ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO DA RESERVA DA BIOSFERA DO CINTURÃO VERDE DA CIDADE DE SÃO PAULO POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO

TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE EVOLUTION OF THE GREEN BELT BIOSPHERE RESERVE OF SÃO PAULO CITY THROUGH SATELLITE IMAGES OF REMOTE SENSING

Sandra Emi SATO[1]

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo analisar as transformações ocorridas no uso do solo da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo, entre os anos 1986 e 2010, utilizando imagens de satélite LANDSAT-5. Através de técnicas de processamento digital de imagens de satélite foram elaborados dois mapas temáticos. Dessa maneira, foi possível uma percepção global da distribuição dos diversos usos do solo na região, mostrando que as imagens de satélite são um bom instrumento no auxílio ao planejamento urbano.

Palavras-chave: Análise temporal. Uso do solo. Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo.

Abstract: This study aimed to analyze the changes occurring in land use of the Biosphere Reserve of the Green Belt of São Paulo City, between the years 1986 and 2010, using LANDSAT-5 images. Through the digital image processing techniques, two thematic maps were produced. Therefore, it was possible a global perception of the diverse land uses distribuition of the region, showing that the satellite images are a good instrument in the aid of the urban planning.

Keywords: Temporal analysis. Land use. Biosphere Reserve of the Green Belt of the São Paulo City.

1 - Universidade Guarulhos (UnG). E-mail: sesato@prof.ung.br

INTRODUÇÃO

A Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV) inclui, além da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) e vários outros municípios perfazendo um total de 73 municípios, conforme apresentado na figura 1. Esta região foi certificada pela UNESCO em 9 de junho de 1994, tem uma área total em torno de 17.600 km2, onde habitam 23 milhões de pessoas, mais de 10% da população nacional numa área equivalente a 2% do território do país e com grande importância econômica por representar quase 20% do PIB (RBCV, 2009).

Metodologicamente, a RBCV foi considerada neste trabalho por constituir o principal alvo da preocupação regional com os serviços da biosfera (sustentação, provisão, regulação, cultural e para a ciência), objetos da aplicação do método de Avaliação Ecossistêmica do Milênio (AEM).

A AEM foi solicitada pelo Secretário Geral das Nações Unidas, Kofi Annan, em 2000, mediante documento encaminhado à Assembléia Geral intitulado Nós, os Povos: O Papel das Nações Unidas no Século XXI. Este trabalho envolveu 1350 cientistas de 95 países, tendo sido concluído em 2005.

A AEM global foi seguida por avaliações sub-globais (ASGs) em vários países do mundo e, no Brasil, a RBCV fez parte de uma das ASGs da Avaliação do Milênio, tendo em vista a peculiaridade da região: a quarta maior metrópole do mundo, rodeada por áreas de altíssima expressão ambiental e social, incluindo desde florestas de Mata Atlântica, passando por reservatórios de abastecimento, até regiões de vocação para o lazer e a produção agrícola.

O Cinturão Verde é fonte de serviços ambientais para as metrópoles de São Paulo, Santos e regiões adjacentes, de maneira que seu estudo é vital para a governança ambiental da região, para o aperfeiçoamento das políticas públicas e a gestão metropolitana e periurbana.

A abordagem da Avaliação Ecossistêmica consiste na aplicação de um método que valoriza o aproveitamento dos serviços da biosfera (ALCAMO et al., 2003). Este método compreende basicamente a elaboração de diagnósticos dos serviços da biosfera, dos vetores de degradação e o diagnóstico das tendências, sendo finalizado pela elaboração de cenários futuros e a concepção das respostas necessárias para fazer frente aos aspectos indesejáveis de tais cenários.

Segundo Politano et al. (1980) apud Déstro e Campos (2006), o conhecimento da ocupação do solo quanto à sua natureza, localização, forma de ocorrência, mudanças ocorridas em determinados períodos etc., são de grande valia para a programação de atividades que visam ao desenvolvimento social, econômico e ambiental.

Os levantamentos de uso do solo indicam a distribuição geográfica dos tipos de uso ou classes que podem ser identificadas por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Estes levantamentos são considerados importantes ferramentas na construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, visto que proporcionam o conhecimento dos diferentes manejos empregados e identificam alternativas que permitem o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2006).

Neste contexto, devido as constantes alterações antrópicas, o sensoriamento remoto constitui numa técnica fundamental para a manutenção e periodicidade de registros do uso do solo ao longo do tempo.

Dessa maneira, este trabalho está voltado a estas preocupações e tem o propósito de contribuir por meio da elaboração de mapas e da análise do uso do solo da RBCV dos anos de 1986 e 2010, por meio dos resultados obtidos do processamento digital de imagens de satélite LANDSAT-5, na escala 1:250.000.

