

# Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas

Luiz Henrique Pereira<sup>1</sup>  
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP/CEAPLA  
Caixa Postal 178 – 13506-900 – Rio Claro – SP, Brasil  
e\_luizh@yahoo.com.br  
sanjos@rc.unesp.br

**Abstract.** The main objective of the present work was to evaluate the multi-temporal land changes and vegetal area covered into the hydrographic basin in the Corumbataí River – Sao Paulo estate, considering the scenarios of 1962, 1972, 1988 and 2001. It was used as space source data the aerial photographs, vertical, panchromatic in scale of 1:25000 and 1:40000. Based on conventional photointerpretation methods, the thematic classes has been mapped and characterized in an equivalent area of 170 000 hectares. By using a Geographic Information System, it was structured and implemented a georeferenced and relational database, allowing the analysis on the occupied area dimension. As a result, it has been observed that with the sugar-cane culture expansion and the scour of pasture in the last 40 years conditioned 13% of reduction on the area covered by the Brazilian Bushes.

**Palavras-chave:** remote sensing, land use mapping, geographical information system, environmental degradation, sensoriamento remoto, mapeamento do uso da terra, sistemas de informações geográficas, degradação ambiental.

## 1. Introdução

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal de uma determinada área é de extrema importância para a compreensão da organização do espaço e suas mudanças. Seu estudo consiste em buscar conhecimento sobre a utilização das terras, além de caracterizar as diferentes classes vegetais que compõe a área. Os dados obtidos a partir deste levantamento servem a múltiplas finalidades e interesses. Aos planejadores e gestores, por exemplo, estes dados são de fundamental importância uma vez que fornecem subsídios ao reconhecimento das condições do quadro natural e da ocupação territorial da área de estudo, permitindo estabelecer ações para a utilização racional dos recursos disponíveis. Constituem-se também em importante fonte de dados aos estudos de impacto ambiental, auxiliando na identificação de áreas contendo processos erosivos avançados, e como indicadores de biodiversidade.

Segundo Bertoni & Neto (1990) os diferentes tipos de cobertura vegetal e suas respectivas densidades destacam-se entre as forças passivas atuantes na erosão dos solos, ou seja, as diferentes coberturas da terra, naturais ou introduzidas pelo homem, exercem diferentes resistências aos processos erosivos.

Outro fator a ser destacado é a diminuição da biodiversidade decorrente da redução das áreas de vegetação natural. Segundo Fizon. et al. (2003), a agricultura e a pecuária exercem forte pressão tanto sobre as florestas como sobre os ecossistemas, condicionando a perda de biodiversidade da área. Esta pressão pode ser exercida, por exemplo, pelas culturas agrícolas, que são fontes de poluição, degradação e desequilíbrio ambiental, diminuindo os habitats favoráveis a determinadas espécies, conduzindo à menor abundância regional de espécies.

Diante desta perspectiva, trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de detectar e caracterizar as áreas que apresentam impactos ambientais condicionados por intervenções antrópicas. Segundo Oliveira (2000), a simples retirada da vegetação natural para a inserção de atividades agrícolas, mesmo de substância, já contribui para a desestabilização do equilíbrio do meio físico local.

Portanto o conhecimento das alterações da cobertura vegetal e do uso do solo, com especial atenção às alterações impostas às formações vegetais nativas, é de fundamental importância para os órgãos de gestão territorial, conforme salienta Pinto (1991).

Segundo Walling e Webb (1975), a bacia hidrográfica constitui-se na unidade de análise ambiental mais adequada aos propósitos de planejamento, pois se caracteriza como uma unidade física bem definida, no que diz respeito à integração e funcionalidade de seus elementos.

