

Deteção de mudanças do uso e cobertura da terra em São José dos Campos – SP e vizinhanças e avaliação dos seus impactos no clima local

Daniela de Azeredo França
Nelson Jesus Ferreira
Saulo Ribeiro de Freitas

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 01 – 12630-000 – Cachoeira Paulista – SP, Brasil
{daniela, nelson, sfreitas}@cptec.inpe.br

Abstract. Significant land use/cover changes has occurred in São José dos Campos – SP and adjacent areas in the last decades, mostly due to the associated urban and industrial growth. The objective of the current study is to detect and evaluate these changes and to analyze its climatic implications. Remote sensing and atmospheric modeling techniques were used to detect alterations in landscape and to investigate the impact of surface changes on the local atmospheric circulation. The results showed important changes in landscape between 1970s and 2004, such as the increase in urban area, building of new reservoirs and modifications on the vegetal canopy, and that these changes were able to modify the atmospheric circulation in a local scale. Also these results have shown that the combined use of remote sensing and climatic modeling products is very useful for detection and assess of land use/land cover change and to study the local climate.

Palavras-chave: land use/cover changes, change detection, climatic impacts, mudanças de uso e cobertura da terra, detecção de mudanças, impactos climáticos.

1. Introdução

A aceleração dos processos de urbanização e industrialização em São José dos Campos – SP e áreas vizinhas, nas últimas décadas, tem intensificado as mudanças de uso e cobertura da terra na região. No entanto, transformações como estas seriam capazes de ocasionar alterações no seu clima. Sendo assim, existe a necessidade de aprimorar o conhecimento científico sobre o impacto dessas mudanças no clima a nível local e regional.

A disponibilidade de informações deste tipo também é de grande importância para o planejamento urbano, agrícola e industrial. Deste modo, o diagnóstico da evolução do uso da terra e suas implicações climáticas é essencial para orientar a tomada de decisões, tanto da administração municipal, quanto regional ou estadual, no que diz respeito ao direcionamento da aplicação dos recursos e na elaboração de políticas de desenvolvimento, a fim de se alcançar melhores gestão e planejamento para a região em questão.

Neste contexto, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto se mostra fundamental, na medida em que os bancos de dados gerados através do uso de satélites correspondem a uma importante fonte de informações acerca dos diversos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sendo essencial para ajudar a entender as dinâmicas dos processos de mudanças no uso e na cobertura da terra, assim como seus impactos sócio-ambientais. Além disso, esta tecnologia permite conseguir dados de áreas muito extensas em intervalos de tempo regulares, possibilitando a obtenção de informações espaciais e temporais dos mais diversos alvos existentes na superfície terrestre e fornecendo uma importante contribuição para estes estudos.

Este trabalho busca atender a estas necessidades, uma vez que tem como objetivo detectar e avaliar as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas em São José dos Campos e vizinhanças, entre as décadas de 1970 e 2000, e analisar as suas implicações climáticas, por

meio de dados dos sensores MSS e TM-LANDSAT e de simulações climáticas executadas com o modelo atmosférico BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*).

2. Área de Estudo

A área escolhida para a realização da detecção de mudanças, de aproximadamente 10.000km², está localizada no leste do estado de São Paulo entre as latitudes -22°47' e -23°40' e longitudes -46°11' e -45°16', como ilustrado na **Figura 1**. Esta área teve seu tamanho um pouco aumentado no sentido leste-oeste, na etapa referente às simulações atmosféricas.