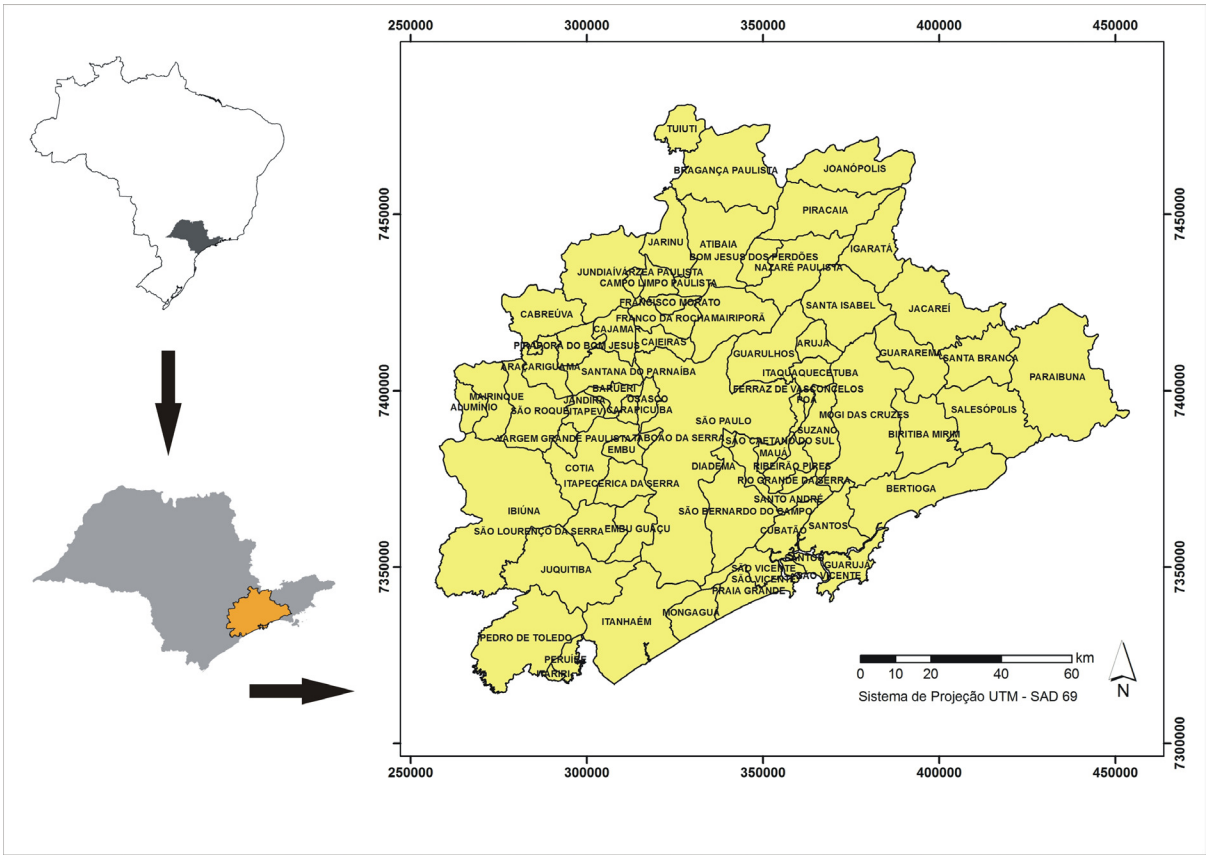

Figura 1: Localização da RBCV no Estado de São Paulo e no Brasil.
Figure 1: RBCV Location in São Paulo and Brazil.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-5 obtidas gratuitamente a partir do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Por meio do software ENVI 4.3 foi realizado o pré-processamento das imagens de satélite, no software SPRING 5.1.5 foi feito o processamento digital dessas imagens e no software ArcGIS 9.3.1 foi realizada a análise dos resultados obtido do processamento digital e o layout dos mapas. O método adotado é apresentado na Tabela 1.

A região da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo envolve as cenas (órbita/ponto) 218/76, 219/76 e 219/77 do satélite LANDSAT-5. Para a escolha das imagens de satélite foram analisados dois critérios: a disponibilidade das três cenas estarem com pouca cobertura de nuvem e a proximidade das datas. A tabela 2 mostra a relação de imagens de satélite adquirida para o desenvolvimento dessa pesquisa.

No software ENVI, para melhorar a precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos foi necessário realizar a correção geométrica e registro das imagens de satélite em toda a região da RBCV, por meio da definição de pontos de controle (Ground Control Point) identificados em arquivos vetores e na imagem.

Para isso optou-se pelo procedimento Imagem para Mapa, pois este possibilita carregar vários arquivos vetoriais que facilitam a visualização dos pontos estratégicos (pontos de controle), como os cruzamentos dos eixos viários, às curvas dos principais rios e o contorno dos reservatórios. Em média, para cada cena foram necessários 2.000 pontos de controle.

Após este processo, retifica-se a imagem e salva o arquivo em formato TIFF/Geo-

TIFF para ser utilizada no software SPRING. No software SPRING, os parâmetros cartográficos utilizados no projeto foram UTM para Sistemas, SAD69 para Modelos da Terra, Zona 23 e Hemisfério Sul.

Após importar as imagens LANDSAT-5 de 1986 e 2010, foi definida a composição colorida 5-4-3 (RGB) por ter uma representação visual parecida com a da realidade e manipulado o contraste de sua composição, a fim de melhorar sua visualização e realçar a imagem. Para a geração dos mapas foram levantadas as informações temáticas para a seleção das classes de uso do solo, sendo definidas por meio de um esquema de classificação visual considerando a resolução espacial das imagens e as características espectrais dos alvos. Para este trabalho foram selecionadas as seguintes classes de uso do solo, conforme Tabela 3.

Tabela 1: Etapas de trabalho.
Table 1: Job Steps.