A velocidade e extensão com que problemas ambientais vêm ocorrendo, decorrentes da intensa pressão gerada pela ocupação antrópica, exige-se a utilização de técnicas de coleta de dados e de monitoramento sistemático da superfície terrestre, compatíveis com a rapidez destas mudanças. Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto têm-se mostrado instrumentos de vital importância aos estudos desta temática, uma vez que permitem, com melhores resultados, os levantamentos, análises e monitoramento de elementos do meio físico terrestre. Os mais diversos tipos de informações resultantes de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens de satélites e radar) podem ser auxiliados, segundo McGuire et.al. (1994) por Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), capazes de armazenar, analisar e localizar espacialmente dados de um fenômeno

## 2. Premissa de Trabalho e Objetivos

Do ponto de vista de sua concepção, o presente trabalho se desenvolveu considerando como premissa que a ocupação antrópica exerce pressão sobre uma determinada área, resultando, em geral, nos seguintes impactos ambientais:

- Alteração da cobertura vegetal natural da área;
- Redução do estoque de biodiversidade;
- Condiciona a presença de processos de erosão acelerada dos solos,
- Afeta o estoque de água do solo e resulta no assoreamento de mananciais e cursos d'água.

Tendo em vista os aspectos acima indicados, o presente trabalho teve como objetivos caracterizar e mapear classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí-SP, e analisar suas alterações considerando os cenários de 1962, 1972, 1988 e 2001, indicando as taxas de alteração da cobertura vegetal e contextualizando suas modificações, destacando em quais setores da bacia este fato ocorreu, e em qual intensidade ao longo do período de análise.

## 3. Área de Estudo

A área de estudo selecionada refere-se à bacia hidrográfica do rio Corumbataí (**figura 1**), pertencente à bacia do rio Piracicaba (SP). Situada na porção centro-leste do território paulista, entre os paralelos de 22° 05' e 22° 30'S e os meridianos 47° 30' e 47° 50'W de Greenwich, compreende uma área aproximada de 1.710 km<sup>2</sup>.

A maior parte de suas terras encontra-se na Depressão Periférica Paulista, o rio Corumbataí nasce no Município de Analândia (1058m de altitude) percorrendo 110Km até sua foz, no rio Piracicaba (470 m de altitude). Seus principais afluentes são os rios Cabeça, Passa-Cinco e o Ribeirão Claro. As águas desta bacia abastecem os oito municípios que se inserem na área, e drena importante região agroindustrial do Estado de São Paulo, onde se destaca o cultivo da cana de açúcar.