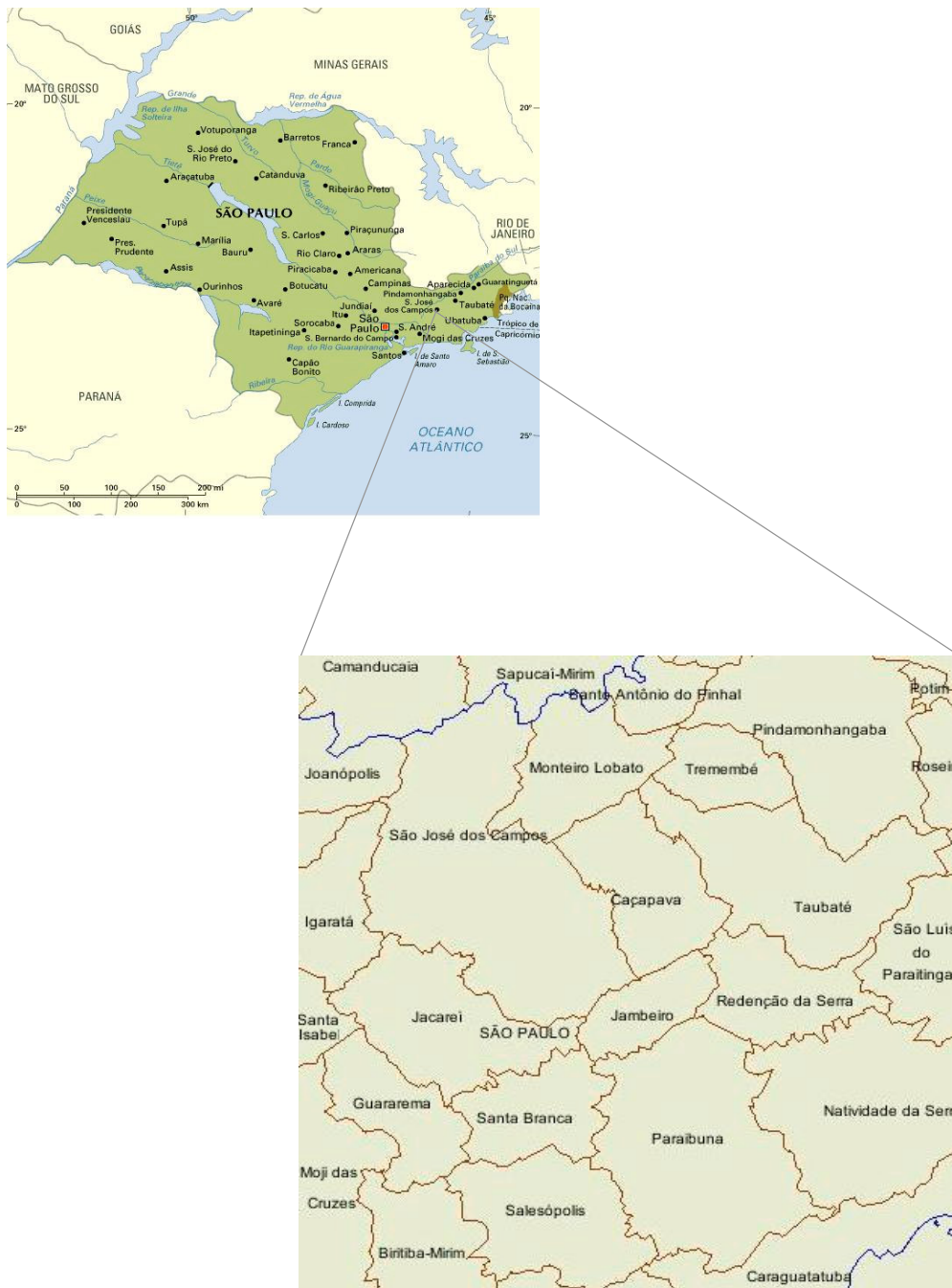


Figura 1 – Localização da área de estudo.

3. Materiais e Métodos

Foram utilizadas neste estudo imagens orbitais representativas das décadas de 1970 e 2000. Optou-se pelo uso de imagens de satélites da série LANDSAT devido ao banco de dados históricos obtido pelos sensores MSS e TM nos últimos trinta anos, o qual representa uma importante fonte de informações a respeito da área de estudo. Assim, foram selecionadas imagens LANDSAT-1 (MSS) – de 11/7/1973 e de 12/10/1976, pertencentes a órbita/ponto 234/76 e 235/76, respectivamente – e LANDSAT-5 (TM): uma com órbita 219 e ponto 76, de 8/9/2004, e outra com órbita 218 e ponto 76, de 31/7/2004, para a identificação dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra na área de interesse. Prevaleceu a utilização daquelas geradas no inverno, em virtude da maior oferta destes produtos sem nuvens nesta época do ano.

