar e na água, e degradação do solo e subsolo, em consequência do uso intensivo do território pelas atividades urbanas (LOMBARDO, 1995).

O uso de geotecnologias nos estudos de mudanças climáticas

A visão global das áreas metropolitanas só é possível com a utilização de dados obtidos por sensoriamento remoto a nível orbital, sua repetição constante, possibilita detectar as tendências de expansão das áreas urbanas, como também, o registro permanente das relações entre os fenômenos urbanos e todo ambiente regional (FORESTI, 1986).

O uso de geotecnologias nos estudos de vulnerabilidade ambiental a mudanças climáticas globais em áreas urbanas constitui um procedimento de aplicação dos recursos tecnológicos atuais (como é o caso do sensoriamento remoto), na análise da dimensão humana na vulnerabilidade ambiental às mudanças globais, através de métodos qualitativos e quantitativos.

No início da década de 1970 foram desenvolvidas atividades de processamento digital de imagens de satélite para fins de estudos urbanos tiveram início ainda na década de 70. Em vista da baixa resolução espacial (79 x 79 m) da primeira geração de satélites da época, os estudos eram tímidos, limitando-se: (i) à classificação de áreas urbanas e não-urbanas (DUEKER e HORTON, 1972; FORESTI et al., 1973); (ii) ao monitoramento do crescimento urbano através de imagens multitemporais (LINDGREN, 1975; FORESTI et al., 1980, NIERO et al., 1982); (iii) a análises de impacto ambiental da ocupação urbana, por meio do cruzamento das áreas urbanizáveis com mapas de caracterização do sítio físico (PAUL et al., 1975; FORESTI et al., 1978); e (iv) a inferências populacionais a partir de análises de regressão simples entre área ocupada e densidade populacional média (FORESTI, 1977).

A outra geração de sensores orbitais, que se estende da metade da década de 80 até o final da década de 90, oferece resolução espacial mais refinada (5 m a 10 m na banda pancromática e 20 m a 30 m nas bandas multiespectrais), e vem acompanhada por estudos mais sofisticados, que passam a explorar o espaço intra-urbano, tanto do

ponto de vista físico (NELLIS et al., 1997) quanto social-demográfico (HENDERSON e XIA, 1997).

Nos últimos dez anos, conforme ALMEIDA et al (2006) a segunda geração se vê suplantada pela subsequente, com avanços na resolução espacial da ordem de 0,67 m a 1 m na banda pancromática e 4 m nas bandas multiespectrais, compreendendo os sensores de alta e altíssima resolução espacial, os quais migraram do setor militar para a pesquisa civil. Nesta fase recente de experimentações, os estudos passam a detalhar com maior profundidade os alvos urbanos (DONNAY et al., 2001; BENZ et al., 2004), categorizando as coberturas do solo urbano em nível de materiais (asfalto; cobertura cerâmica, metálica ou de concreto etc.), além de discriminar a vegetação de acordo com o porte (arbórea ou rasteira) e forma (conífera, perenifólia etc.).

Para extrair informações sobre o ambiente urbano, as técnicas de processamento digital de imagens detalham mais a categorização dos alvos urbanos. Esta nova geração representa uma revolução tanto em termos de métodos de processamento de imagens, bem como no nível de detalhamento do cenário urbano a ser extraído a partir das mesmas, possibilitando formas promissoras de exploração do universo intra-urbano e ampliando os horizontes de aplicações do Sensoriamento Remoto com fins ao Planejamento Físico-Territorial e Ambiental.

Com a falta de planejamento urbano adequado e com a ausência de grandes áreas verdes no interior das cidades, modifica-se o balanço de energia havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e, conseqüentemente, a formação de ilhas de calor. A emissão de radiação de ondas longas ocorre na faixa do infravermelho termal, onde o comprimento de onda de máxima exitância radiante de um corpo, a uma dada temperatura, pode ser descrita pela lei de Wien. É nesta faixa do espectro eletromagnético, correspondente a 10,4 e 12,5 μm , que os sensores captam a radiação dos corpos terrestres e que permitem ao usuário de dados provenientes de satélites a obtenção da temperatura da superfície.

O software de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING, 1996) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A etapa de processamento de dados se utilizou do LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) implementada no SPRING.

As imagens utilizadas neste trabalho são provenientes do satélite LANDSAT 7 sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que possui 8 bandas, sendo 1 banda pancromática (banda 8), 6 bandas multiespectrais (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e 1 banda no termal (banda 6). Com resoluções espaciais nominais de 15m, 30m e 60m respectivamente. Essas imagens foram georeferenciadas e corrigidas atmosféricamente (com exceção da banda no termal) pelo Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum – 6S (VERMOTE, 1997).

Para a obtenção da temperatura da superfície foi necessária a transformação do sinal digital proveniente do satélite em radiância a qual foi convertida em temperatura como descrito no Landsat 7 User's Handbook pelas fórmulas a seguir:

$$L = \left\{ \left[\frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(NC_{\max} - NC_{\min})} \right] * (NC - NC_{\min}) \right\} + L_{\min} \quad (1)$$

$$Temp(^{\circ}C) = \left\{ (1282.71) / \ln \left[\frac{666.09}{L} + 1 \right] \right\} - 273.15 \quad (2)$$

Onde Lmax e Lmin representa o valor de máxima e mínima radiância escalonados pelo sensor (encontrado geralmente no arquivo descritor das imagens), NCmax representa o nível de cinza máximo, NCmin representa o nível de cinza mínimo, NC representa o nível de cinza de cada pixel da imagem, 1282.71 (K1) e 666.09 (K2) são constantes de calibração para a banda referente ao termal encontradas no Landsat 7 User's Handbook.

Com base nessas informações, procedeu-se com a distinção do uso e ocupação do solo na região metropolitana de São Paulo, classificados supervisionadamente e aplicado o método MAXVER (Máxima Verossimilhança), obtendo-se total de área para cada classe de: Floresta (3381.10 km²), Herbáceos (2093.11 km²), Hidrografia (174.03 km²), Solo Exposto (14.46 km²) e Urbano (1899.32 km²), como demonstrado pela fig. I:

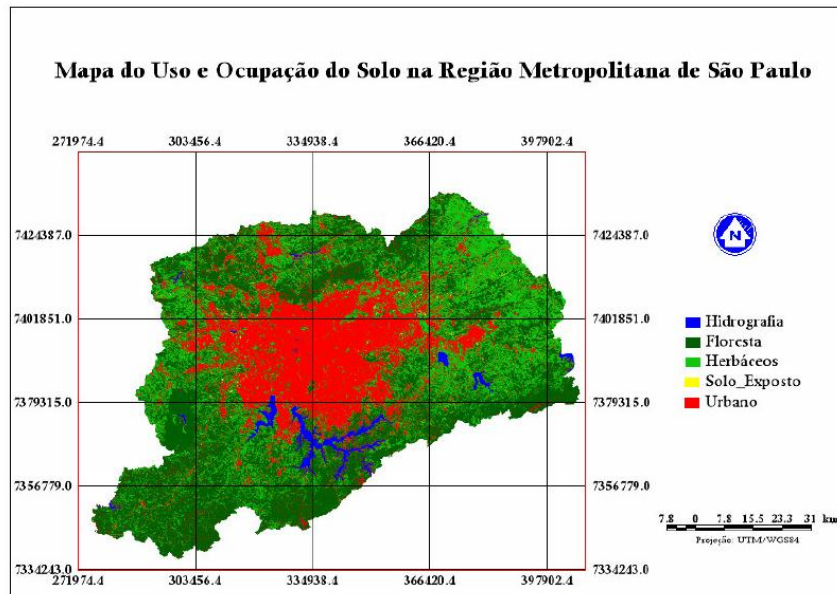


Figura 1 – Mapa do uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de São Paulo (25/05/2003)

Fonte: PEREIRA et al (2006)

Nota-se que grande parte da região metropolitana pertence à classe urbana (25,11% do total da área), sendo que atualmente a região metropolitana de São Paulo conta com mais de 17 milhões de habitantes. Na área urbana criam-se condições específicas na atmosfera, responsáveis pela mudança no clima. Essas especificidades como, por exemplo, as construções, a orientação das ruas, a circulação de veículos, os tipos de materiais urbanos e as atividades humanas, alteram o balanço de radiação, interferindo na absorção, reflexão e emissão da radiação.

O efeito “ilha de calor” pode ser considerado como um dos atributos básicos do clima urbano (MONTEIRO, 1990). Caracterizado como uma anomalia térmica, que possui dimensões horizontais (extensão), verticais e temporais, este efeito está intimamente relacionado com o tamanho da cidade, a quantidade de construções, uso do solo, com o clima e com as condições meteorológicas daquele dado lugar (OKE, 1982). Sendo assim, a ilha de calor configura-se como um “fenômeno que associa os condicionantes derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geocológicos” (LOMBARDO, 1985).

No dia da passagem do satélite LANDSAT 7 (25/05/2003) as condições meteorológicas demonstravam grande estabilidade atmosférica, céu sem nebulosidade e

a circulação atmosférica em mesoescala dominada pela massa de ar polar atlântica (mPa), que ocasiona à superfície uma temperatura amena.

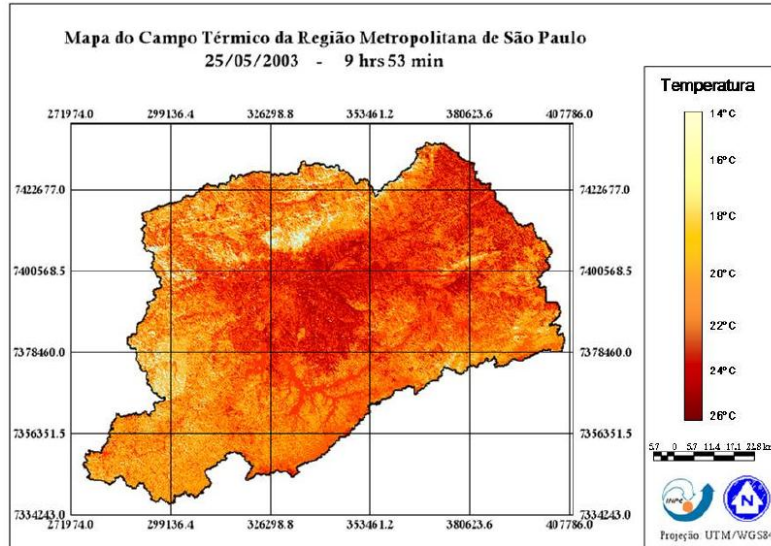


Figura 2 – Mapa do Campo Térmico para a Região Metropolitana de São Paulo para o dia 25/05/2004 às 09hrs e 53 min

Fonte: PEREIRA et al (2006)

Na fig. II fica caracterizado o acentuado contraste de temperatura entre áreas de vegetação e áreas urbanas. Em alguns casos enquanto que a temperatura na vegetação mais densa (no caso das florestas) chegava a 16°C a temperatura no centro de São Paulo atingia até 28°C. Isto acarreta aos moradores certo desconforto térmico, interferindo na qualidade do ar e prejudicando a qualidade de vida da população.

Em São Paulo, os espaços verdes deverão ser mantidos e alargados com um adequado planejamento com vista a potencializar a sua utilização, reduzindo assim possíveis aspectos negativos que ocorrem no tecido urbano.

A priorização da implantação da vegetação nas diversas áreas da cidade demanda um critério de avaliação para áreas mais carentes, oferecendo assim as possibilidades de atividades de lazer àquela população.

Considerações finais

Visando o estudo da vulnerabilidade às alterações climáticas em áreas urbanas, a análise e o diagnóstico da Região Metropolitana de São Paulo pode ser delineada com

base no conhecimento inter-multi-disciplinar com utilização de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Os impactos das mudanças climáticas globais, considerando-se aqueles relacionados a degradação de ecossistemas, problemas de saúde, consumo de energia e água, são exacerbados em áreas urbanas.

O presente trabalho apresenta alguns resultados que podem auxiliar na identificação de algumas alterações que ocorrem nos espaços metropolitanos de São Paulo no que concerne a modificação do balanço de energia devido às atividades humanas.

Em conseqüência, a sub-superfície, a superfície e o ar circundante registram temperaturas mais elevadas nas cidades do que nas áreas circundantes.

As cidades são as maiores fontes de gases de efeito estufa e, assim, contribuem indiretamente para o aquecimento global.

As conseqüências de mudanças globais nas cidades devem ser analisadas incluindo as variabilidades regionais e dependem da dinâmica climática e das situações sinóticas e tipos de tempo.

Os processos de adaptação às alterações climáticas são fundamentais para que se possam minimizar os efeitos negativos que se começam a sentir e se pensa poderem vir a agravar.

Deste modo, a participação ativa de agentes públicos e privados é fundamental. Uma estratégia de adaptação passa por um conjunto de medidas e políticas pensadas para minimizar um risco ou um conjunto de riscos resultantes dos impactos das alterações climáticas.