Site do INPE	1. Seleção e aquisição de imagens de satélite LANDSAT-5;
Pré-processamento (Software ENVI)	2. Correção geométrica e registro de imagens;
Processamento (Software SPRING)	3. Composição colorida; 4. Aumento de contraste; 5. Interpretação preliminar; 6. Definição de classes de uso do solo; 7. Aplicação da técnica de classificação supervisionada; 8. Revisão com base na matriz de confusão;
Análise (Software ArcGIS)	9. Mosaico das imagens de satélite; 10. Análise dos resultados do processamento digital; 11. Layout dos mapas.

Tabela 2: Relação das imagens de satélite adquiridas por cena e período.
Table 2: List of satellite images acquired by scene and period.

CENA (órbita/ponto)	PERÍODO	
	1986	2010
218/76	02/10/1986	02/09/2010
219/76	19/06/1986	24/08/2010
219/77	02/05/1986	24/08/2010

Tabela 3: Critérios para cada classes de uso do solo.
Table 3: Criteria for each class of land use.

Classe	Critério
Área urbana	Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas.
Reflorestamento ou sombra	Plantio ou formação de maciços com espécies exóticas (eucaliptos e pinus).
Mata	Formação arbórea, no caso desta pesquisa inclui-se somente as áreas de Floresta Densa.
Campo antrópico ou agricultura	Locais destinados a plantio e pastagem, incluem todas as terras cultivadas caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso.
Solo exposto	Locais de solo aparente e sem vegetação. Neste caso, inclui áreas de extração de substâncias minerais.
Água	Incluem todas as classes de águas interior, como cursos d'água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares), corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais d'água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica).

Fonte: IBGE (2006) adaptado.

Os métodos de classificação são usados para mapear área da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais e nessa pesquisa foi utilizada a classificação "pixel a pixel", que usa apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas.

Segundo Shandley e Franklin (1996) apud Coutinho (1997), o intervalo aceitável para exatidão de mapas temáticos vai de 80 a 95% de confiabilidade.

Na análise das amostras foi verificado o desempenho médio de cada classe, bem como de cada amostra.

A amostra que teve matriz de confusão abaixo de 80% foi descartada, assim o método, procedimentos e resultados obtidos podem ser considerados aceitáveis.

A imagem resultante da classificação foi submetida a uma pós-classificação, ou seja, ao uso de um filtro para a eliminação de resíduos na imagem.

Após esta etapa, cada imagem de satélite processada foi exportada em formato TIFF/GEOTIFF.

No software ArcGIS 9.3 foi necessário vetorizar as imagens processadas por meio da extensão 3D Analyst.

Após a identificação de cada classe de uso do solo foram inseridos os limites dos municípios que fazem parte da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo.

Para finalizar, cada mapa de uso do solo foi configurado em uma folha A0 na escala 1:250.000, com as coordenadas geográficas, o norte, escala gráfica e legenda e o arquivo salvo em formato mxd, jpge e pdf.

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

As duas cartas temáticas foram comparadas visualmente para caracterizar geograficamente as maiores concentrações de tipo de uso e as mudanças ocorridas entre os dois períodos considerados.

A figura 2 refere-se ao mapa de uso do solo do ano de 1986 e a figura 3 o ano de 2010. Nota-se nos dois períodos que a RBCV é composta na sua maior parte de mata e áreas de campo antrópico ou agricultura, com uma grande mancha urbana no seu centro e na Baixada Santista.

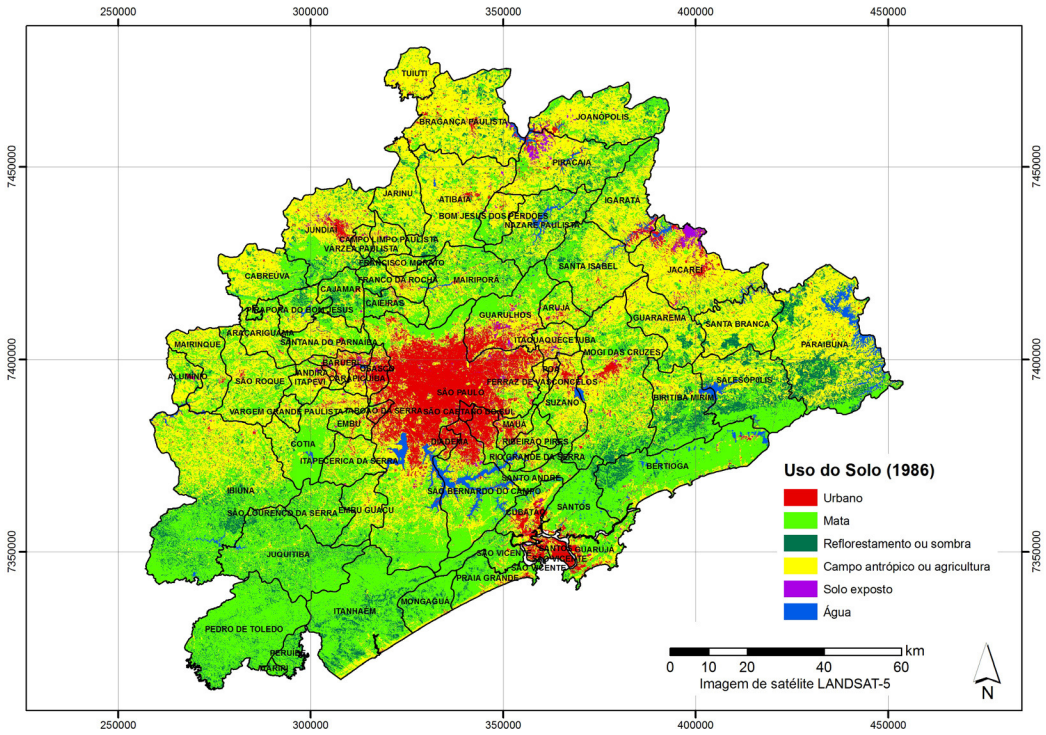

Figura 2: Mapa de uso do solo do ano de 1986.
Figure 2: Map of land use in 1986.