No que se refere à escolha das bandas, como diferentes alvos se comportam de formas variadas em cada uma delas, foram escolhidas as que melhor os destacassem, tanto individualmente quanto em composições coloridas. Sendo assim, foram utilizadas, principalmente, as bandas 4, 5 e 7 do sensor MSS e 3, 4 e 5 do TM.

Como suporte à interpretação visual das imagens orbitais durante a etapa de classificação, utilizaram-se cartas topográficas de São José dos Campos e municípios vizinhos na escala 1:50.000, confeccionadas pelo IBGE e pelo IGGSP, cobrindo toda a área de estudo; carta topográfica de São José dos Campos de 1978 na escala 1:10.000, elaborada pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo; mapa de uso da terra do município de São José dos Campos de 1987 na escala 1:100.000, confeccionado pelo INPE; e dados originais do mapeamento da cobertura vegetal, de 2000, fornecidos pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, e das manchas urbanas, do trabalho realizado por Pereira et al. (2005). Também foram usadas imagens TM-LANDSAT (banda 4), de 29/2/2004 (órbita/ponto: 219/76) e 9/3/2004 (órbita/ponto: 218/76), e do satélite *Quickbird* de São José dos Campos, do dia 26/10/2003.

Foi realizado o pré-processamento das imagens MSS e TM, que compreendeu a correção atmosférica, o registro e o seu recorte. Em seguida, elas foram classificadas por meio do algoritmo de classificação automática pixel a pixel MAXVER (método estatístico de Máxima Verossimilhança). Produziram-se duas imagens classificadas, uma representativa da década de 1970 e outra de 2004. As classes temáticas adotadas para a etapa de detecção de mudanças, em ambas as imagens, foram: corpos d'água, uso urbano, reflorestamento, cultura/pastagem, mata, cerrado/outros, áreas úmidas e solo exposto.

A classificação das imagens mais antigas foi feita com base nas cartas topográficas do IBGE e do IGGSP, consideradas como verdade terrestre para aquele período. Como estas fontes de informação não foram atualizadas, consultaram-se dados mais recentes da cobertura da superfície para a classificação das imagens orbitais de 2004. Houve, também, a necessidade de comparação visual com imagens de alta resolução espacial do satélite *Quickbird* e idas a campo. Deste modo, foram utilizadas diferentes fontes de informação para a classificação das imagens representativas das décadas de 1970 e 2000. No entanto, é importante ressaltar que as mesmas correspondem a fontes confiáveis, na medida em que foram produzidas por instituições capacitadas para este fim.

As imagens classificadas foram usadas na etapa de detecção de mudanças, realizada por meio da comparação pós-classificação, que é desempenhada através da análise comparativa de duas imagens classificadas (produzidas independentemente), pertencentes a dois períodos distintos, e na qual pares de diferentes classes são utilizados para indicar as áreas com alterações (Medeiros, 1987; Singh, 1989; Mas, 1999). Optou-se pelo uso desta técnica a fim de aproveitar as imagens classificadas para a etapa de modelagem climática e devido a este método ser menos sensível às variações espectrais dos alvos nas diferentes épocas do ano, pois aquelas classes que apresentam diferenças muito grandes quanto a sua assinatura

espectral, entre as imagens de cada data, podem ser mantidas dentro da mesma classe correspondente ao seu uso/cobertura da terra. Visando tornar possível a comparação das duas imagens multitemporais, na etapa de detecção de mudanças, foi feita a degradação da imagem TM quanto a sua resolução espacial, passando esta a obter uma resolução de 80m, como a MSS. Ela havia sido classificada com a sua resolução original de 30m, devido à possibilidade de se alcançar um maior detalhamento e, assim, um resultado mais realístico.

Estas imagens classificadas também foram incorporadas na versão operacional do BRAMS, modelo atmosférico de mesoescala disponível no CPTEC (veja www.cptec.inpe.br/brams), para a realização de simulações climáticas em alta resolução sobre o vale do Paraíba e vizinhanças. Elas foram empregadas nesta etapa do trabalho, a fim de tornar a cobertura da terra no modelo mais próxima da realidade, em virtude de seus dados corresponderem aos períodos de interesse e possuírem uma melhor resolução espacial, já que os dados originais de cobertura da superfície do modelo para esta área, com resolução espacial de 1km, eram referentes ao início da década de 1990. No entanto, suas resoluções espaciais foram degradadas para 1000m, para que fossem utilizadas no modelo. Nesta etapa, a classe capoeira foi mantida na imagem de 2004 para se obter um resultado mais preciso, devido ao fato de haver diferenças, quanto à atuação climática, entre mata e capoeira. A inclusão desta classe na imagem do período mais recente foi possibilitada pelo fato dela ter sido apresentada separadamente da classe mata, na fonte de informação consultada para a sua classificação.