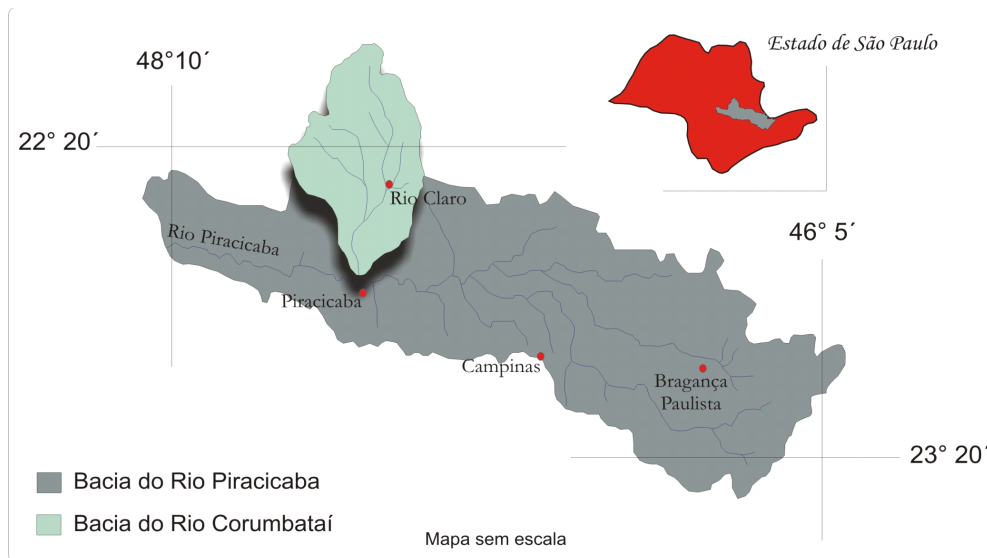


Figura 1: Localização da área de estudo

#### 4. Materiais e Método

Para a delimitação da área da bacia do rio Corumbataí foram levantadas nove folhas das cartas topográficas em escala 1:50 000 (Fundação IBGE, edições de 1969 e 1972), e utilizou-se a base topográfica da bacia, em extensão DWG. de mesma escala, para o georreferenciamento dos dados. Os produtos de Sensoriamento Remoto utilizados correspondem às fotografias aéreas dos aerolevantamentos realizadas no Estado de São Paulo para os anos de 1962, 1972 e 1988. Foram selecionadas fotografias aéreas verticais, apresentadas na forma de papel fotográfico, pancromáticas, em escala aproximada de 1:25 000 (1962, 1972) e 1:40000 (1988), no formato 230mm x 230mm, recobrimento longitudinal e lateral de 60 e 30% respectivamente.

Para se extrair os dados de interesse, estes materiais foram tratados em ambiente CAD e posteriormente importados ao Sistema de Informações Geográficas SPRING 4.2. Utilizou-se também materiais convencionais de fotointerpretação como estereoscópio de espelho (MS16 SOKKIA, ampliação de 1.5x.), poliéster terkron D-05 e lápis dermatográfico, utilizados para a interpretação dos pares fotográficos. Para o cenário de 2001, foi utilizado o mapa de uso da terra e cobertura vegetal confeccionado por Valenti (2001) que obteve o mapa a partir da classificação digital supervisionada (algoritmo de máxima verossimilhança) de imagens orbitais (SPOT e LANDSAT).

Foram estabelecidas duas linhas principais para obtenção dos dados de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica:

Para o cenário de 1962, foi aplicado o procedimento convencional de fotointerpretação (fotos analógicas), conforme método utilizado por Chiarini & Donzeli (1973), Serra Filho et al. (1974); e Coelho (1974), que se basearam na interpretação visual dos pares de fotografias aéreas por estereoscopia, com obtenção de overlays (em poliéster terkron-D50). Estes overlays temáticos resultantes da fotointerpretação foram reduzidos à escala 1:50 000, mosaicados (semi-controlado) e ajustados à base cartográfica da bacia (folhas das cartas topográficas) e inseridas em meio digital através de scanner.

Por sua vez, as fotos aéreas dos demais cenários foram digitalizadas (scanner) e, em ambiente computacional com o suporte de software AutoCad MAP, as respectivas classes

temáticas foram caracterizadas e mapeadas. Não se utilizou de classificadores no trabalho de fotointerpretação em meio digital, a interpretação baseou-se no mesmo reconhecimento convencional de imagens aéreas (pelos elementos básicos de fotointerpretação), porém, utilizando seqüências intercaladas das fotografias aéreas, e manipulando-as de maneira georreferenciada.

O conjunto de dados destes cenários foram ajustados em Auto CadMap e transferido para o SIG SPRING, sendo implementado um banco de dados temático georreferenciado. Neste SIG foram gerados mapas temáticos conforme os cenários selecionados, possibilitando o dimensionamento e análise das áreas ocupadas pelas classes temáticas.

Para a caracterização fitofisionômica das classes temáticas de uso da terra e cobertura vegetal, foram analisadas as características de comportamento espectral dos alvos/superfícies, analisando atributos como tonalidade, forma, padrões texturais e arranjos, segundo métodos convencionais de fotointerpretação, como indicados em Miller e Miler (1961) e Ricci e Petri (1965). Diversos trabalhos têm definido os critérios de análise interpretativa para diversas formações vegetais a partir de produtos de sensoriamento remoto, podendo citar, entre outros, Anderson et al. (1976).

A seguir (**Tabela 1**) são indicadas as classes temáticas de mapeamento e suas características de fotointerpretação.