Nas figuras 4 e 5 percebe-se um grande avanço na mancha urbana nos municípios de Jundiaí, Campo Limpo Paulista, Várzea Paulista e Caieiras, justamente na região das rodovias Anhanguera e Bandeirantes.

Aliás, nos locais onde passam as principais rodovias é nítido o seu traçado nas imagens, pois há presença de áreas urbanas representadas de forma linear e é possível identificar a sua consolidação entre esse período.

As imagens também mostram o adensamento da ocupação urbana próximo das represas Guarapiranga e Billings e o avanço da urbanização nos municípios limítrofes de São Paulo, como Guarulhos, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos, Suzano, Mogi das Cruzes, Osasco, Taboão da Serra, Barueri, Jandira e Itapevi.

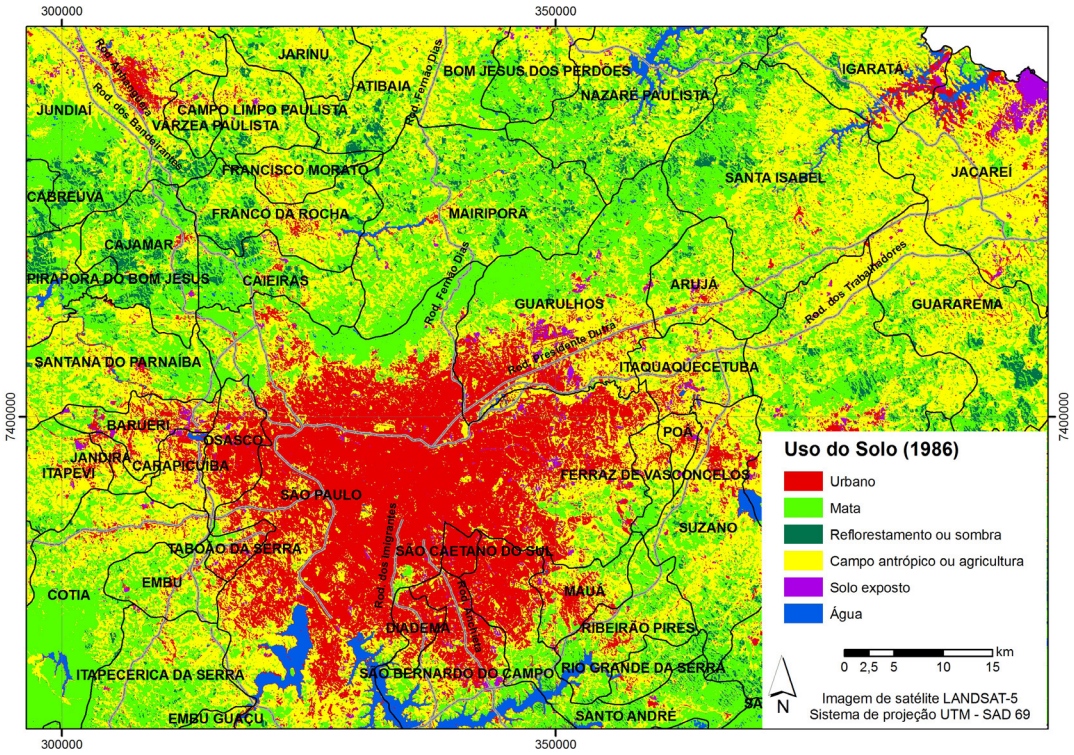

Figura 3: Mapa de uso do solo do ano de 2010.
Figure 3: Map of land use in 2010.