Duas simulações foram realizadas, levando em consideração as características atuais e de trinta anos atrás do terreno. Ambos os experimentos foram produzidos com as mesmas condições atmosféricas (agosto de 2004), visando verificar a influência associada unicamente à mudança de cobertura da superfície no clima. As simulações geraram análises horárias, das 00Z do dia 1/8/2004 às 00Z de 16/8/2004, para 29 variáveis, em até 30 níveis verticais da atmosfera (de 49 a 13.500 m).

Foram analisadas as diferenças entre os resultados dos dois experimentos, para avaliar os impactos das transformações ocasionadas pelas atividades humanas sobre o clima de São José dos Campos e vizinhanças. Neste trabalho, são apresentados alguns dos resultados gerados, enfocando as variáveis temperatura do ar e componentes horizontais do vento.

4. Resultados

A comparação das imagens classificadas da década de 1970 e de 2004 (**Figura 2**) permitiu a observação das transformações da paisagem ao longo destes trinta anos. A classe corpos d'água, que ocupava uma área de 245,41 km² na década de 1970, sofreu um incremento de 116,68 km² (47,55%), tendo em 2004 uma área correspondente a 362,09 km². Este aumento se deve, principalmente, à construção de novos reservatórios na região. Contudo, a área total ocupada por esta classe é um pouco maior, uma vez que é possível que algumas áreas de mudança desta classe para outra, detectadas nas bordas das represas e ao longo dos rios, tenham sido causadas por pequenas diferenças quanto ao registro das imagens ou, ainda, devido à degradação da resolução espacial da imagem de 2004, após a sua classificação.

Do mesmo modo, a classe uso urbano apresentou, em 2004, valor superior em relação ao que tinha em 1970 – passando de 203,76 km² para 347,46 km² – como consequência de um aumento de 70,53% (equivalente a uma área de cerca de 143,71 km²) sofrido por esta classe durante o período analisado. Este incremento está relacionado ao processo de industrialização da região e ocorreu, principalmente, ao longo da rodovia Presidente Dutra, além das áreas litorâneas. Com relação ao município de São José dos Campos, por exemplo, as regiões Leste (em torno da Dutra) e Sul (em direção à rodovia Carvalho Pinto) obtiveram um maior crescimento, em relação à zona Norte, que apresentou um pequeno crescimento, devido a sua proximidade da Serra da Mantiqueira, cujo terreno acidentado atua como um fator inibidor

para a ocupação desta área. Observou-se, também, a presença de um vazio urbano no Banhado, por ser esta uma área de proteção ambiental. Também foram observadas áreas com a ocorrência de alterações desta classe para outras classes ao longo das estradas. Provavelmente, este fato deve ter sido causado pelo mesmo motivo que resultou na ocorrência de áreas de mudanças ao longo dos rios, por exemplo, na classe corpos d'água.

