

IMPACTOS NA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA LOCAL DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS E VIZINHANÇAS

Daniela de A. França¹, Nelson Jesus Ferreira¹, Saulo R. de Freitas¹

RESUMO: Nas últimas décadas, houve uma significativa mudança de uso e cobertura da terra em municípios da Região Administrativa de São José dos Campos – SP e em áreas adjacentes, principalmente, devido ao crescimento urbano e industrial. Este trabalho visa analisar as implicações decorrentes destas mudanças na circulação atmosférica. Para tal, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e de modelagem atmosférica, a fim de detectar as modificações ocorridas na superfície e analisar seus impactos na circulação atmosférica local. Os resultados mostram a ocorrência de variações expressivas na paisagem entre a década de 1970 e 2004 e que as mesmas são capazes de modificar as condições meteorológicas numa escala local, destacando-se a contribuição da implantação de reservatórios na geração de microclimas.

ABSTRACT: In the last decades a significant land use/land cover change has occurred in São José dos Campos – SP and adjacent areas, mostly due to the associated urban and industrial growth. The objective of the current study is to analyze climatic implications caused by these changes. Remote sensing and atmospheric modeling techniques were used to detect alterations in surface and to investigate the impact of surface changes on the local atmospheric circulation. The results show significant changes in landscape between 1970s and 2004 and that these changes were able to modify the atmospheric conditions in a local scale. The main observed climatic variations were caused by artificial lakes.

Palavras-Chave: mudanças de uso e cobertura da terra, impactos climáticos, modelagem atmosférica.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve uma significativa mudança de uso e cobertura da terra em municípios da Região Administrativa de São José dos Campos – SP e vizinhanças, principalmente, em virtude da aceleração dos processos de urbanização e industrialização. No entanto, transformações como as que vêm ocorrendo nesta região, como o aumento da urbanização, a mudança do tipo de cobertura vegetal e a construção de reservatórios, dentre outras, seriam capazes de ocasionar também alterações no seu clima. Assim, existe a necessidade de aprimorar o conhecimento científico sobre o impacto dessas mudanças no clima a nível local e regional. Além disso, a disponibilidade de informações deste tipo também é de grande importância para o planejamento urbano, agrícola e industrial.

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil, (12) 3945-6437,
daniela@cptec.inpe.br, nelson@cptec.inpe.br, sfreitas@cptec.inpe.br

Neste contexto, a modelagem atmosférica pode oferecer uma importante contribuição, na medida em que esta técnica nos permite antever possíveis cenários de modificações climáticas associados à atuação antrópica. No entanto, os modelos globais são limitados para estudos a respeito da vulnerabilidade climática local e regional, devido a sua pobre resolução, que os impede de simular adequadamente as variáveis climáticas nas escalas de maior complexidade da paisagem. Sendo, então, necessário para este fim o uso de modelos atmosféricos de mesoescala, de alta resolução, que incorporem as interações superfície terrestre - atmosfera (Stohlgren et al., 1998).

O objetivo deste trabalho é detectar as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas nesta região, comparando as características da década de 1970 com a de 2000, e analisar as suas implicações na circulação atmosférica local. Deste modo, o presente estudo busca atender às necessidades abordadas anteriormente, ao tratar de questões ligadas às mudanças de uso e cobertura da terra nesta localidade e seus impactos climáticos, por meio de simulações climáticas feitas com alta resolução espacial, visando colaborar na busca pelo entendimento das relações entre a sociedade e o meio e, assim, servir como um subsídio ao direcionamento das intervenções feitas pelo poder público, no que se refere às políticas de gestão e planejamento urbano e regional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos, utilizou-se uma metodologia que envolveu inicialmente o uso de técnicas de sensoriamento remoto (classificação do uso e cobertura da terra) e de modelagem atmosférica (uso de modelo de previsão numérica de tempo). Desta forma, foram usadas imagens MSS e TM de satélites da série LANDSAT, de dois períodos distintos (década de 1970 e 2004), da região enfocada neste trabalho e detectar as modificações ocorridas na superfície. As imagens classificadas, por meio do algoritmo de classificação automática pixel a pixel MAXVER (método estatístico de Máxima Verossimilhança), foram empregadas na etapa de detecção de mudanças, realizada através da comparação pós-classificação. Elas também foram incorporadas na versão operacional do BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*), modelo atmosférico de mesoescala disponível no CPTEC, para a realização de simulações em alta resolução sobre esta região, que abrange parte do Vale do Paraíba, a fim de analisar com maior detalhamento o impacto atmosférico destas mudanças.

A etapa que diz respeito à simulação atmosférica foi realizada por meio da utilização do modelo BRAMS, desenvolvido a partir da versão mais recente do modelo RAMS com várias inovações, tanto no aspecto de parametrizações quanto no numérico. Este foi criado na Universidade do Estado do Colorado e corresponde a um modelo numérico em diferenças finitas, apropriado para simular os movimentos da atmosfera em várias escalas (Walko et al., 2000). Ele resolve o sistema de equações não-hidrostático totalmente compressível, descrito em Tripoli e

Cotton (1982), que possibilita a simulação de nuvens em qualquer escala, e é equipado com um sistema de múltiplas grades aninhadas, o qual corresponde a uma de suas maiores vantagens, pois permite a simulação de sistemas de diferentes escalas espaciais simultaneamente, por meio da retro-alimentação entre elas.

Para a obtenção dos campos meteorológicos, esse modelo foi configurado com três grades aninhadas. A grade maior possui espaçamento horizontal de 20 km entre os pontos de grade nas duas direções, cobrindo a região situada entre as latitudes de 25,922°S a 20,522°S e longitudes de 52,297°W a 42,693°W. A intermediária tem resolução de 4 km e compreende a região localizada entre as coordenadas 24,066°S a 22,23°S e 46,932°W a 44,553°W. Enquanto que a de maior resolução apresenta um espaçamento da ordem de 1 km entre os pontos de grade, sendo suas dimensões limitadas pelas coordenadas 23,658°S a 22,785°S e 46,33°W a 45,08°W (Figura 1).

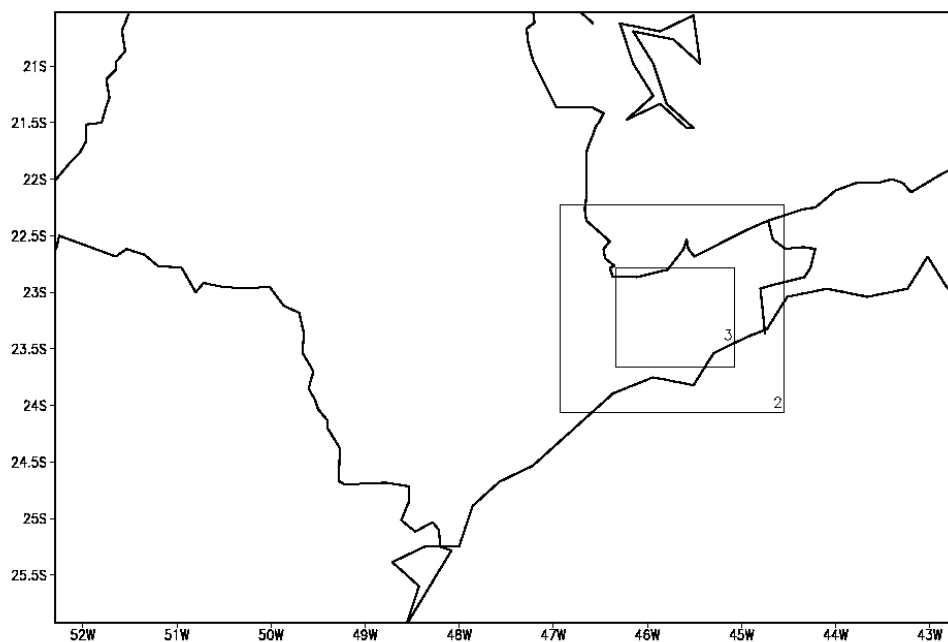


Figura 1 – Domínios das grades aninhadas do modelo BRAMS: 1, 2 e 3, com resolução de 20km, 4km e 1km, respectivamente.

Como dados de entrada do modelo, utilizaram-se: as reanálises do modelo de previsão numérica de tempo do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), disponibilizadas pelo *Climate Diagnostics Center* (CDC), com resolução de 2,5° de latitude e longitude; arquivos de topografia, uso da terra e porcentagem de terra e água, fornecidos com o código fonte do modelo, cuja resolução é de aproximadamente 1 km; e as imagens classificadas da década de 1970 e de 2004, com a mesma resolução espacial.

As reanálises do NCEP empregadas no BRAMS correspondem às variáveis temperatura do ar (K), altura geopotencial (m), umidade relativa (%), vento zonal (m/s) e vento meridional (m/s), em até 15 níveis de pressão, e ao período de 1/8/2004 a 15/8/2004. Optou-se pelo uso de dados que foram analisados de 6 em 6 horas (00Z, 06Z, 12Z e 18Z), numa situação sinótica mais estável,

visando evitar o predomínio da forçante sinótica. O modelo foi inicializado às 00:00 UTC do dia 1/8/2004, assimilando-se estas reanálises como condições iniciais e de contorno nas laterais e topo a cada 6 horas. O centro do domínio recebeu a influência destas somente no tempo inicial. A partir de então, foi deixado livre para que as características regionais do modelo pudessem atuar.

Duas simulações foram realizadas, levando em consideração as características atuais e de trinta anos atrás do terreno. Entretanto, ambos os Experimentos foram rodados com as mesmas condições atmosféricas (agosto de 2004), a fim de verificar a real influência da mudança de cobertura da superfície no clima. As simulações geraram análises horárias, das 00Z do dia 1/8/2004 até às 00Z de 16/8/2004, para 29 variáveis, em até 30 níveis verticais da atmosfera (de 48,8 a 13.479 metros).

Neste trabalho, são apresentados alguns dos resultados gerados pela grade 3, com maior resolução, no período compreendido entre 00Z de 8/8/2004 e 23Z de 15/8/2004. As variáveis enfocadas correspondem à temperatura do ar e ao vento.

RESULTADOS

No que se refere à classificação do uso e da cobertura da terra, os resultados obtidos indicaram a ocorrência de variações expressivas na paisagem ao longo destes trinta anos, como o crescimento de áreas com cobertura florestal, uso urbano e corpos d'água e a diminuição de áreas úmidas, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de área ocupada pelas classes temáticas apresentadas nas imagens classificadas da década de 1970 e de 2004.

Classes temáticas	Área em 1970	Área em 2004
corpos d'água	2,76%	4,00%
uso urbano	2,25%	3,84%
reflorestamento	0,88%	5,34%
cultura/pastagem	55,77%	50,15%
mata	30,09%	34,14%
cerrado/outros	6,70%	0,05%
áreas úmidas	0,92%	0,49%
solo exposto	0,63%	1,99%

Em termos das comparações da circulação atmosférica (décadas de 1970 e 2000) utilizando-se o BRAMS, observa-se uma significativa alteração da temperatura do ar (a 48,8m da superfície), de um período para o outro, principalmente sobre as áreas onde foram implantados os reservatórios de Paraibuna e Jundiá e redondezas. A Figura 2 ilustra os campos das diferenças de temperatura entre as médias das 12:00 às 18:00 (hora local) e das 00:00 às 06:00. No período da tarde, destaca-se o resfriamento sobre estas áreas. Por outro lado, à noite, observa-se um aquecimento; essas características também influenciam as áreas vizinhas. Isto ocorre, sobretudo, devido à advecção

térmica pelos ventos dominantes que se deslocam sobre as represas e captam delas calor e umidade, transportando-os para estas localidades.

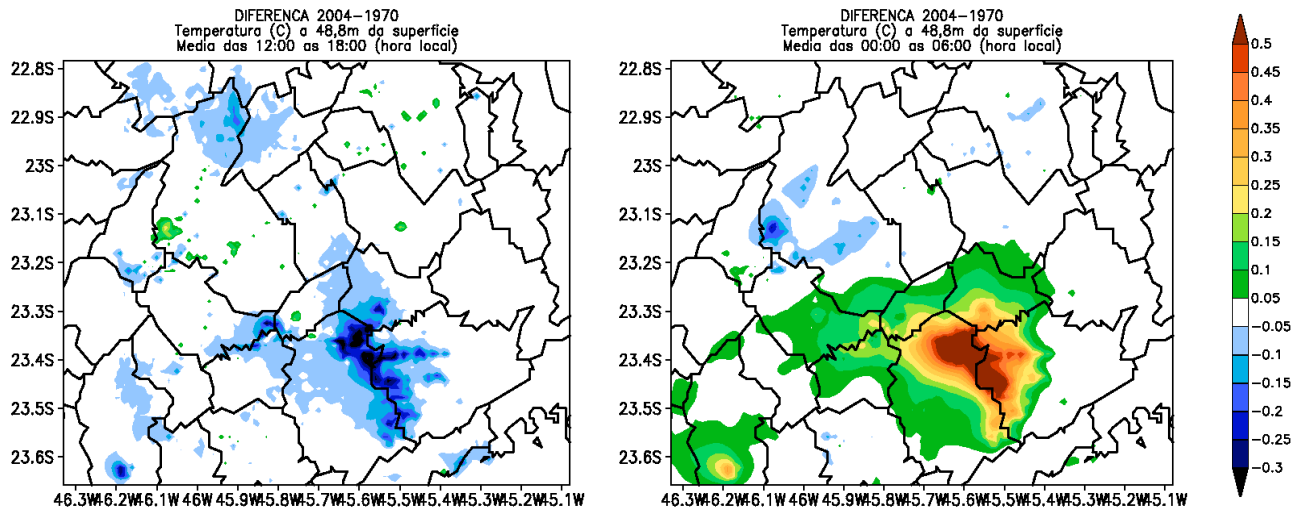


Figura 2 – Campos das diferenças (2004-1970) entre as médias das 12:00 às 18:00, à esquerda, e das 00:00 às 06:00 (hora local) da temperatura, a 48,8m da superfície.

No município de São José dos Campos, em especial, esses campos apontam a ocorrência de um resfriamento no centro e a nordeste, e de aquecimento na sua porção sul. A diminuição dos valores da temperatura, na parte da tarde, está relacionada ao aumento da cobertura florestal nas proximidades da sua divisa com Monteiro Lobato. Enquanto que o resfriamento na várzea do rio Paraíba do Sul, no período noturno, se deve à diminuição de áreas úmidas neste local, uma vez que essa mudança de cobertura resulta também na alteração do calor específico da superfície, o qual regula a sua amplitude térmica. Na década de 1970, estas áreas possuíam maior quantidade de água no solo e, conseqüentemente, maior calor específico, fazendo com que estas permanecessem mais aquecidas à noite. Observa-se, ainda, a influência do reservatório de Paraibuna no aquecimento do extremo sul do município, devido ao deslocamento do ar mais quente da represa pelos ventos, em direção a esta área.

Além disso, o crescimento da área urbana em São José dos Campos, que foi predominante em direção às zonas sul e leste, acarretou num incremento da temperatura do ar próximo à superfície em algumas áreas, em virtude da substituição de uma cobertura do tipo pastagem pela urbana, que casou a elevação do fluxo de calor sensível nestas localidades e, conseqüentemente, da temperatura.

Com relação ao vento, o principal contraste existente entre os dois Experimentos realizados refere-se ao aumento da sua velocidade sobre o reservatório de Paraibuna, na simulação com a cobertura de 2004, em decorrência da diminuição da rugosidade da superfície provocada pelo alagamento desta área, conforme indicam os campos das diferenças entre as médias das 12:00 às 18:00 e das 00:00 às 06:00 (hora local), ilustrados na Figura 3. A inundação deste terreno também alterou a distribuição dos fluxos de energia em superfície, em virtude de alterações no albedo, na capacidade calorífica e na rugosidade do solo, por exemplo. A modificação da cobertura da terra faz

com que as propriedades físicas das superfícies inundadas se tornem distintas daquelas das áreas não-inundadas, resultando em diferenças entre as trocas de energia destas superfícies com a atmosfera e, conseqüentemente, entre a temperatura do ar sobre a água e a temperatura do ar acima do terreno vizinho (Correia, 2001). Este aquecimento diferencial existente entre o corpo d'água e a porção continental, no período noturno, causado pela maior capacidade de armazenamento de calor pelo primeiro, gera um gradiente de pressão que origina a uma circulação forçada termicamente, na qual os ventos próximos à superfície são atraídos em direção à área de baixa pressão sobre o reservatório.

A diminuição da intensidade dos ventos sobre o reservatório, à noite, pode ser explicada pela mistura turbulenta do ar acima deste, provocada pelas maiores temperaturas do corpo d'água neste período. A mistura turbulenta ocorre devido ao movimento ascendente do ar mais quente, próximo à superfície, em direção às camadas atmosféricas superiores, que causa grandes turbilhões na atmosfera. Ela diminui a magnitude do vento nesta localidade por transportar para cima as parcelas de ar com menores velocidades horizontais.

CONCLUSÕES

Os resultados abordados neste trabalho mostraram que as técnicas utilizadas de sensoriamento remoto e de modelagem atmosférica constituíram-se como importantes ferramentas para o acompanhamento das transformações do uso e cobertura da terra, ocorridas em municípios da Região Administrativa de São José dos Campos – SP e vizinhanças, comparando-se as décadas de 1970 e 2000, e para a investigação dos seus impactos na circulação atmosférica local. A comparação feita entre os Experimentos representativos das duas décadas permitiu concluir que as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas na área analisada modificaram essencialmente os campos de temperatura e vento na represa de Paraibuna e vizinhanças, tendo impacto inclusive em São José dos Campos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Correia, M. de F. **Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do rio São Francisco: um estudo numérico e observacional**. 2001. 181p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- Stohlgren, T. J.; Chase, T. N.; Pielke, R. A.; Kittel, T. G. F.; Baron, J. S. Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation, and stream flow patterns in adjacent natural areas. **Global Change Biology**, v. 4, n. 5, p. 495-504. 1998.
- Tripoli, G. J.; Cotton, W. R. The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments, **J. Rech. Atmos.**, 16, p. 185-219. 1982.
- Walko R.; Band L.; Baron J.; Kittel F.; Lammers R.; Lee T.; Ojima D.; Pielke R.; Taylor C.; Tague C.; Tremback C.; Vidale P. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **J. Appl. Meteorol.**, v. 39, n. 6, p. 931-944. 2000.