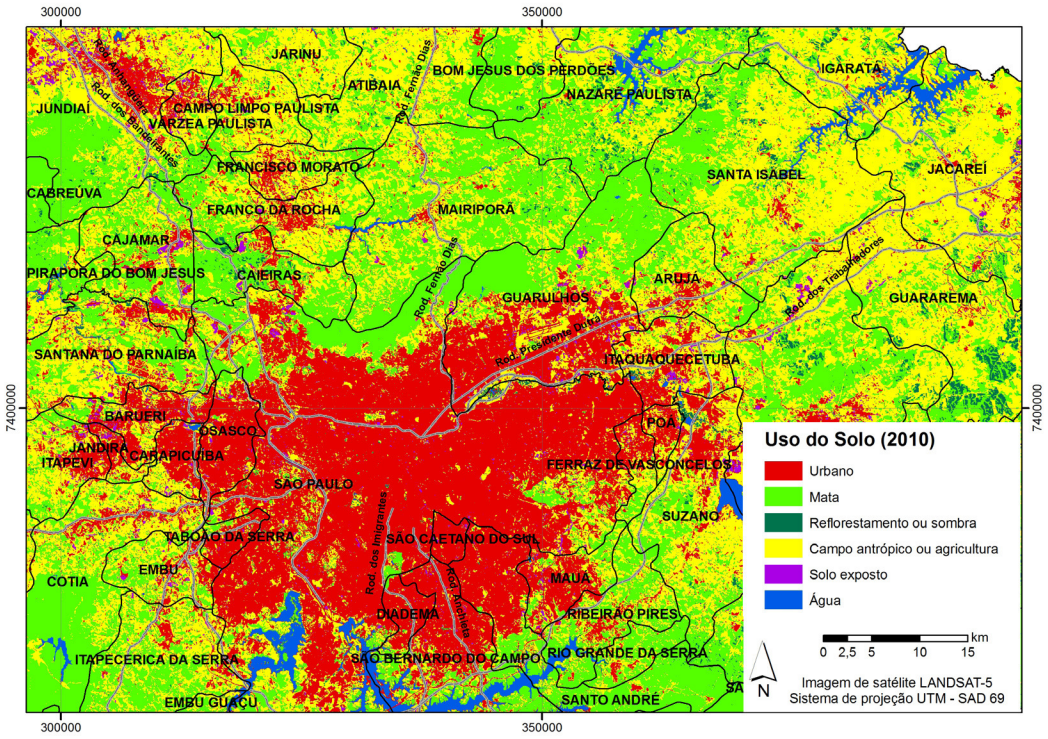

Figura 4: Área urbana entre os municípios de São Paulo e Jundiaí em 1986.
Figure 4: Urban area between the cities of São Paulo and Jundiaí in 1986.

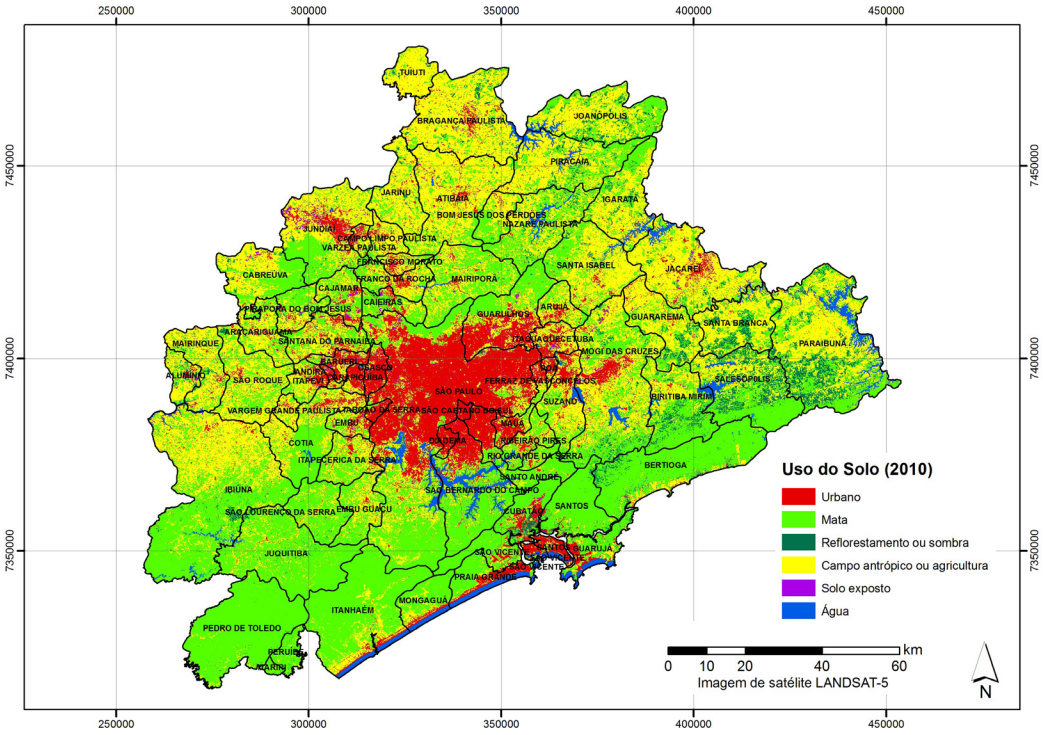

Figura 5: Area urbana entre os municípios de São Paulo e Jundiaí em 2010.
Figure 5: Urban area between the cities of São Paulo and Jundiaí in 2010.

Na imagem de 1986 verifica-se que na região entre os municípios de Suzano e Salesópolis aparecem somente os reservatórios de Taiaçupeba (Suzano e Mogi das Cruzes), Ponte Nova (Biritiba Mirim e Salesópolis) e Ribeirão do Campo em Salesópolis (Figura 6).

Já na imagem de 2010 verifica-se a presença de mais três, o reservatório Jundiaí em Mogi das Cruzes, Biritiba (Mogi das Cruzes e Biritiba Mirim) e Paraitinga em Salesópolis. Além disso, nota-se o aumento da área do reservatório de Taiaçupeba (Figura 7).

Nas figuras 8 e 9 percebe-se que as áreas de reflorestamento se destacam na região entre os municípios de Mogi das Cruzes e Paraibuna, devido a presença da Companhia Suzano de Papel Celulose e da Empresa Votorantim de Jacareí.

Comparando as imagens de 1986 e 2010 nota-se que a área de reflorestamento diminuiu e a área de campo antrópico ou agricultura e mata aumentou.

Uma das justificativas para esse resultado pode ser em razão do período de corte da madeira, pois a imagem de satélite de 1986 compreende os meses de maio e junho e o ano de 2010 o mês de agosto.