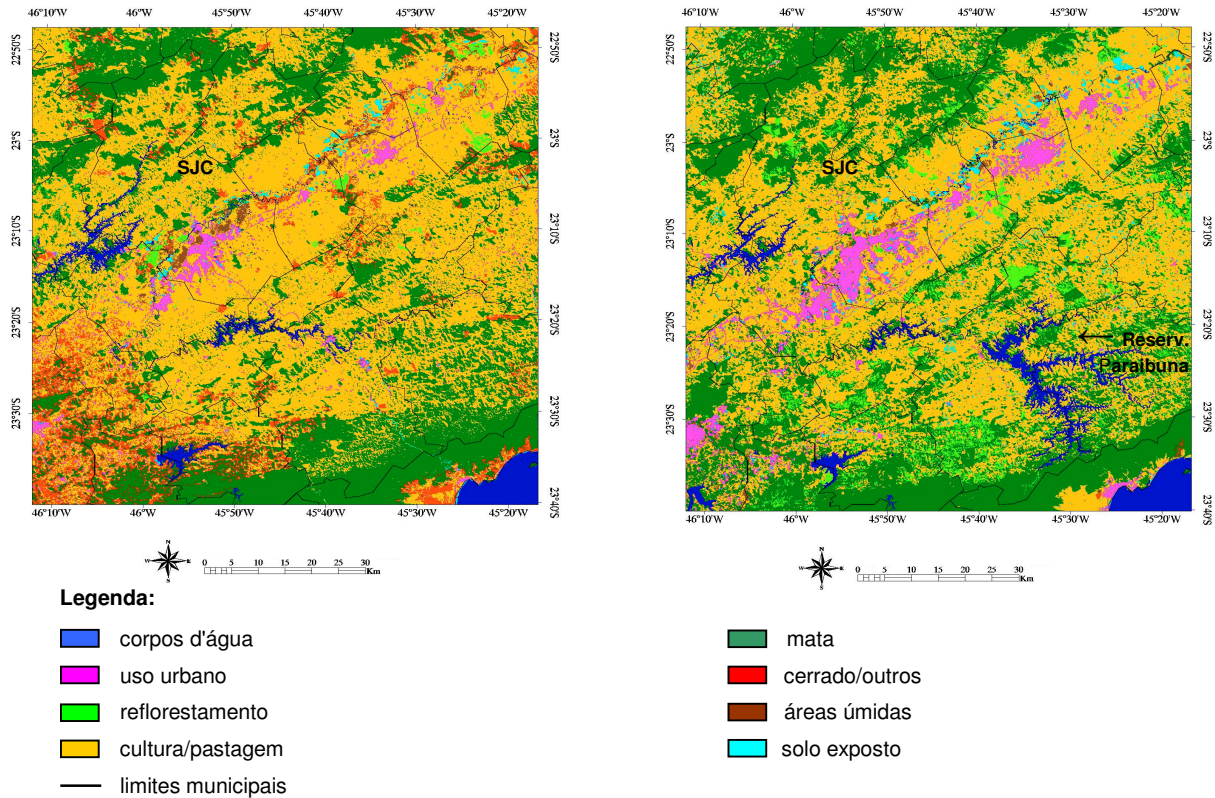


Figura 2 – Imagens classificadas da década de 1970 (à esquerda) e de 2004 (à direita), da região de São José dos Campos, utilizadas na etapa de detecção de mudanças.

Já a classe reflorestamento foi a que apresentou o maior crescimento no período, dentre todas as classes, pois teve a sua área aumentada de 79,50 km² para 483,76km² ao longo do período enfocado, uma vez que equivale a áreas que podem ser modificadas fortemente pela interferência antrópica, entre outros fatores (Lee et al.,1991).

A classe mata apresentou, igualmente, um incremento significativo de um período para o outro (equivalente a 13,66%). Em 1970, ocupava uma área de 2718,85 km², passando a obter uma área de 3090,20 km², em 2004. Este acréscimo tem também ligação com o fato de que muitas áreas que pertenciam à classe cerrado/outros, na imagem classificada da década de 1970, foram classificadas na imagem de 2004 como capoeira, incorporada à classe mata.

Devido à dificuldade de se separar, em alguns casos, mata e capoeira de áreas reflorestadas, pode-se fazer, ainda, uma verificação conjunta das mudanças com relação às áreas florestadas. Sendo assim, um aumento no total de áreas verdes (somando-se as classes mata, capoeira e reflorestamento) que na década de 1970 era equivalente a 2798,35 km², ocupando 3573,96 km² em 2004, também foi observado. Este acontecimento mostra a estabilização em relação aos índices referentes ao desmatamento e até mesmo o aumento das áreas de vegetação natural no estado de São Paulo, que têm ocorrido nos últimos anos (Kronka et al., 2005).

A classe cerrado/outros foi a que apresentou as maiores diminuições percentuais de uma época para a outra, com uma perda de 99,26% (598,68 km²) de sua área inicial. Este fato foi causado devido às mudanças no seu conteúdo de um período para o outro, pois não foram incluídas algumas formações vegetais intermediárias, denominadas Macega, presentes nesta classe na imagem classificada da década de 1970, além da diminuição efetiva das áreas de Cerrado, conforme constatado por Kronka et al. (2005), e de Restinga. Esta última observada, principalmente, nas áreas litorâneas, devido à ocupação antrópica.