Um processo de avaliação dos impactos é multi-setorial e integrada, uma vez que envolve o estudo da dinâmica interna das interações que se registram entre os diversos agentes expostos à mudança. A avaliação dos impactos das alterações climáticas a diferentes escalas constitui importante meio de informação e sensibilização do público, bem como dos agentes envolvidos para os problemas das alterações climáticas.

A escala urbana e metropolitana da vulnerabilidade e adaptação às alterações climáticas é pouco conhecida, muito embora o clima à escala urbana esteja sendo bastante estudado. Contudo os reflexos das mudanças climáticas globais no clima

urbano estão por estabelecer o que é fundamental para propor políticas de adaptação que permitam diminuir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e sociais destas áreas.

Este trabalho aponta para as vulnerabilidades e necessidades de adaptação em curto, médio e longo prazo para a região metropolitana de São Paulo e alerta para uma agenda política e de pesquisa que contribui para o planejamento urbano e regional, integrando os diferentes setores e dimensões do governo e assim, podendo dar respostas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Bibliografia

- ALCOFORADO, M. J. et al. (2005) - Contribuição para a sustentabilidade urbana: orientações climáticas para o planejamento e o ordenamento em Lisboa. Relatório elaborado para a CML.
- ALCOFORADO, M. J.; et al. (2008) - Estudos sobre Cidades e Alterações Climáticas. Centro de Estudos Geográficos, Área de Investigação de Geo-Ecologia, Universidade de Lisboa.
- ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H. (2005) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, versão electrónica,.
- ALMEIDA C. M. et al. (2006) - O Sensoriamento Remoto como Instrumental para o Mapeamento da Urbanização Dispersa. 1. Seminário Internacional sobre Urbanização Dispersa e Mudanças no Tecido Urbano. FAU-USP, São Paulo.
- ASSIS, E. S. (2000) - Impactos da Forma urbana na Mudança Climática: Método para Previsão do Comportamento Térmico e Melhoria de Desempenho do ambiente urbano. (Tese de doutorado apresentada à FAU/USP), São Paulo.
- BARNSLEY, M.J.; BARR, S. L. (1996) - Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 2, n. 8, p. 949-958.
- BELLEN, H. M. (2005) - Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV.
- BENZ, U. et al. (2004) - Multi- resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 58, p. 239-258.
- BRAZDIL, R; BUDÍKOVÁ, M. (1999) - An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, The Czech Republic. *Atmospheric Environment*, 33, 4211-4217.

- CRUTZEN, P. J. (2004) - New Directions: The growing urban heat and pollution "island" effect - impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38, 21, p. 3539-3540.
- CURTIS, L. et al. (2006) - Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environmental International*. Aug; 32 (6): p. 815-30.
- DONNAY, J. P.; BARNSELEY, M. J.; LONGLEY, P. A. (2001) - *Remote Sensing and Urban Analysis*. London: New Fater Lane.
- DUEKER, K. J.; HORTON, F. E. (1972) - Urban-change detection systems – remote-sensing inputs. *Photogrammetria*, v. 28, n. 3, p. 89&.
- FORESTI, C.; et al. (1973) - Preliminary studies of region around Brasilia using ERTS-1 images. *Relatório Técnico – RPE*.
- FORESTI, C. (1977) - Population and urban growth estimates using Landsat data. In: *Simpósio Internacional de Percepción Remota Aplicada a Demografia y Uso Actual da la Tierra*, 1., 1977. La Paz, Bolivia. *Anais...* La Paz: Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota (SELPER).
- FORESTI, C.; et al. (1980) - O uso da técnica de registro de imagens para o monitoramento do crescimento urbano. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 39, dez..
- GIVONI, B. (1998) - *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons, INC, 464p,.
- GRIMMOND, C.S.B. (2006) - Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, p.3-22.
- GUAY, L. (1991) - La dégradation de l'environnement et l'intitutionnalisation de sa protection. *Université Laval*, Septembre.
- HAALA; N.; BRENNER, K. (1999) - Extraction of buildings and trees in urban environments. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 54, n. 2-3, p. 130-137.
- HENDERSON; F. M.; XIA, Z-G. (1997) - SAR applications in human settlement detection population estimation and urban land use pattern analysis - A status report. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n. 1, p. 79-85.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001) - *Synthesis Report, Third Assessment Report* Cambridge University Press. Cambridge-UK. .
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007) - *Climate Change 2007*, Cambridge University Press.
- JOCHEN, S.; MANFRED, E. (2005) - A novel method for generating 3D city models from high resolution and multi-sensor remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 4, p. 683-698.

- KAHN, M. (2006) - Green Cities. Urban Growth and Environmental. Brookings Institution Press, Washington.
- KRASS, F. (2008) - Megacities as global risk areas. In: Urban Ecology, Springer.
- LEITE, M.A.F.P. (1994) - Destruição ou desconstrução? Editora Hucitec – FAPESP, São Paulo.
- LINDGREN, D. T. (1975) - Applications of remote sensing to monitoring of urban-growth. Review of Public Data Use, v. 3, n. 3, p. 2-6.
- LOMBARDO, M. A. (1985) - A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo, Hucitec, 244 p.
- LOMBARDO, M. A. (1995) - Qualidade ambiental e planejamento urbano : considerações de método. FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese (Livre Docência), 529 p..
- LOPES, A. (2003) - Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético. Dissertação de Doutorado apresentada a Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 375p.
- LOWRY, W. P. (1977) - Empirical estimation of urban effects on climate: A problem Analysis. Journal of Applied Meteorology, 16 (2), pp. 129 – 135.
- LUCAS, L. P. V. (2006) - Planejamento Estratégico com Participação. O Município no Século XXI : Cenários e Perspectivas (coord.) Silvia Regina da C. Salgado. CEPAM. Disponível em: <http://www.cepam.sp.gov.br/v8/cepam30anos/pdf/folhadeguarda.pdf> .
- MOLLER-JENSEN, L. (1990) - Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in landsat TM imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 56, n. 6.
- MONTEIRO, C. A. (1990) - A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um clima urbano. Geosul, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 80-114.
- MORRIS, C.J.G. ; SIMMONDS, I. (2000) - Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia, International Journal of Climatology, 20 (15).
- NELLIS, M. D.; et al. (1997) - Urban land use and morphology in a developing country using SPOT HRV data: Gaborone, Botswana. Geocarto International, v. 12, n. 1, p. 91-97.
- NIERO, M.; LOMBARDO, M. A.; FORESTI, C. (1982) - The use of Landsat data to monitor the urban growth of Sao Paulo Metropolitan area. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), 16., 1982. Buenos Aires. Proceedings... Michigan, EUA: ERIM.

- OKE, T. R. Boundary Layer Climates. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1987.
- OKE, T. R. (1982) - The energetic basis of the urban heat island. Quart. Journ. Roy. Met. Soc., 108, p. 1 – 24.
- PEREIRA, G. et al. (2006) - Identificação do Fenômeno de Ilhas de Calor para a Região Metropolitana de São Paulo Através de dados Provenientes do Satélite LANDSAT 7 ETM+. Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju - SE, 25 a 27 de outubro de 2006.
- ROSENZWEIG, C. et al (2004) - Mitigating New York City's Heat Island With Urban Forestry, Living Roofs, And Light Surfaces. Sixth Symposium on the Urban Environment, p.1-5.
- SIMPSON, J. E. (1994) - Sea breeze and local winds. Cambridge, Cambridge University Press.
- SHERWOOD, S. (2002) A microphysical connection amongbiomass burning, Cummulus Clouds, and Stratospheric Moisture. Science, 295 (5558): 1272-1275.
- SLATER, P. N. (1980) - Remote sensing, optics and optical systems. Boston, MA: Addison-Wesley Pub. Co..
- STONE, B. Jr. (2005) - Urban Heath and Air Pollution. An Emerging Role of planners in the Climate Change Debate. Journal of the American Planning Association, 71 (1), 13-25.
- SOLBERG, R.; et al. (1990) - Detection of urban areas by interference filtering. In: Remote Sensing for the Nineties, Annual International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10., 1990. Washington, DC. Proceedings... . Washington, DC: IGARSS. p. 20 – 24.
- SPRING. (1996) - Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Souza R.C.M., Freitas U.M., Garrido J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun.
- SPRONKEN-SMITH, R. A; OKE, T.R. (1998) - The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing, 19: 2085-2104.
- TANAKA, S. et al. (1999) - RADARSAT and TM data fusion for urban structure analysis. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 1.
- TOLMASQUIM, M. T. (2001) - Estrutura conceitual para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Brasil. In: GARAY, I.; DIAS, B. Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais. Petrópolis: Vozes, p.68-75.

VERMOTE, E. F; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE J. J.
(1997) - Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An
overview. IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens. 35; 3, pp. 675- 686.