Outros aspectos relevantes é a presença do reflorestamento próximo dos reservatórios e, consequentemente, na área de proteção aos mananciais.

Também o limite da área de reflorestamento que se sobrepões ao limite do Parque Estadual da Serra do Mar, que serve como uma barreira para o seu avanço.

Destaca-se na imagem de 1986 a presença de grande quantidade de manchas de água no município de Bertioga, que na realidade representam as sombras do relevo da serra do Mar.

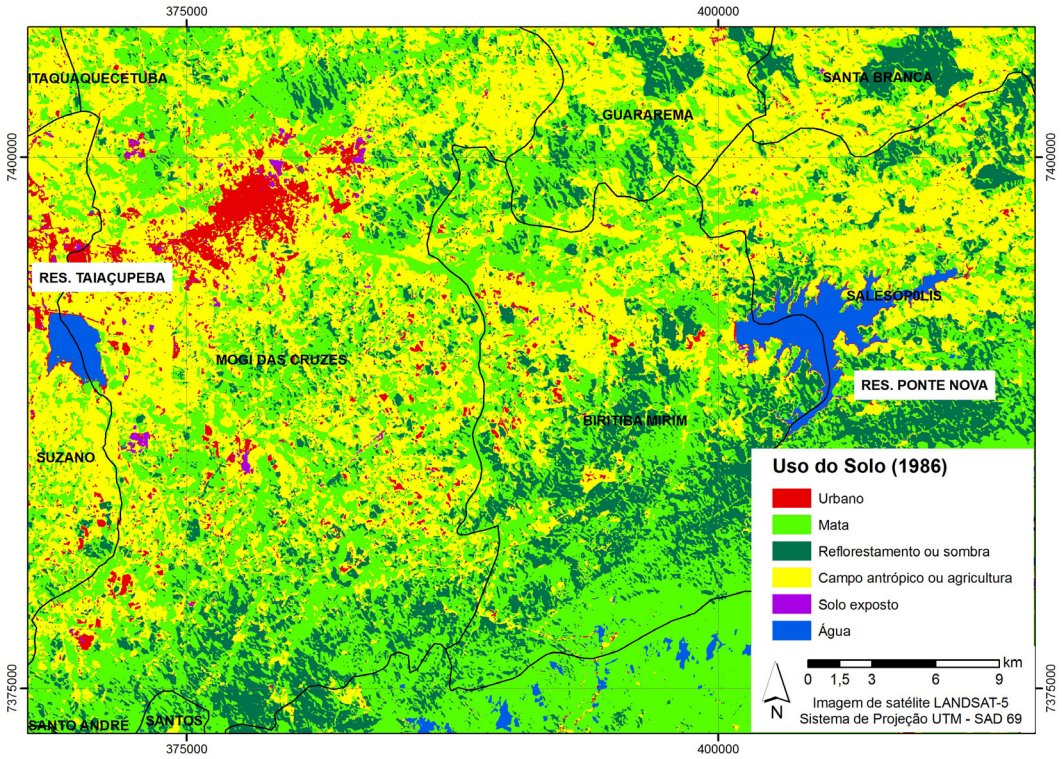

Figura 6: Reservatórios no ano de 1986.
Figure 6: Reservoirs in 1986.

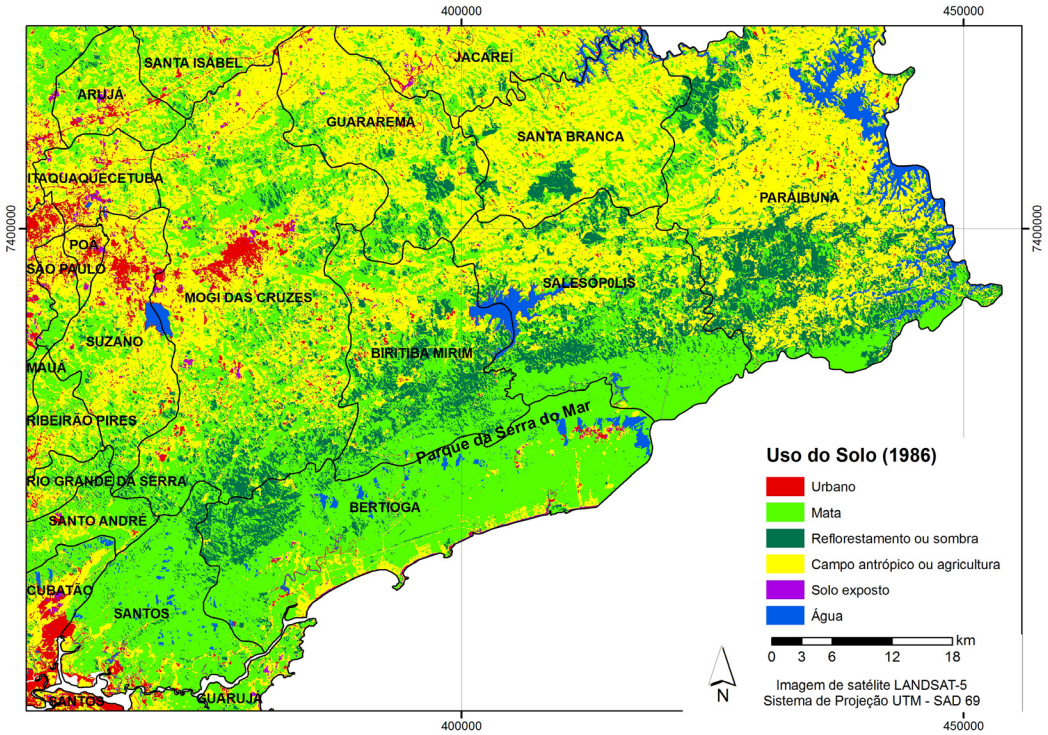

Figura 7: Reservatórios no ano de 2010.
Figure 7: Reservoirs in 2010.