A classe cultura/pastagem foi submetida a alterações significativas entre os dois períodos analisados, possuindo em 2004 área inferior do que a registrada na década de 1970. Sua diminuição está relacionada à intensificação das atividades antrópicas na região, caracterizada pela expansão de outros elementos na paisagem, tais como represas e áreas urbanizadas, juntamente com o aumento das áreas reflorestadas. Foi constatada a perda de 10,32% desta classe entre uma época e outra (equivalente a uma área de 522,51 km²). Apesar disso, nota-se nos relatórios a predominância desta classe em relação às demais, nos dois períodos.

Observou-se que a classe áreas úmidas também teve sua área diminuída (em 46,08%) de um período para o outro. Em 1970, ocupava uma área de 82,95 km², enquanto que em 2004 possuía 44,72 km². Houve maior redução desta classe na várzea do rio Paraíba do Sul. Sendo que a classe cultura/pastagem foi a que incorporou mais pixels (7916) que deixaram de pertencer àquela classe. Possivelmente, este fato tem relação com a diminuição das inundações do Paraíba, devido à construção de reservatórios. Por outro lado, foi possível visualizar, também, o aparecimento de novas áreas nesta classe na imagem de 2004, como o reservatório de Biritiba (localizado a leste do de Jundiá), que estava em fase de enchimento.

Ao contrário da anterior, a classe solo exposto teve sua área aumentada, de uma época para a outra, passando de 56,78 km² para 180,20 km². O acréscimo ocorrido nesta classe pode ter sido causado pelo número expressivo de portos de areia presente nas calhas do rio Paraíba do Sul, em 2004. Soma-se a este fato, a utilização da imagem TM, de melhor resolução espacial, para a caracterização do uso e cobertura da terra nas imagens deste período, que possibilitou, também, a identificação de alguns terrenos com características de solo exposto (devido a sua maior refletância espectral) nas áreas com pastagem seca ou vegetação em estágio fenológico inicial, por exemplo.

Foi verificada a ocorrência de áreas de mudança nas bordas de diversos elementos da paisagem, como ao longo de rios e estradas, em várias classes. Este fato pode estar relacionado às diferenças existentes entre os registros das imagens, pois apesar destes terem sido efetuados com erros de pontos de controle inferiores à metade de um pixel, é possível que os pixels não tenham a mesma localização. Além disso, a degradação da imagem de 2004 (de 30m para 80m) após a sua classificação, também pode ter contribuído para a ocorrência de algumas destas mudanças.

As mudanças no uso e cobertura da terra detectadas também exerceram influência na circulação atmosférica local. A comparação dos dois experimentos realizados (um representando a década de 1970 e outro a de 2000) mostra uma significativa alteração da temperatura do ar (a 49m 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 3** 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, nota-se o resfriamento relativo sobre estas áreas. Por outro lado, à noite, ocorre um aquecimento relativo. Observa-se, também, que estas características influenciam as áreas vizinhas. Isto se deve, sobretudo, à advecção térmica pelos ventos dominantes que se deslocam sobre as represas e captam delas calor e umidade, transportando-os para estas localidades.

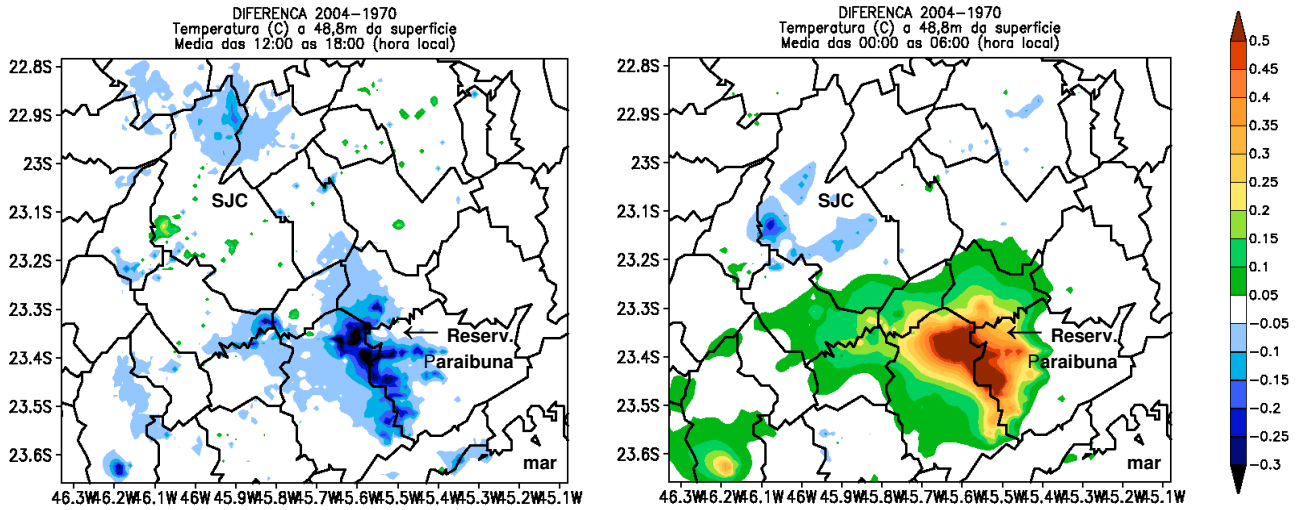


Figura 3 – Campos das diferenças (2004-1970) entre as médias das 12:00 às 18:00, à esquerda, e das 00:00 às 06:00 (hora local) da temperatura, a 48,8m da superfície.

No município de São José dos Campos, em especial, esses campos demonstram 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, que 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. Nota-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, observou-se o 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. Esta modificação da cobertura da terra também 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, gerou um gradiente de pressão que originou uma circulação forçada termicamente, na qual os ventos próximos à superfície são atraídos em direção à área de baixa pressão sobre a represa.

Além disso, foi verificada a diminuição da intensidade dos ventos na altura do reservatório, no período noturno, que 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,

diminuindo a magnitude do vento nesta localidade por transportar para cima as parcelas de ar com menores velocidades horizontais.

5. Conclusões

As imagens multitemporais dos satélites da série LANDSAT foram de grande utilidade para a detecção de mudanças na paisagem, provocadas sobretudo pela ação antrópica, uma vez que a sua análise permitiu identificar as áreas que sofreram alterações e os tipos de variações, bem como quantificar a sua extensão. Além disso, o emprego das imagens classificadas dos dois períodos, na etapa de simulações climáticas, como fontes de informação para o modelo BRAMS a respeito dos tipos de uso e cobertura da terra existentes em cada época na referida área, foi fundamental para a verificação das mudanças climáticas locais decorrentes de alterações na paisagem.

Os resultados também mostraram que as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas na área analisada ao longo destes trinta anos, como o aumento de áreas urbanas, a construção de novos reservatórios e a modificação da cobertura vegetal, por exemplo, foram capazes de influenciar a circulação atmosférica local, modificando essencialmente os campos de temperatura e vento na represa de Paraibuna e vizinhanças, havendo impacto inclusive em São José dos Campos.

Deste modo, constata-se a aplicabilidade do uso conjunto destes produtos de sensoriamento remoto e de modelagem climática, para a detecção e avaliação das mudanças de uso e cobertura da terra e análise de seus impactos no clima e, assim, para a gestão e o planejamento urbano e regional.

Agradecimentos

Este trabalho é parte da Dissertação de Mestrado da autora, elaborada no curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do INPE. Sendo assim, agradecemos aos professores, pesquisadores e demais funcionários desta instituição por todo auxílio prestado.

Referências

- Correia, M. de F. **Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do rio São Francisco: um estudo numérico e observacional**. 2001. 181 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.
- Kronka, F. J. N. et al. **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente / Instituto Florestal, 2005. 200 p.
- Lee, D. C. L.; Hernandez Filho, P.; Shimabukuro, Y. E. **Técnicas de detecção de mudanças no monitoramento de áreas reflorestadas utilizando dados TM/LANDSAT**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991. 33 p. (INPE-5230-RPE/645).
- Mas, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.1, p.139-152, 1999.
- Medeiros, J. S. de. **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS LANDSAT**. 1987. 127 p. (INPE-4123-TDL/262). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1987.
- Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.