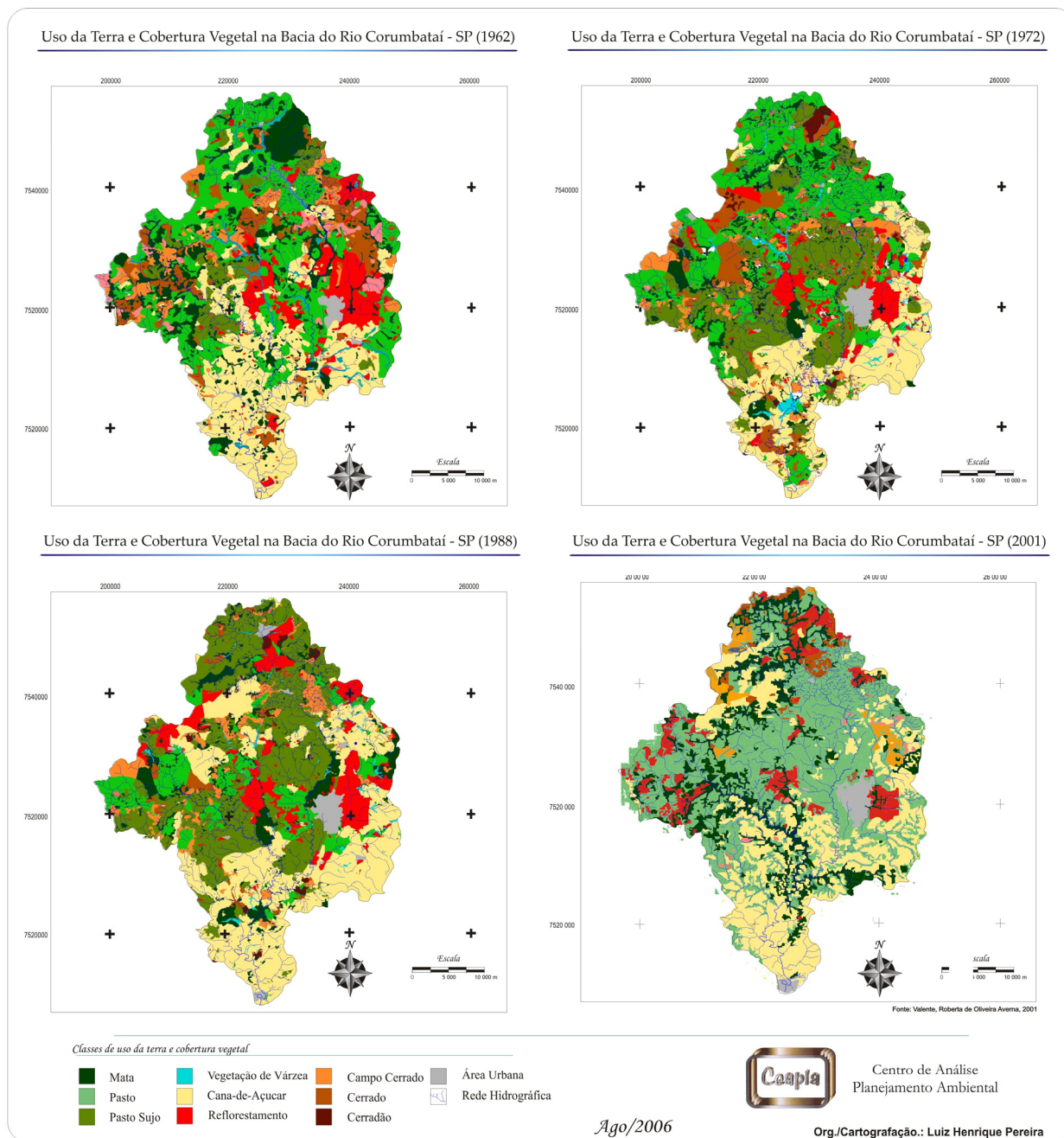
**Tabela 1:** Esquema de análise para imagens aerofotográficas pancromáticas em escala aproximada e 1:25000 e 1:40 000

	Classe 1: Mata	Classe 2.1: Campo Cerrado	Classe 2.2 : Cerrado	Classe 2.3 : Cerradão	Classe 3 : Vegetação de várzea
Tonalidade	Cinza Escuro Uniforme	Cinza Claro Desuniforme	Cinza Médio Desuniforme	Cinza Médio Uniforme	Cinza Médio Uniforme
Textura	Rugosa e Heterogênea	Média Heterogênea	Média Heterogênea	Rugosa e Heterogênea	Muito lisa e Homogênea
Densidade	Alta	Baixa	Média	Alta	.
Porte	Médio a Alta	Rasteiro a Baixa	Baixo a Médio	Médio	Rasteiro
Aspectos Contextuais	- Limites curvilíneos e irregulares, ou, definidos pela ocupação vizinha - Difuso - Avança sobre os canais Fluviais - Anfiteatros, cabeceiras dos rios	- Eventualmente encontra-se pisoteamento sinuoso de gado - Limites indefinidos ou estabelecidos por ocupações vizinhas	- Eventualmente encontra-se pisoteamento sinuoso de gado - Limites curvilíneos ou estabelecidos por ocupações vizinhas - Geralmente ladeando mata de encostas nos relevos mais íngremes	- Eventualmente encontra-se pisoteamento sinuoso de gado - Limites curvilíneos ou estabelecidos por ocupações vizinhas - Extensas áreas aplainadas, ladeadas por cerrado ou campo cerrado	- Fundos de vale com larga planície de inundação - Áreas topográficas aplainadas e relevo pouco movimentado
	Classe 4: Reflorestamento	Classe 5: Cana	Classe 6.1 : Pasto Limpo	Classe 6.2 : Pasto Sujio	Classe 7 : Área Urbana
Tonalidade	Cinza Escuro Uniforme	Cinza Claro Uniforme	Cinza Claro a Médio Uniforme	Cinza Médio Uniforme à Desuniforme	Cinza Médio Desuniforme
Textura	Fina e Homogênea	Lisa Aveludada e Homogênea	Lisa e Homogênea	lisa e Homogênea	Rugosa e Heterogênea
Densidade	Alta	Alta	.	.	D e n s i d a d e
Porte	Médio a Alto	Maixo a Médio	Rasteiro a Baixo	Rasteiro a Baixo	* Favelas - Alta * Áreas residenciais de médio e alto padrão - Médio * Áreas de laser e clubes - Baixa
Aspectos Contextuais	- Presença de arruamentos (geralmente > 500 m) - Não avança sobre os canais fluviais (geralmente) - Limites retílineos (glebas em formato poligonal) - Grandes talhões	- Presença de carreadores (geralmente < 500m) - Talhões alongados e curvados, no sentido das curvas de nível do terreno - Glebas de formato poligonal, geralmente quadrangular (limite retílineo)	- Trilhas formada pelo gado (pisoteamento) - Limites curvilíneos e/ou retílineos ou em função da ocupação vizinha - Geralmente as glebas tem limites junto a cursos d'água - Presentes nos topos de morros	- Trilhas formada pelo gado (pisoteamento) - Limites curvilíneos e/ou retílineos, ou em função da ocupação vizinha - Geralmente as glebas tem limites junto a cursos d'água - Presença de infra-estrutura como árvores de sombra	- Quarteirões, ruas, prédio, casa - Aspectos geométricos

Esta rotina foi seguida com a intenção de homogeneizar os critérios e permitir que fosse aplicada a mesma subjetividade aos diferentes cenários.

## 5. Resultados

Neste contexto, foram obtidos os mapas de uso da terra e cobertura vegetal, conforme ilustrado na **figura 2**.



**Figura 2:** Mapas de uso da terra e cobertura vegetal para os cenários de 1962, 1972, 1988 e 2001

A partir destes mapeamentos, foram obtidos dados quantitativos de áreas de ocorrência de cada classe mapeada, conforme indicado na **tabela 2**.

**Tabela 2:** Distribuição das áreas na bacia segundo as classes de uso da terra e cobertura vegetal.

		Cenários e área de ocorrência das classes temáticas							
		1962		1972		1988		2001	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Classes de uso da terra e cobertura	<b>Vegetação natural</b>	28934,4	17%	25896,53	15%	22394,33	13%	23969,4	14%
	<b>Área Urbana</b>	1521,68	1%	2581,95	2%	3178,01	2%	4732,12	3%
	<b>Pasto</b>	57352,13	34%	84093,52	49%	65672,33	38%	74591,52	44%
	<b>Reflorestamento</b>	15080,65	9%	11828,98	7%	16471,91	10%	12517,24	7%
	<b>Cerrados</b>	23656,31	14%	17881,14	10%	12103,98	7%	2131,2	1%
	<b>Cana-de-açúcar</b>	40765,95	24%	31987,09	19%	50031,74	29%	45404,28	27%
	<b>Outros</b>	3566,33	2%	1937,69	1%	1340,99	1%	7457,92	4%
<b>Total</b>		170877,5	100%	170877,5	100%	170877,5	100%	170877,5	100%

Observando a **tabela 2**, verifica-se que a bacia do rio Corumbataí-SP apresenta hoje 44% do total de sua área ocupada por pastagens e 27% por cana-de-açúcar. Com esta ocupação pode-se dizer que a bacia possui uma configuração de uso e cobertura da terra predominantemente agrícola. Entre outros tipos de uso agrícola da terra, estão a fruticultura e outras culturas anuais que juntas representam aproximadamente 3% da área da bacia. Estas classes (fruticultura e cultura anual) para os cenários de 1962, 1972 e 1988 foram inexpressivas. No entanto, observa-se que esta configuração que caracteriza o atual mosaico de uso da terra da bacia, manteve-se relativamente estável nos últimos 40 anos, de modo que estas duas atividades agrícolas sempre ocuparam a maior parte das terras, como já indicado por Koffler (1992).

Em 1962 a silvicultura representava 9% da ocupação das terras, e se modificou muito pouco no decorrer das décadas, variando de 15080,65 ha em 1962 para 12517,24 ha (7%) em 2001. Apresentou sua maior expressão no ano de 1988, onde esta classe obteve a maior porcentagem de ocupação, 10%. Nos 4 mapas obtidos, observa-se duas grandes áreas de reflorestamento que se mantiveram presentes durante todo o período de análise, o horto florestal que contorna o limite leste da cidade de Rio Claro, com uma área atual de 2222 hectares, e a área de reflorestamento localizada à nordeste da cidade de Ipeúna, com uma área de 1987 hectares.

A classe cerrado apresentou uma ampla variação em termos de área ocupada, caracterizando-se na classe que obteve maior amplitude entre 1962 e 2001 em termos de decréscimo de área ocupada. Estas áreas apresentaram um declínio contínuo e acentuado. A diferença em área entre 2001 e 1962 chegou a 21525,11 ha. Em 1962 esta formação recobria cerca de 14% (23656,31 ha) da área, sendo reduzida paulatinamente em 1972 e 1988 (10 e 7% respectivamente). Finalmente apresentando em 2001 apenas 1% do total da área.

Atualmente, as áreas que se pode destacar a presença de manchas de cerrado são as áreas de encostas e de relevo mais acentuado, normalmente ladeando as paisagens de vegetação mais densa como as vegetações naturais. As áreas que permaneceram cobertas por esta formação localizam-se principalmente nas cabeceiras do rio Passa-Cinco, à oeste da bacia, e nas cabeceiras do rio Corumbataí, ao Norte.

Para a classe de Vegetação natural, a variação em área apresentada durante os 40 últimos anos mostrou acompanhar a tendência histórica do Estado paulista. O avanço das fronteiras agrícolas, condicionado principalmente pelas atividades realizadas em grandes propriedades, obtiveram sua expansão em detrimento da cobertura vegetal natural. Pode-se observar pela

**tabela 2** que em 1962 as áreas ocupadas por esta classe, representada sobretudo pela vegetação ciliar, apresentava características de grandes manchas que acompanhavam pequenos trechos ao longo dos cursos fluviais. Esta forma já no ano de 1972 foi radicalmente modificada, restringindo-se à pequenas manchas estreitas e alongadas. A atual configuração das matas ciliares, visivelmente apresentadas nas áreas de uso agrícola como grandes áreas retificadas, fruto da tentativa de máxima otimização do espaço agrícola, onde são preservados apenas os espaços e medidas previstos por lei, sem a preocupação destas serem suficientes para o bom uso e preservação da área cultivada.

## 6. Considerações finais

Através dos produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, e imagens orbitais), foi possível resgatar as informações históricas de uso da terra e cobertura vegetal, permitindo a espacialização de suas alterações ao longo do período de análise e a contextualização destas mudanças.

Considerando a premissa em que este trabalho foi conduzido, pôde-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Corumbataí-SP apresentou, na análise dos últimos 40 anos, forte alteração na sua configuração de uso da terra e cobertura vegetal. Estas alterações foram imposta sobre tudo pelas atividades agropecuárias, caracterizando-se como o principal vetor das transformações ocorridas nas áreas mapeadas.

As áreas ocupadas pela cultura de cana-de-açúcar juntamente com as de pastagem representam atualmente 119995,8 ha, ou seja, 71% do total da bacia.

A expansão destas culturas condicionou a fragmentação e redução da cobertura vegetal natural da área, que sofreu uma redução de 28934,4 ha (17%) em 1962, para 23969,4 ha (14%) em 2001, havendo a perda de 4965 hectares. As áreas de cerrado apresentaram o maior decréscimo entre as classes mapeadas. Estas áreas foram minimizadas principalmente em função da ocupação de grandes áreas de pastagem, restando apenas 1 % de sua formação, representada por 2131,2 ha, significando uma redução de 21525,11 ha se comparada a 1962.

## 7. Referências Bibliográficas

### Artigos em Revista:

KOFFLER, Natálio F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento de vegetação e uso da terra. **Geografia**, Rio Claro, v. 17, n. 2, p. 1-26, out. 1992.

WALLING, D. E.; WEEB B. W. Spatial variation of river water quality: a survey of the river Exe. **Transactions**, n.65, 1975, pp.155-170.

### Livros:

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of fotogrammetry**. Washington ; 1952. 876 p.

ANDERSON, J. R., HARDY, E., ROACH, J., & WITMER, R. (1976). **A land use and land cover Classification system for use with remote sensor data**. Washington: U.S.G.S., 1976.

BERTONI, J. & LOMBARI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.

FISZON, J. T. et al. Intervenção antropica. In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A.S. (orgs.). **Fragmentação de ecossistemas: Causas e efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF, 2003.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D. (Ed). **Geographical Information Systems Applications**. 2.ed. London: Longman Scientific & Technical, 1991. v.2, 447 p.

MILLER V.C and MILLER, K., **Photogeology**, McGraw-Hill, New York,1961.

RICCI, Mauro. & PETRI, Sentembrino. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. Sao Paulo: ed. Nacional, 1965.

**Tese:**

OLIVEIRA, A. M. M. **Aplicação de geotecnologias e do modelo EUPS como subsídio ao planejamento do uso da terra: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, S.P.** Rio Claro, 2000. Tese [Doutoramento em Análise da Informação Espacial] – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PINTO, S.A.F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica.** São Paulo, 1991. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP.** Piracicaba, 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

**Relatórios Técnicos:**

CHIARINI, J.V & DONZELI, P.L. **Levantamento por fotointerpretação da capacidade de uso das terras do estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agronômico (Bol. 3), 1973

COELHO A. G. S. **Variação decanal do uso agrícola das terras.** Campinas, Instituto Agronômico, Boletim técnico 11, 1974 (1-32p.)

SERRA FILHO et alli. **Levantamento da cobertura vegetal natural no estado de São Paulo.** Boletim Técnico Instituto Florestal, São Paulo, (11):1-53.1974