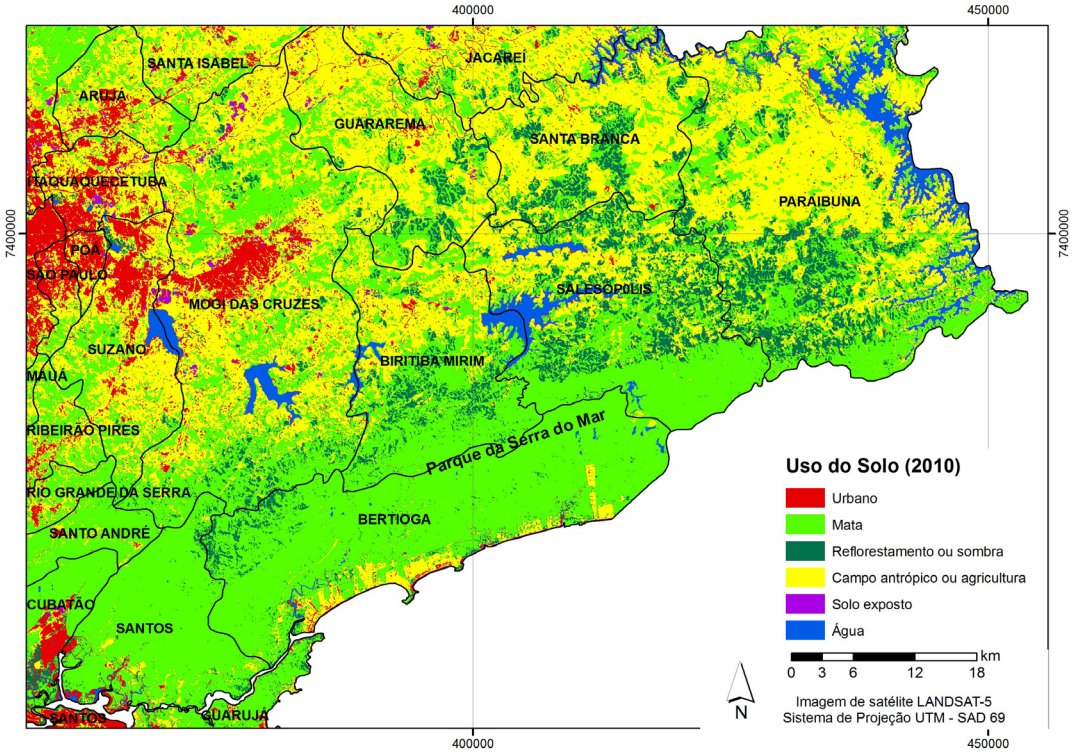

Figura 8: Mancha de reflorestamento em 1986.
Figure 8: Reforestation area in 1986.

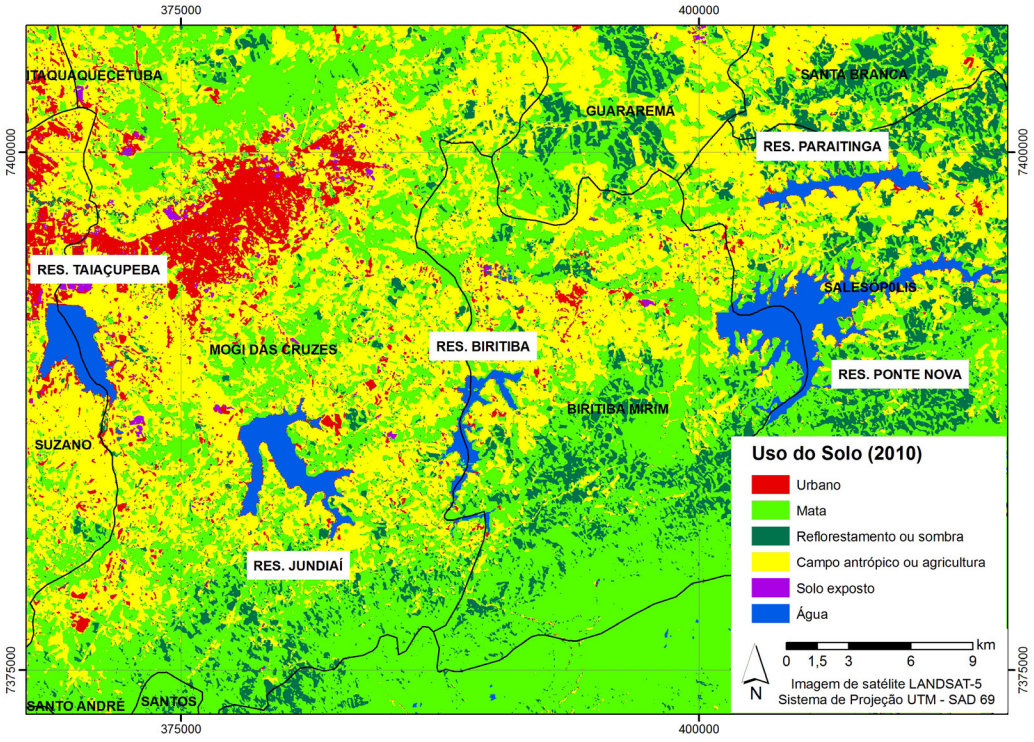

Figura 9: Mancha de reflorestamento em 2010.
Figure 9: Reforestation area in 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a região da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV) a metodologia atingiu o objetivo proposto que era o mapeamento do uso do solo e a identificação de regiões onde as classes escolhidas se concentravam.

A diferença temporal de vinte e quatro anos entre as duas imagens evidenciou três aspectos, sendo elas a expansão e o adensamento urbano nos municípios limítrofes ao município de São Paulo, na Baixada Santista e no eixo entre Caieiras e Jundiaí; a criação de novos reservatórios de abastecimento de água; e a grande faixa de áreas de reflorestamento entre os municípios de Bertioga e Paraibuna.

Na escala adotada, 1:250.000, nota-se que as áreas de mata possuem pouca alteração. Uma das justificativas é que as grandes manchas equivalem às unidades de conservação, conforme apresentado na tabela 4.

Como o padrão de uso do solo urbano muda rapidamente em virtude das forças econômicas, sociais e ambientais, a análise dessas mudanças serve como um instrumento para promover um gerenciamento adequado dos problemas que acompanham esse crescimento.

Dessa maneira, o sensoriamento remoto é um instrumento de grande valia no auxílio às pesquisas da expansão de áreas de grande extensão, como a RBCV, pois agrega ao estudo de áreas urbanas a possibilidade do uso de informações de abrangência regional e com boa freqüência temporal.

Para esta pesquisa, as imagens de satélite LANDSAT-5 constituíram em um instrumento satisfatório para a obtenção do uso e ocupação. Entretanto, ressalta-se que para a obtenção de mapas temáticos em escalas maiores, recomenda-se a utilização de imagens de satélite com uma melhor resolução espacial. Já era esperado que diversos pixels fossem classificados erroneamente, devido à grande variabilidade espectral existente nestas áreas, fazendo-se necessário o conhecimento prévio da região para a seleção das amostras a serem estudadas, assim como a trabalho de campo e análise por meio de fotos aéreas ou imagem de satélite com uma melhor resolução espacial.

Tabela 4: Unidades de conservação da RBCV.
Table 4: Conservation units of RBCV.

Unidade de Proteção Integral	Unidade de Conservação	Municípios
Parque Estadual	Cantareira	São Paulo, Guarulhos, Mairiporã e Caierias
	Serra do Mar	São Paulo, Itanhaém, Cubatão, Pedro de Toledo
	Jaraguá	São Paulo
	Juquery	Caieiras e Franco da Rocha
	Guarapiranga	São Paulo
	Várzea do Embu-Guaçu	Embu-Guaçu
Estação Ecológica	Itapeti	Mogi das Cruzes

Fonte: Fundação Florestal (2011).

AGRADECIMENTO

A autora deste artigo agradece a Universidade Guarulhos pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa por meio da Pesquisa Científica Docente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAMO et al. Ecosystems and Human Well – being. A report of the conceptual frame working working group of the Millennium Ecosystem **Assessment**. Washington: Island Press, 2003.

ANDRADE, M. R. M. **Geoprocessamento: parte 2.** São Paulo, 2009. [Apostila da disciplina de Geoprocessamento – Curso de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Faculdade SENAC].

BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005-04-02. (INPE ePrint sid.inpe.br/ePrint@80/2005/04.01.14.06).

BICUDO, C. E. M. **Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico atual da qualidade da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vista ao gerenciamento do abastecimento**. São Paulo: Seção de Botânica do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2009. 24p. Relatório interno.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e classificação de imagens LANDSAT-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de Campinas**, SP. 1997. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ecologia Geral do Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 17 nov. 2010.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Onficina de Textos, 2002.

GEOTEC. **Curso avançado ENVI.** Porto Alegre, 2007. [Apostila – Curso ENVI – GEOTEC Inovação em GIS].

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos-naturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>. Acesso em 08 de set. 2010.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – **Divisão de geração de imagens.** Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php>. Acesso em 10 set. 2010.

IWAI, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano do município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélite.** 2003. 127p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LOMBARDO, M. A.; MACHADO, R. P. P. Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 5-11. 1996.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos: Edgard Blücher, 1992.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução as geotecnologias.** Campo Grande: Ed. UFMS, 2008.

RBCV - **Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. <http://www.rbma.org.br/mab/unesco_03_rb_cinturao.asp>. Acesso em 14 de ago. 2009.

RUDORFF, B. **Introdução ao Sensoriamento Remoto. In: Seminário de Sensoriamento Remoto, Interpretação e Processamento de Imagens de Satéli**te, 5. Cachoeira Paulista, 2008. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/ndc/html/s24112008/Bernardo/Introducao_SR-s24112008.pdf>. Acesso em: 10 set. 2010.

SOUZA FILHO, C. R. **Sensoriamento remoto: princípios físicos**. Campinas, 2002 a. [Apostila – Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas].

SOUZA FILHO, C. R. **Sensoriamento remoto: sistemas sensores**. Campinas, 2002 b. [Apostila – Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas].