

EDER LUIZ SANTO

**DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS
CUMULATIVOS DECORRENTES DA MINERAÇÃO DE AREIA
NO VALE DO PARAÍBA ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO**

**Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia
Mineral**

São Paulo

2000



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica

DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS
CUMULATIVOS DECORRENTES DA MINERAÇÃO DE AREIA
NO VALE DO PARAÍBA ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO

EDER LUIZ SANTO

Orientador: LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ

Dissertação de Mestrado
apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mineral

São Paulo
2000

FICHA CATALOGRÁFICA

Santo, Eder Luiz

Determinação de indicadores de impactos ambientais cumulativos decorrentes da mineração de areia no Vale do Paraíba através de geoprocessamento. São Paulo, 2000. 156p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas.

1.Areia(Mineração) 2.Impacto ambiental - Indicadores 3.GIS 4.Fotointerpretação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas II.t.

Sabedoria

*Avistei a plena sabedoria através
da janela.*

Era bela como a visão do paraíso.

Parecia estática

Ao alcance das mãos.

Parecia.

Pura ilusão.

Revelou-se intocável como o céu

Traíçoeira tal qual a face de

Medusa.

Pobres dos que,

Em algum momento,

Seduzidos pela sua nobreza,

Puseram-se a buscá-la.

Luta injusta

Impossível de ser vencida.

Quanto mais a desejamos

Mais inatingível ela se torna.

Eder Luiz Santo

Aos meus pais, meus irmãos,
e à minha esposa.

Pessoas fundamentais
em minha vida.

Agradecimentos

Durante a realização deste trabalho diversas pessoas foram importantes, seja pelo convívio diário, por discussões técnico-científicas ou pela disponibilização de equipamentos e materiais necessários ao estudo. Por isso, meus sinceros agradecimentos:

- Ao Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), na pessoa da sua diretora Sra. Lenir José da Cunha e Castro; à diretora da Secretaria de Planejamento do Município de Jacareí, Arquiteta Rosa Kasue Saito Sasaki; e ao Prof. Dr. Mário Valério Filho do Núcleo de Ciências Ambientais da UNIVAP, por terem cedido as fotografias aéreas e instalações para realização da fotointerpretação das imagens.
- Ao engenheiro Marcus Vinícius Pinto da Cunha, da CETESB de Jacareí, por ter fornecido informações valiosas e nos acompanhado nas visitas aos portos de areia de área estudada.
- Aos professores Arlei do Instituto de Geociências, Quintanilha do Departamento de Engenharia de Transportes, Helmut e Fujimura do Departamento de Engenharia de Minas, pelas valiosas orientações técnicas e por facilitarem o acesso a equipamentos dos respectivos institutos.
- À todos os colegas da pós-graduação, especialmente ao Filipov, aos professores e aos funcionários do Departamento de Engenharia de Minas pelo convívio amigável e pela presteza quando requisitados.

Agradecimento especial dedico aos meus segundos pais Zé Callegari e Dna. Euzélia, e ao meu quase irmão Betão, aos quais devo muito.

Ao meu orientador Luis Enrique Sánchez expresse minha gratidão por ter acreditado no meu trabalho, por ter-me dado liberdade para a condução da pesquisa e pela precisão nas colocações e correções de rumo durante a labuta.

Por fim, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) merece uma menção especial, pois foi quem viabilizou, através da concessão da bolsa de mestrado, o desenvolvimento deste trabalho.

6.2	AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO.....	80
6.2.1	<i>O erro de posicionamento da imagem</i>	81
6.2.2	<i>O erro da vetorização em tela</i>	82
6.2.3	<i>O erro total</i>	83
6.3	OCUPAÇÃO DA VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	85
6.3.1	<i>Uso do solo em 1962</i>	86
6.3.2	<i>Uso do solo em 1986/88</i>	88
6.3.3	<i>Uso do solo em 1997/98</i>	92
6.3.4	<i>Análise multitemporal dos mapas de uso do solo</i>	96
6.3.5	<i>Indicadores de Impacto Ambiental</i>	112
6.3.6	<i>Recuperação de áreas degradadas</i>	119
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
	ANEXO I - RESUMO DE GEOREFERENCIAMENTO	133
	ANEXO II - MAPAS DE USO DO SOLO	144
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148

ERRATA

1. pg. 87, quadro 8, 2^a. linha: onde se lê 8,98 leia-se "82,98"
2. sumário, onde se lê "6.2 ... precisão..." leia-se "6.2 ... exatidão..."
3. "pg. 80, onde se lê "6.2 ... precisão..." leia-se "6.2 ... exatidão..."

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE FOTOGRAFIAS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	4
3 OBJETIVOS	9
4 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....	10
4.1 O USO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS	10
4.2 A PRODUÇÃO DE AREIA E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	12
4.3 INDICADORES AMBIENTAIS.....	29
4.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	34
5 MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS	38
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	38
5.2 MÉTODOS EMPREGADOS NO ESTUDO	44
5.2.1 <i>Interpretação das fotografias aéreas</i>	44
5.2.1.1 <i>Classes de Uso do Solo</i>	50
5.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO	52
5.3.1 <i>Confecção dos mapas de uso do solo de 1962 e 1986/88</i>	52
5.3.1.1 <i>Digitalização dos mapas de 1962 e 1986/88</i>	53
5.3.1.2 <i>Georeferenciamento dos mapas de 1962 e 1986/88</i>	54
5.3.2 <i>Confecção do mapa de uso do solo de 1997/98</i>	57
5.3.2.1 <i>Digitalização e georeferenciamento dos overlays de 1997/98</i>	58
5.3.3 <i>Vetorização dos mapas de uso do solo</i>	59
5.3.4 <i>Análise dos mapas de uso do solo</i>	62
5.3.5 <i>Edição dos Mapas</i>	65
6 RESULTADOS OBTIDOS.....	67
6.1 IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES VIA FOTOINTERPRETAÇÃO.....	67
6.1.1 <i>Características em 1962</i>	69
6.1.2 <i>Características em 1986/88</i>	72
6.1.3 <i>Características em 1997/98</i>	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.	5
Figura 2: Características de um sistema fluvial. (Modificado de HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1998).	14
Figura 3: Fases do processo de extração de areia em cava submersa. (Extraído de BRUSCHI e PEIXOTO, 1997).	15
Figura 4: Representação da lavra de areia tipo cava submersa. (Extraído de BRUSCHI e PEIXOTO, op cit.).	16
Figura 5: Mapa de localização dos portos de areia presentes na várzea do Rio Paraíba do Sul em Jacareí (SP)	18
Figura 6: Componentes de um SIG.	36
Figura 7: Fluxograma mostrando as principais etapas desenvolvidas no estudo dos mapas digitais de uso do solo de 1962 e 1986/88.	45
Figura 8: Fluxograma mostrando as principais etapas da elaboração e análise do mapa digital de uso do solo de 1997/98. Destaca-se, em cor ouro, os passos distintos daqueles aplicados na elaboração dos mapas anteriores.	46
Figura 9: Estereoscópio de espelho. (Extraído de Catálogo ZEIZZ de instrumentos para fotogrametria e fotointerpretação).	50
Figura 10: Janela da opção Resample do IDRISI, com o arquivo de coordenadas x,y dos pontos de controle (quadro da direita).	56
Figura 11: Janela do software CartaLinx mostrando o mapa de 1998 vetorizado e seu correspondente banco de dados alfanumérico.	61
Figura 12: Janela do IDRISI, mostrando o caminho para transformar os mapas vetoriais em arquivos matriciais.	62
Figura 13: Operação da ferramenta Crosstab, vista em janela do SIG IDRISI.	64
Figura 14: Exemplo de tabela com dados resultantes de uma operação de tabulação cruzada (modificado de EASTMAN et al., 1995).	64
Figura 15: Evolução da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul entre 1962 e 1997/98.	110
Figura 16: Variação das áreas cobertas pelas diversas classes de uso do solo da área estudada.	110
Figura 17: Porção extremo norte dos mapas de uso do solo de 1962, 1986/88 e 1997/98, mostrando o alargamento do canal do Rio Paraíba do Sul.	111

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1: Principais produtores de areia do Vale do Paraíba, inclusive Mogi das Cruzes, e sua participação no mercado da RMSP. (Fonte: BAUERMEISTER, 1996).</i>	22
<i>Quadro 2: Alguns indicadores de mudanças ambientais na zona tropical úmida. (Adaptado de COLTRINARI e McCALL, 1995).</i>	32
<i>Quadro 3: Fotografias aéreas utilizadas na elaboração do mapa de uso do solo de 1962.</i>	39
<i>Quadro 4: Fotografias aéreas usadas na confecção do mapa de uso do solo de 1986/88.</i>	40
<i>Quadro 5: Fotos aéreas utilizadas na geração do mapa de uso do solo de 1997/98.</i>	41
<i>Quadro 6: Fontes cartográficas utilizadas na pesquisa.</i>	42
<i>Quadro 7: Categorias de uso do solo da várzea do Rio Paraíba do Sul, município de Jacareí, identificadas por meio de fotografias aéreas.</i>	51
<i>Quadro 8: Classes de uso do solo e a área por elas ocupada na várzea do Rio Paraíba do Sul.</i>	87
<i>Quadro 9: Categorias de uso do solo em 1986/88, com suas respectivas áreas e porcentagem ocupada da planície aluvionar.</i>	89
<i>Quadro 10: Categorias de uso do solo em 1997/98, e a área da várzea que elas ocupavam.</i>	93
<i>Quadro 11: Tabela de dados resultante da classificação cruzada entre os mapas de 1962 (colunas) e de 1986/88 (linhas). Valores correspondentes à área (m²)</i>	99
<i>Quadro 12: Tabulação cruzada entre os mapas de 1986/88 (colunas) e de 1997/98 (linhas). Valores correspondentes à área (m²).</i>	103
<i>Quadro 13: Tabulação cruzada dos mapas de 1962 (colunas) e de 1997/98 (linhas). Valores correspondentes à área (m²).</i>	109
<i>Quadro 14: Porcentagem da ocupação da várzea pelas classes de uso do solo nas datas pesquisadas.</i>	112
<i>Quadro 15: Largura em metros do canal do Rio Paraíba do Sul em pontos de alteração da sua morfologia nos três mapas de uso do solo.</i>	118

LISTA DE FOTOGRAFIAS

<i>Foto 1: Draga flutuante (embarcada) estacionada no porto Navegantes.</i>	19
<i>Foto 2: Dragagem em cava submersa com carregamento de barcaça. Porto Navegantes.</i>	19
<i>Foto 3: Carregamento de barcaça no porto Paranaval.</i>	20
<i>Foto 4: Dragagem em ponto de descarregamento de barcas (porto Paranaval).</i>	20
<i>Foto 5: Equipamento de bombeamento de polpa em cava seca (Porto Oásis).</i>	21
<i>Foto 6: A invasão do espelho d'água por macrófitas aquáticas devido ao lançamento de esgoto na cava abandonada do antigo porto Albuquerque.</i>	28
<i>Foto 7: Fotografia aérea mostrando algumas classes de uso do solo em 1962. Cobertura: extremo norte da área.</i>	71
<i>Foto 8: Aerofoto de 1988, do extremo norte da área pesquisada, onde pode-se observar o Rio Paraíba do Sul mais largo, e algumas cavas de extração de areia.</i>	74
<i>Foto 9: Foto aérea de 1998, da porção extremo norte da área pesquisada (a mesma das fotos 7 e 8), mostrando algumas classes de uso do solo.</i>	78
<i>Foto 10: Foto mostrando os extremos da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul: mata ciliar nativa na margem esquerda do rio e cava abandonada na margem direita, a cinco metros do canal do rio.</i>	79
<i>Foto 11: Área de pastagens às margens da Via Dutra. Ao fundo a cidade de Jacareí.</i>	94
<i>Foto 12: Cava abandonada sem recuperação no Porto Itapeva. Taludes íngremes e plantas crescendo na superfície da água.</i>	121
<i>Foto 13: Antiga cava de mineração do Porto Itareia em fase final de aterramento. Opção para recuperar as lagoas abandonadas.</i>	121

Resumo

A mineração de areia na região do Vale do Paraíba começou a tomar corpo por volta de 1949, quando os mineradores da região de São Paulo, que extraíam areia nos rios Pinheiros e Tietê, foram obrigados a buscar novas áreas de extração para suprir a demanda local.

Atualmente o Vale do Paraíba é uma das regiões onde mais se produz areia no Brasil. A maior parte dessa produção é destinada à região metropolitana de São Paulo.

A atividade extrativa em grande escala trouxe consigo problemas ambientais relevantes tanto para a várzea como para o canal do Rio Paraíba do Sul, em especial no município de Jacareí (SP), pela proximidade com a Capital.

Visando identificar indicadores de impactos ambientais provocados pela mineração de areia, foram elaborados mapas de uso do solo de uma área com cerca de 31 km² da planície aluvial do rio Paraíba no município de Jacareí. As cartas foram geradas a partir de informações obtidas em fotografias aéreas verticais datadas de 1962 (escala 1:25.000), 1986/88 (escalas 1:5.000/1:10.000) e 1997/98 (escalas 1:6.000/1:10.000), manipuladas e analisadas dentro de um sistema de informações geográficas (SIG).

Alguns importantes indicadores de impacto ambiental decorrentes da atividade mineira, tal como área coberta pela mineração, zonas agricultáveis transformadas em minas, áreas com cavas submersas de extração de areia, retirada da vegetação, modificação do canal do rio, zonas revegetadas e ocupação da Área de Proteção Permanente do Rio Paraíba do Sul, foram identificados e mensurados usando fotos aéreas e SIG.

Abstract

Environmental problems in the Paraíba do Sul River floodplain began in the late 1940s when the sand miners “migrated” from São Paulo Metropolitan Region, looking for new production areas.

Today the Vale do Paraíba region in the southeast of the São Paulo State, is one of main sand production areas in Brazil. The most of this production supplies São Paulo city and its region.

This activity has produced significant environmental changes both in the floodplain and river channel, specially at Jacareí locality.

In this study, land cover data from around 31 km² of Paraíba do Sul river floodplain with variable mining intensity were compiled from large-scale vertical aerial photos for three different moments: 1962, 1986/88 and 1997/98. These data were manipulated and analyzed using a geographical information system (GIS).

A number of environmental impact indicators has been identified and measured through the application of an aerial photo/GIS methodology. These include (i) total mining areas, (ii) former agricultural land converted into open pits, open-water ponds, and mining ancillary installations, (iii) deforested areas, (iv) channel river morphology modification, (v) vegetation growth in reclaimed areas and (vi) mining encroachment on legally protected riverside zone.

1. INTRODUÇÃO

Em fins da década de quarenta teve início, no município de Jacareí (SP), a extração de areia em escala comercial. A abundância desse bem mineral no leito do Rio Paraíba do Sul, o seu escasseamento nas áreas então produtoras da região de São Paulo - leitos dos rios Pinheiros e Tietê - e a facilidade de escoamento da produção com a construção da Rodovia Presidente Dutra foram os fatores determinantes dessa empreitada.

Daquela época em diante a atividade se desenvolveu muito. Com o passar dos anos a areia do leito do rio foi ficando rara e os empreendimentos migraram para a planície aluvial às suas margens. Atualmente mais de 90% das empresas mineradoras de areia do município extraem em cavas submersas localizadas na várzea do referido rio.

A extração de areia, devido à necessidade de elevada produção para suprir a alta demanda da indústria da construção civil, provoca diversos danos ao meio ambiente, os quais vão se acumulando com o passar dos anos. Tais problemas tomam proporções ainda maiores quando se constata que:

- 1) A maioria das empresas responsáveis pela exploração de areia não são conhecidas pela tradição em termos de preservação ambiental.
- 2) Embora alguns dispositivos legais, de cunho ambiental, que se aplicam às atividades mineiras, tenham sido aprovados na década de 60 - como, por exemplo, o Código Florestal Lei 4.771/65 - somente na década de 80, com o advento da Resolução CONAMA 1/86, que instituiu a obrigatoriedade do EIA/RIMA e do Decreto Federal 97.632/89 e da Resolução Estadual SMA-

18/89, que impuseram a necessidade de elaboração e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), é que as empresas do ramo efetivamente passaram a se preocupar com os problemas ambientais.

O Vale do Paraíba é a região que mais produz areia no Estado de São Paulo, abastecendo principalmente a Região Metropolitana da Capital, suas circunvizinhanças e o Litoral Norte do Estado. Entre os maiores produtores do vale destacam-se os municípios de Tremembé, Caçapava e Jacareí.

Buscando subsídios que possibilitem a determinação do papel da mineração na ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul, no trecho correspondente ao Município de Jacareí (SP), sudeste do Estado de São Paulo, o projeto desenvolvido lançou mão da análise de uma série histórica de mapas de uso do solo confeccionados a partir da interpretação de fotografias aéreas verticais de grande escala - 1:5.000 até 1:25.000 - datadas dos anos de 1962, 1986/88 e 1997/98, os quais foram digitalizados⁽¹⁾, georeferenciados⁽²⁾, vetorizados⁽³⁾, analisados⁽⁴⁾ e comparados⁽⁵⁾ dentro de um Sistema de Informações Geográficas (SIG)⁽⁶⁾.

(1)digitalizar: aqui utilizado com o mesmo significado de escanear; converter um mapa ou fotografia impressa para a forma digital, com um *scanner* ótico.

(2)georeferenciar: estabelecer relação entre as coordenadas geográficas de uma imagem ou mapa digital, com as de um mapa oficial (KESSLER, 1995).

(3)vetorizar: transformar uma imagem matricial digital (constituída por elementos de imagem ou células, organizadas seqüencialmente por linhas e colunas) em um arquivo vetorial (composto por pontos, linhas e polígonos) com estrutura baseada em coordenadas x, y, geralmente utilizado para representar feições de mapas.

(4)analisar: investigar - por meio de algoritmos matemáticos executados por sistemas computacionais - dados numéricos que representam informações espaciais, afim de melhor compreendê-las.

(5)comparar: sobrepor informações de mesma natureza afim de identificar suas semelhanças e diferenças.

(6)SIG: sistema computacional usado para aquisição, armazenamento, gerenciamento, manipulação, análise, modelagem e visualização de informações espaciais referenciadas para auxiliar em planejamentos complexos e problemas gerenciais (KESSLER, 1995).

A idéia de identificar e analisar os indicadores de mudanças ambientais impostas pelas minerações de areia na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, em Jacareí (SP), utilizando-se de fotografias aéreas e SIG é bastante pertinente, visto que:

- As fotografias aéreas de grande escala, são reconhecidamente excelentes fontes de informações disponíveis para os estudos de mudanças temporais uma vez que combinam alta resolução espacial com ampla cobertura territorial e temporal.
- O município de Jacareí possui um grande número de “portos” de areia em funcionamento - 22 no total - sendo que a grande maioria extrai em cavas submersas às margens do Rio Paraíba do Sul;
- Jacareí é um dos municípios, dentre os do Vale do Paraíba, cuja planície aluvial do rio homônimo encontra-se em preocupante estado de degradação, fato decorrente, principalmente, da ação das mineradoras;
- O enfoque voltado à várzea do rio Paraíba pretende gerar subsídios técnicos que tornem possível o estabelecimento de Áreas de Proteção Ambiental (APAs) municipais, disciplinando, dessa forma, o uso do solo na várzea.
- Os SIGs, devido à capacidade de correlacionar dados a feições naturais, realizar análises ambientais e produzir modelos digitais do ambiente são bastante úteis como instrumentos de planejamento ambiental.

A grande contribuição do estudo produzido está na possibilidade de não somente gerar mapas e compará-los de forma subjetiva, mas sim de poder analisá-los com profundidade e de maneira sistemática, usando ferramentas computacionais direcionadas à análise temporal de mapas e imagens.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

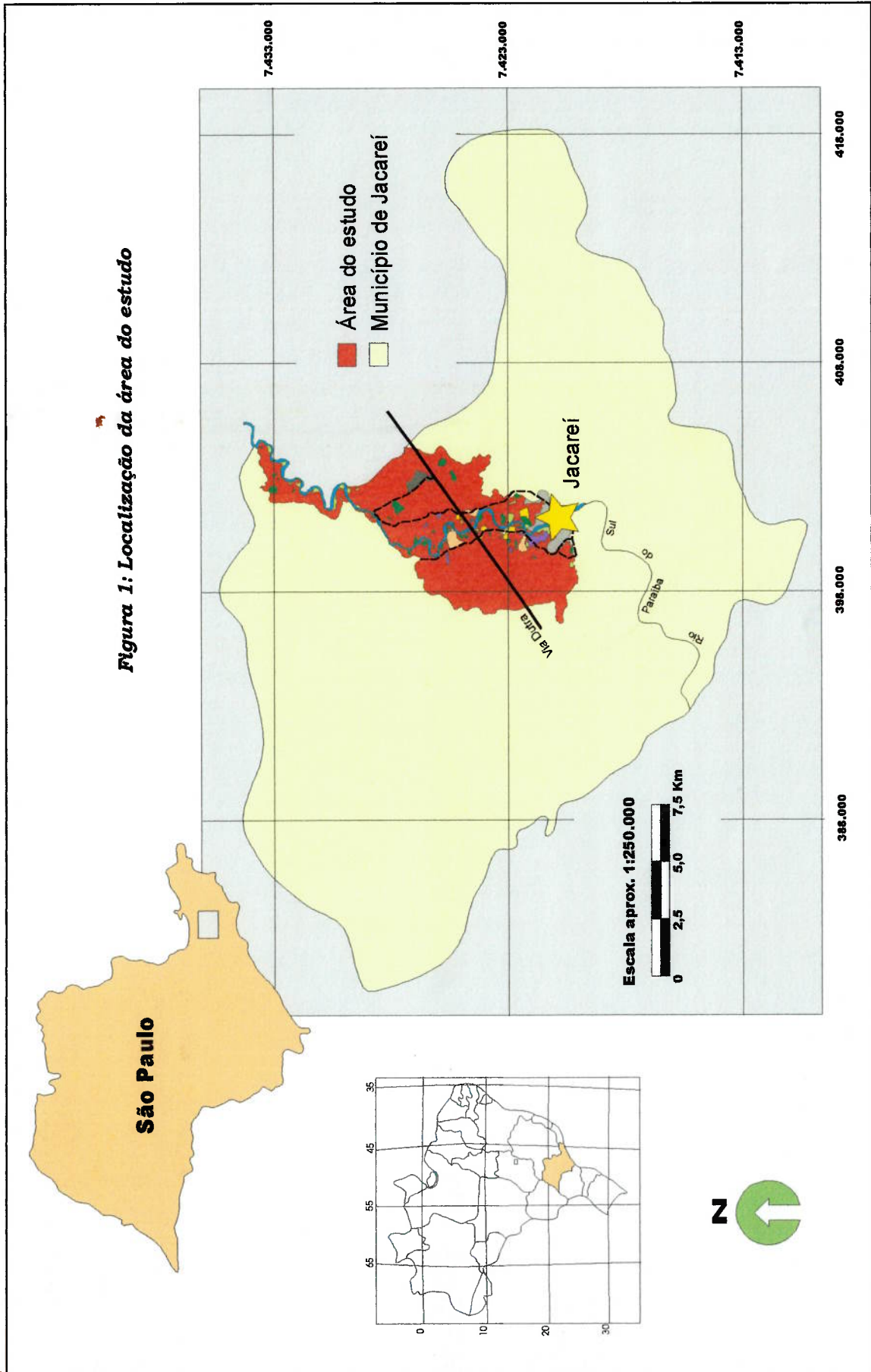
A área de pesquisa compreende a porção da várzea do Rio Paraíba do Sul inserida no município de Jacareí (SP), região sudeste do Estado de São Paulo, distante cerca de 80 km da Capital Paulista.

O estudo cobre a porção da planície aluvial que se inicia na margem esquerda do rio Paraíba, a oeste da cidade de Jacareí, logo após o corpo de água deixar para trás terrenos cristalinos elevados, onde há predominância de vales encaixados com estreitas planícies, e passar a correr sobre ampla planície aluvial (HASUI *et al.*, 1978).

Ao prolongar-se para o norte, a várzea abraça as duas margens do rio Paraíba, assumindo uma largura que atinge cerca de 5,5 km, cruza a Rodovia Presidente Dutra e, no limite com o município de São José dos Campos, a nordeste, gradativamente tem sua largura reduzida até ser estrangulada na desembocadura do Rio Comprido. A partir daí, rumo ao norte, a planície aluvionar encontra-se espremida entre o Rio Paraíba do Sul e os morrotes que a limitam na sua margem esquerda. O limite lateral da várzea, identificado por fotografias aéreas, situa-se próximo à cota 570 m. A área abrangida pelo estudo possui cerca de 31 km² (figura 1).

Nesse seu trecho médio, o Rio Paraíba do Sul segue entre duas montanhas: à direita, encontra-se as elevações de Jambreiro e Quebra Cangalha, com altitudes em torno de 1.100 m e, à esquerda, com até 2.000 m de altitude, tem-se a Serra da Mantiqueira. A planície, correspondente à Bacia Sedimentar de Taubaté, sobre a qual serpenteia preguiçosamente o rio, não ultrapassa os 600 metros de altitude (SAUSEN, 1988).

Figura 1: Localização da área do estudo



A região do médio Vale do Paraíba pode ser dividida em duas Subzonas Geomorfológicas: morros cristalinos e colinas sedimentares.

Os morros cristalinos dispõem-se ao redor da Bacia de Taubaté, sendo caracterizados por relevo de mar de morros, com planícies interiores desenvolvidas, declividades elevadas e amplitudes altimétricas entre 100 e 300 m (PONÇANO *et al.*, 1981, *apud* SAUSEN *op cit.*).

As colinas sedimentares, segundo os mesmos autores, estão associadas aos pacotes mais espessos dos sedimentos terciários da Bacia de

Taubaté, apresentando topos arredondados a aplainados, declividades inferiores a 15% e amplitudes locais menores que 100 m.

Margeando de forma descontínua a várzea, desde Jacareí até São José dos Campos, aparecem terraços quaternários, sustentados por cascalho e areia, que representam antigas superfícies de agradação reentalhadas pelo Rio Paraíba do Sul (HASUI e PONÇANO, 1978).

A Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias sedimentares desenvolvidas sobre a faixa de rochas metamórficas e granitóides pertencentes ao Cinturão de Dobramentos Ribeira (HASUI *et al.*, 1975 *apud* RICCOMINI, 1989), orientada segundo a direção ENE, subparalela aos principais falhamentos do sudeste brasileiro, denominada por ALMEIDA (1976 *apud* SAAD, 1990) como “Sistema de Rifts da Serra do Mar” e por RICCOMINI (*op cit.*) como “Rift Continental do Sudeste Brasileiro”.

A origem da bacia é ainda controversa, embora trabalhos como os de ZALAN (1986) e MACEDO (1989), explorados por SAAD (*op cit.*) e o de RICCOMINI (1989) apontem esforços extensionais, de direção NNW-SSE, associados à evolução da margem continental sudeste da plataforma brasileira no

período Terciário, como responsáveis pela reativação de antigas zonas de cisalhamento Brasileiras que causaram o abatimento escalonado de blocos continentais, gerando o *rift*.

Os esforços tectônicos produziram uma depressão alongada na direção SW-NE, onde podem ser reconhecidas as sub-bacias de Jacareí, Eugênio de Melo, Taubaté e Pindamonhangaba, separadas entre si pelos altos do Rio Putins, de Caçapava, do Rio Una e de Aparecida, possivelmente originados por falhamentos normais de orientação geral NNW (SAAD, 1990).

Desde o início do século a litoestratigrafia da bacia tem sido constantemente revista, seja pela gênese das fácies sedimentares ou pela proposição de novos nomes às formações. A coluna estratigráfica mais aceita tem sido aquela proposta por HASUI e PONÇANO (1978) que engloba no Grupo Taubaté as formações Tremembé (ALMEIDA 1955, *apud* SAAD, *op cit.*) e Caçapava (CARNEIRO *et al.*, 1976 *apud* SAAD, *op cit.*), ambas de idade Terciária.

A Formação Tremembé, basal, é composta por folhelhos e argilitos de cores acinzentadas, com pequenas intercalações de arenitos e brechas intraformacionais (IPT, 1981).

Tratam-se basicamente de depósitos pelíticos depositados em ambiente lacustre com contribuição de termos grosseiros de origem fluvial.

Apesar da idade desta formação ser discutível, a maioria dos autores a posicionam entre o Eoceno superior e o Oligoceno.

A Formação Caçapava abrange sedimentos arenosos e siltosos, com intercalações pelíticas de cores cinza, amarela e vermelha. Caracterizam-se por certa imaturidade textural e mineralógica, apresentando até mesmo termos arcósiolos (SUGUIO, 1969 *apud* IPT 1981; HASUI e PONÇANO, 1978). Dispõem-se

em camadas plano-paralelas ou lenticulares, exibindo estruturas características de ambiente fluvial. A idade mais aceita para esta formação é Oligoceno superior.

Os depósitos aluvionares e coluvionares Quaternários que compõem a planície aluvionar do Rio Paraíba do Sul e os terraços adjacentes, são descritos por CAMPANHA (1994) como Seqüência Vale do Paraíba ou fácies Santo Silvestre.

Os coluviões constituem depósitos de cascalho com seixos de quartzito, quartzo e, por vezes, de rochas alcalinas, dispersos em matriz areno-argilosa.

Nas proximidades dos principais rios da bacia ocorrem níveis de terraços contendo, na base, arenitos conglomeráticos a grossos, passando para arenitos finos a silticos e, no topo, siltitos e argilitos silticos caulíníticos.

As aluviões atuais do Rio Paraíba do Sul e de seus principais afluentes são constituídos, da base para o topo, por cascalhos, leitos de argila, areia ou sedimentos areno-argilosos inconsolidados. Localmente são identificadas camadas de turfa próximas à superfície.

Na zona do cinturão meândrico do Rio Paraíba do Sul, onde atua a grande maioria das minerações de areia atualmente instaladas no vale, ocorre uma seqüência sedimentar constituída, na base, por um nível decimétrico de seixos e calhaus arredondados a subarredondados, de composição predominantemente quartzosa e quartzítica, que grada para cascalhos com areias e finalmente para areias mal selecionadas, com granulometria variável de grossa a fina (IG, 1997).

As estruturas sedimentares mais comuns são estratificações cruzadas acanaladas e planares, identificadas nas areias grossas a médias, que denunciam depósitos residuais de canal e barras laterais.

3. OBJETIVOS

Diversos foram os objetivos perseguidos pelo projeto:

- a) fazer uma análise histórica identificando, analisando e comparando, através de um SIG, as alterações provocadas ao meio ambiente pelo efeito cumulativo de 36 anos de extração de areia e argila na planície aluvionar do Rio Paraíba do Sul.
- b) verificar a influência da mineração na redução do espaço naturalmente pré-disposto a outros usos do solo, como agricultura e pecuária, na várzea do Rio Paraíba do Sul;
- c) identificar áreas recuperadas ou em recuperação através de processos naturais ou induzidos;
- d) determinar as porções da Área de Preservação Permanente, junto às margens do Rio Paraíba do Sul, onde as mineradoras atuam ou já atuaram;
- e) contribuir aos estudos voltados ao planejamento ambiental, através da criação de um banco de dados sobre uso do solo, que poderá ser útil na criação de modelos ambientais do local utilizando SIG;
- f) observar a eficiência de um Sistema de Informações Geográficas quando aplicado a estudos ambientais dessa natureza.

4. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

A pesquisa desenvolvida abrange temas diversos, motivo pelo qual optou-se por apresentar o fundamento teórico de cada um deles separadamente.

4.1. O USO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

A utilização de fotografias aéreas como instrumento básico para o mapeamento de extensas áreas teve início durante a Primeira Guerra Mundial e seus princípios foram largamente desenvolvidos em decorrência dos dois grandes conflitos armados que marcaram nosso século (RICCI e PETRI, 1965).

As séries de fotografias aéreas históricas são, segundo KADMON e HARARI-KREMER (1999) as maiores fontes de informações disponíveis para os estudos de mudança da dinâmica da vegetação ao longo do tempo, uma vez que, combinam alta resolução espacial com ampla cobertura territorial e temporal. Essas características tornam as séries temporais de fotografias aéreas indispensáveis a estudos ambientais de naturezas diversas, como por exemplo a análise de mudanças no uso do solo de um local em determinado espaço de tempo.

A fotointerpretação tradicional, feita através da identificação e da delimitação manual de feições naturais com o auxílio de um estereoscópio é bastante utilizada em estudos que envolvem o reconhecimento de limites entre classes de solo, de vegetação, de litologia, etc., assim como em diversas outras pesquisas acerca da evolução do uso do solo de determinada região, a variação ao

longo do tempo do nível máximo de enchente de um rio e a identificação de zonas sujeitas à erosão, entre outras aplicações (ROCHA, 1993; AMARAL *et al.*, 1993; VACHON, *et al.* 1993; MENDONÇA e STIPP, 1993).

Atualmente são comuns trabalhos como o de ZAIZHI (2000), o de MOSSA e McLEAN (1997) e o de SCHLAGEL e NEWTON (1996) que utilizam séries temporais de mapas digitais, elaborados em ambiente de SIG, a partir da fotointerpretação de fotografias aéreas de grande escala, com o objetivo de identificar as mudanças ocorridas nas formas de uso ou cobertura do solo ao longo do tempo. WILLIAMS e LYON (1997), usando metodologia semelhante, estudaram a influência da variação do nível de água dos Grandes Lagos americano-canadenses sobre áreas alagadiças de um rio adjacente.

Além das técnicas tradicionais de fotointerpretação, cada vez mais têm sido utilizados mosaicos de fotografias aéreas digitalizadas como fonte de dados para identificação e interpretação de feições superficiais, fato notório de alguns anos para cá, quando os equipamentos domésticos de informática (*hardware e software*) passaram a ter maior capacidade de processamento, permitindo o manuseio de arquivos digitais “pesados”.

Mosaico, no sentido aqui empregado, pode ser definido como a combinação de várias imagens, gerando uma imagem única. Dentre várias aplicações, os mosaicos de fotografias aéreas podem ser utilizados para a confecção de mapas (MOIK, 1980, *apud* AFEK e BRAND, 1998). De acordo com ROBINSON *et al.* (1995) os mosaicos também são apropriados como base para a extração de informações sobre classes de solos, de geologia e de vegetação.

Como instrumento para identificar feições superficiais capazes de caracterizar um antigo sítio de disposição de materiais bélicos, POPE *et al.* (1996) fizeram uso de mosaicos de fotografias aéreas digitalizadas captadas em momentos anteriores e posteriores à instalação do depósito subterrâneo.

KADMON e HARARI-KREMER (*op cit.*) utilizaram-se de mosaicos de fotografias aéreas pancromáticas digitalizadas e processadas digitalmente, com o uso de SIG, para o estudo da dinâmica de vegetações ao longo do tempo.

No estudo em questão, optou-se pela realização da fotointerpretação em detrimento da utilização de mosaicos digitais, como será explicado adiante no capítulo “materiais e métodos”.

4.2. A PRODUÇÃO DE AREIA E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS

A areia, um agregado mineral de uso na construção civil, composto basicamente por quartzo, feldspatos e micas, é um dos bens minerais industriais mais consumidos e, conseqüentemente, o mais significativo em termos de quantidade produzida no Brasil e no mundo (CAVALCANTI, 1991). Por este motivo sua extração constitui uma das atividades mineiras com maior potencial de degradação ambiental.

A produção brasileira de areia no ano de 1996 foi superior a $99 \times 10^6 \text{ m}^3$ (DNPM, 1999), sendo que, praticamente 50% deste total (mais de $48 \times 10^6 \text{ m}^3$) foi produzido no Estado de São Paulo. Esses são os números oficiais, que como discutido por MACEDO (1998), representam apenas uma fatia da produção real - produção formalizada, que recolhe impostos, somada à informal, consumida localmente sem o recolhimento de taxas.

BAUERMEISTER (1996) cita quatro grandes regiões produtoras de areia no Estado de São Paulo que abastecem a Região Metropolitana da Capital: a Grande São Paulo, os vales dos rios Paraíba e Ribeira e a Bacia do Paraná. Segundo o autor,

a região do Vale do Paraíba responde por mais de 50% do abastecimento da Grande São Paulo e tem sua extração cada vez mais concentrada na várzea do Rio Paraíba do Sul.

A areia, bem como outros agregados utilizados na construção civil, é normalmente encontrada nos depósitos aluviais de sistemas fluviais (figura 2), seja no leito dos rios, na sua planície de inundação ou em terraços antigos (SANDECKI, 1989). Também ocorre em formações de praias e dunas.

A extração de areia pode ser realizada por três métodos distintos, escolhidos de acordo com as características da jazida: cava seca, cava submersa e lavra em leito de rio.

No município de Jacareí a mineração de areia no leito do Rio Paraíba do Sul está extinta desde 1992. Enquanto isso, na planície aluvial do rio, o processo de exploração tipo cava submersa (figuras 3 e 4) é quase exclusivo, como mostra o mapa de localização dos portos da figura 5. Este método consiste na utilização de draga embarcada (foto 1), munida de três bombas centrífugas, uma de mistura e duas de água limpa, onde são acoplados alguns tubos condutores de água usados para desmontar as paredes da cava e outros que têm a função de auxiliar o recalque da mistura (VALVERDE, 1997).

A polpa de areia é descarregada, por meio de tubos, em barcaças com câmaras estanques (fotos 2 e 3). Cheias, elas são rebocadas até as margens da cava onde depositam a mistura. Do leito da cava o “minério” é bombeado ou por uma draga montada em estação fixa (VALVERDE, *op cit.*), ou por uma segunda draga flutuante (IG, 1997) até as peneiras e silos (foto 4), havendo o descarte dos finos na própria cava.

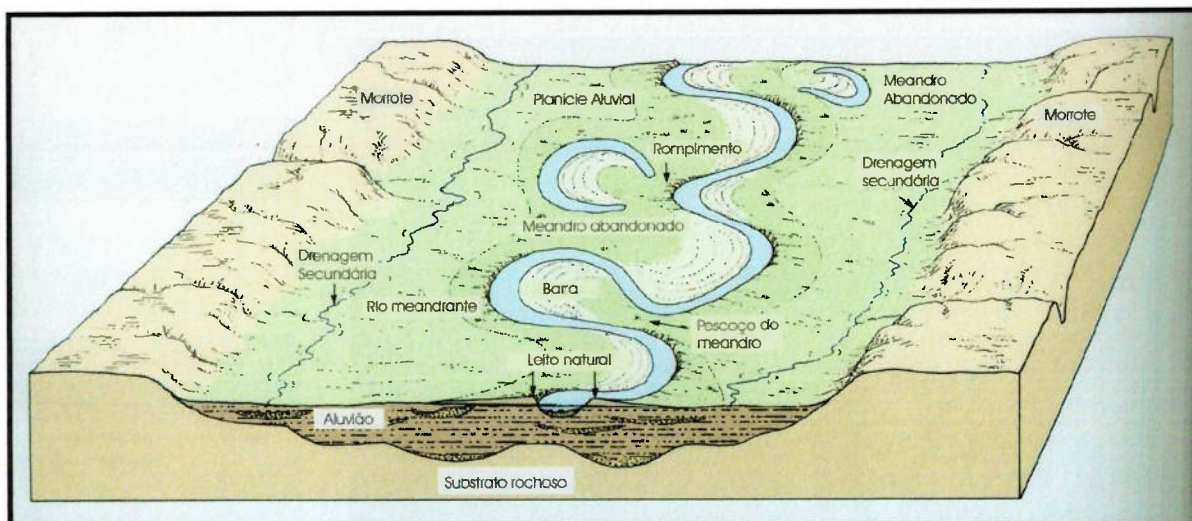


Figura 2: Características de um sistema fluvial. (Modificado de HAMBLIN e CHRISTIANSEN, 1998).

A mineração Oásis é a única que utiliza o método da cava seca (foto 5) para extrair areia na área estudada. Este processo consiste em fazer o jateamento da formação arenosa (desmonte hidráulico), provocando a desagregação da areia, fazendo com que a mina evolua para o formato de uma cava.

Ao ser desagregada, a areia misturada com água, vai por gravidade, para a bacia de acumulação no fundo da cava, de onde é bombeada para a planta de beneficiamento (VALVERDE, 1997). Com a evolução da cava pode-se atingir o lençol freático, tornando necessário retirar a água através de bombeamento.

No Vale do Paraíba as atividades de extração e fornecimento, em quantidades significativas, de areia para construção civil, iniciaram-se por volta de 1949. Nesta época, as pressões advindas do crescimento urbano e o declínio da atividade extrativa nas regiões produtoras da Grande São Paulo - vales dos rios Pinheiros e Tietê - desencadearam um processo de migração dos mineradores para outras áreas (SEABRA, 1987).

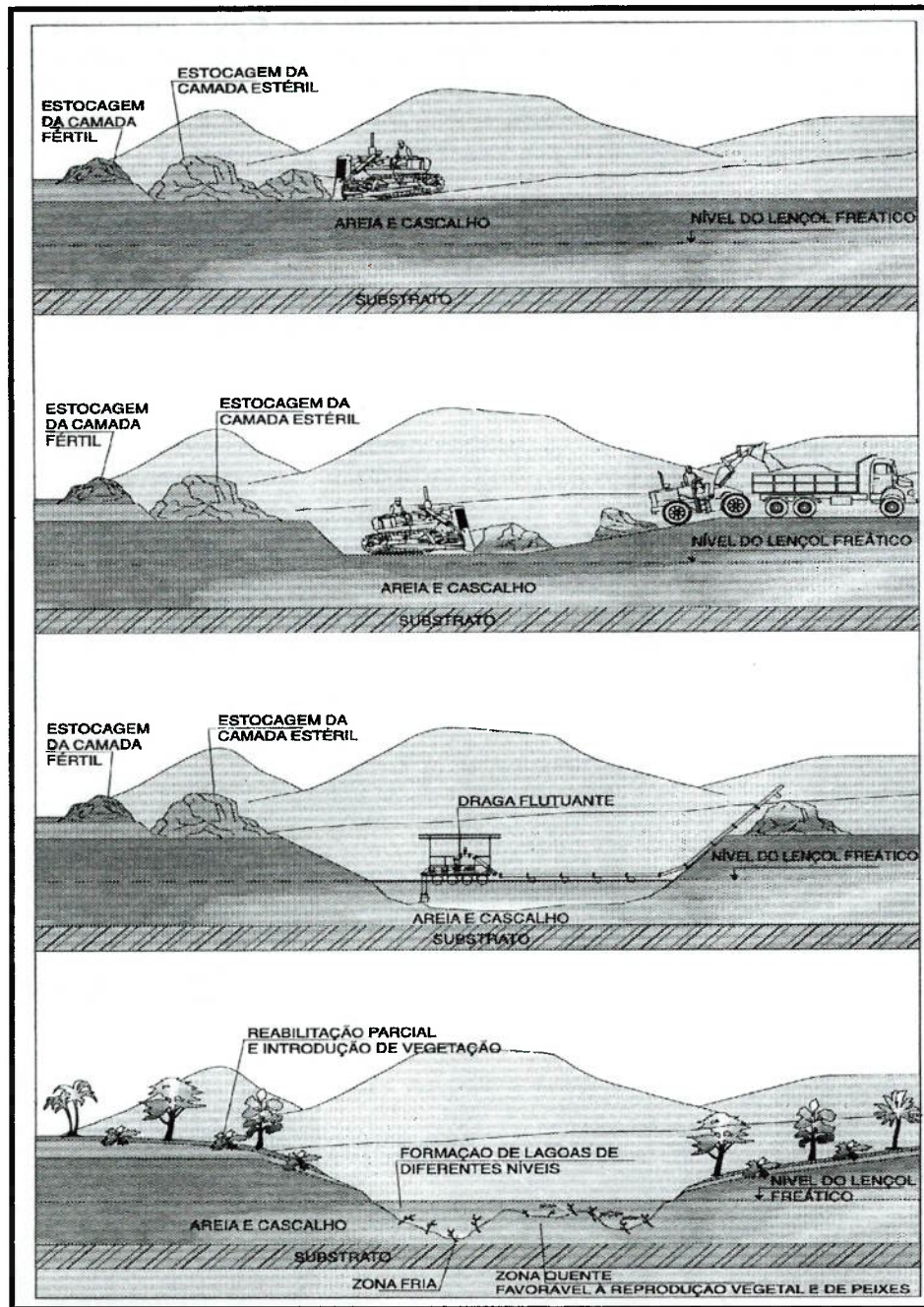


Figura 3: Fases do processo de extração de areia em cava submersa. (Extraído de BRUSCHI e PEIXOTO, 1997).

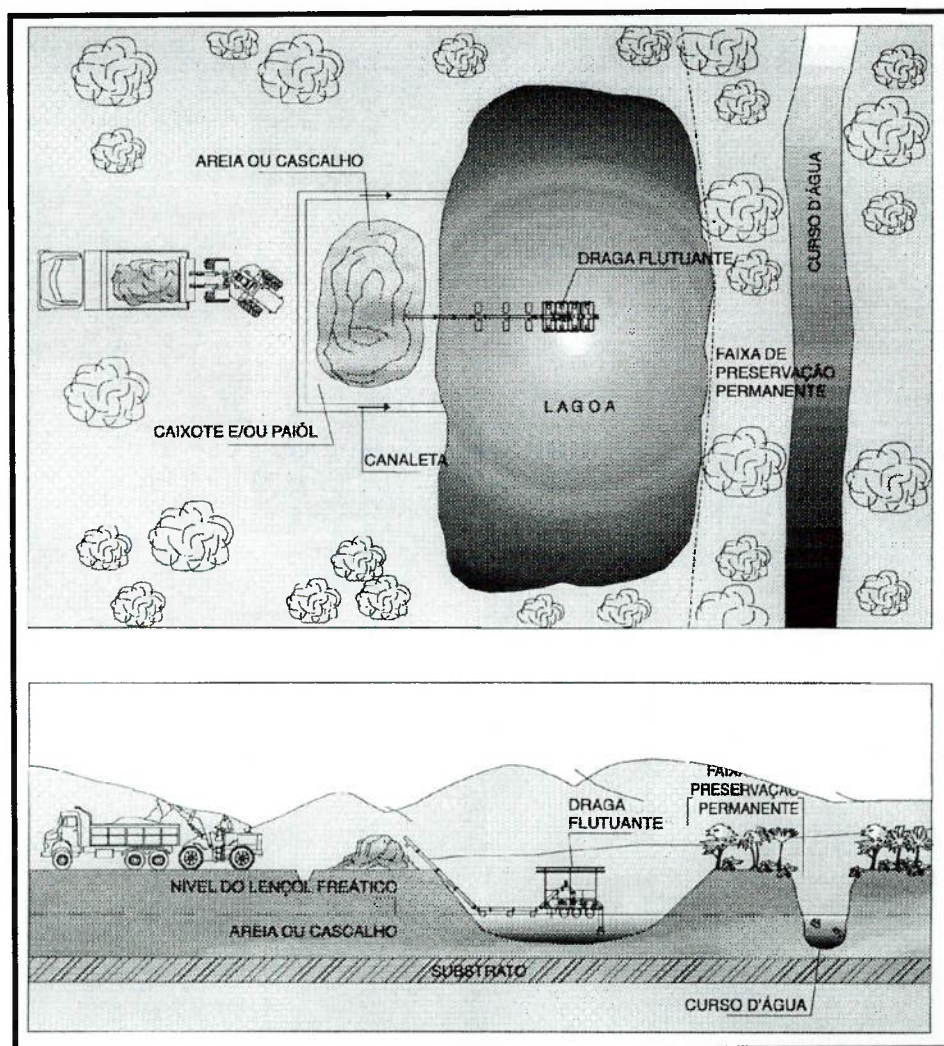


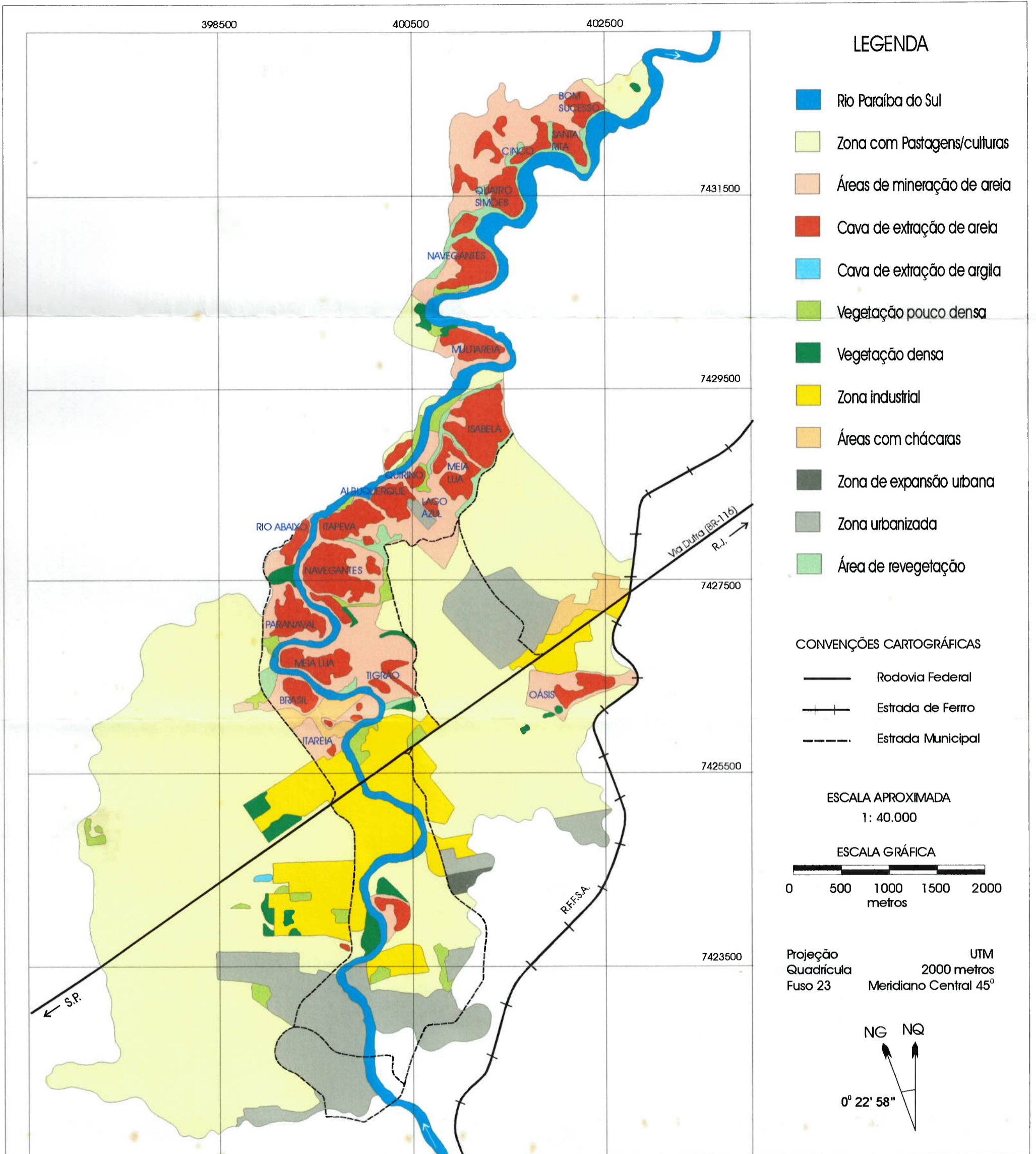
Figura 4: Representação da lavra de areia tipo cava submersa. (Extraído de BRUSCHI e PEIXOTO, op cit.).

O Vale do Paraíba passou, então, a ser uma região bastante requisitada pelos extratores devido a três motivos principais: a presença de uma grande quantidade de bancos de areia ao longo do rio Paraíba, a proximidade da cidade de São Paulo e a implantação da rodovia Presidente Dutra que facilitou o acesso à região. Naquele período as atividades extrativas se concentraram às margens do Rio Paraíba do Sul, na região de Jacareí, espalhando-se mais tarde rumo aos municípios de São José dos Campos e Caçapava (SAUSEN, 1988).

Analisando fotografias aéreas de diferentes datas SAUSEN (*op cit.*) constata que, a partir de 1960, com a elevação da demanda motivada pelo crescimento urbano da Região Metropolitana de São Paulo, houve a transformação do processo extrativo da areia por meio da substituição de ferramentas rudes e pouco produtivas como as pás, por dragas. A consequência foi um significativo aumento na produção.

Por volta de 1977 começou a ocorrer, de forma mais efetiva, a exploração de areia em cavas, principalmente no município de Jacareí. Esta mudança foi motivada pela redução drástica da porcentagem de sedimentos arenosos no leito do Rio Paraíba do Sul, o que obrigou os mineradores a atuarem na planície aluvial do rio. Iniciou-se, então, a proliferação de cavas em direção às cidades de São José dos Campos e Caçapava (SAUSEN, *op cit.*).

O Vale do Paraíba era, no ano de 1994, o maior centro de extração de areia destinada à construção civil do Estado de São Paulo. Segundo estimativa da extinta AIMEA (Associação das Indústrias de Mineração e Extração de Areia do Vale do Paraíba) naquele ano a extração atingiu o volume de 1.000.000 m³/mês. O maior número de empreendimentos estavam instalados entre Jacareí e Caçapava, porém era entre Taubaté e Pindamonhangaba que vinham sendo instalados a maior parte dos novos portos. A exploração de areia através de cavas submersas representava, em meados daquele ano, cerca de 80% da produção local (CETESB, 1994).



LEGENDA

- Rio Paraíba do Sul
- Zona com Pastagens/culturas
- Áreas de mineração de areia
- Cava de extração de areia
- Cava de extração de argila
- Vegetação pouco densa
- Vegetação densa
- Zona industrial
- Áreas com chacaras
- Zona de expansão urbana
- Zona urbanizada
- Área de revegetação

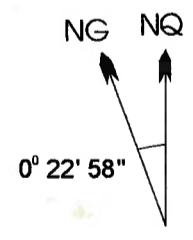
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovia Federal
- Estrada de Ferro
- Estrada Municipal

ESCALA APROXIMADA
1: 40.000



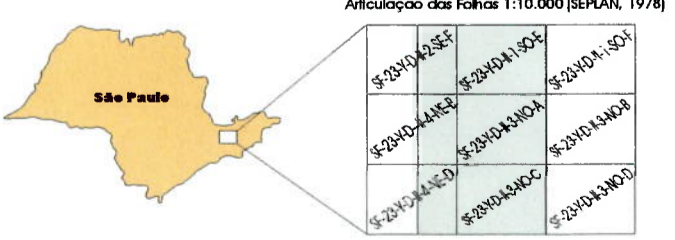
Projeção UTM
Quadrícula 2000 metros
Fuso 23 Meridiano Central 45°



MAPA ELABORADO A PARTIR DE FOTOS AÉREAS DE ESCALAS 1:6.000 E 1:10.000 - MUNICÍPIO DE JACAREÍ (SP)
- FOTOS DE ESCALA 1:6.000: OBTIDAS EM 1997 PELA BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S.A.
- FOTOS DE ESCALA 1:10.000: OBTIDAS EM 1998 PELO INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS.

Base: Folhas Planialtimétricas, 1:10.000 - SEPLAN (1978)

- SF-23-Y-D-II-4-NE-B - Faz. Santana do Rio Abaixo
- SF-23-Y-D-II-4-NE-D - Esperança
- SF-23-Y-D-II-1-SO-E - Fazenda do Poço
- SF-23-Y-D-II-3-NO-A - Jacareí I
- SF-23-Y-D-II-3-NO-C - Jacareí II



**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Figura 5: Localização dos portos de areia da área de estudo

Dissertação de mestrado: "Determinação de indicadores de impactos ambientais cumulativos decorrentes da mineração de areia no Vale do Paraíba através de geoprocessamento"

Agosto 2000

Autor: Eder Luiz Sarto



Foto 1: *Draga flutuante (embarcada) estacionada no porto Navegantes.*



Foto 2: *Dragagem em cava submersa com carregamento de barcaça. Porto Navegantes.*



Foto 3: Carregamento de barçaça no porto Paranaval.



Foto 4: Dragagem em ponto de descarregamento de barçaças (porto Paranaval).



Foto 5: Equipamento de bombeamento de polpa em cava seca (Porto Oásis).

Dados levantados por BAUERMEISTER (1996) demonstram que a várzea do Rio Paraíba do Sul era, àquela época, a maior produtora de areia do Estado de São Paulo, sendo que as cavas submersas estavam amplamente disseminadas na porção da várzea entre Jacareí e Pindamonhangaba, exceção feita ao Município de São José dos Campos que proibia a abertura de cavas nesses terrenos.

O mesmo autor atribuía ao vale do Paraíba a produção de 740.000 m³/mês de areia naquela época, dos quais 83,7% eram destinados ao abastecimento da Grande São Paulo e 15,5% supriam a demanda da própria região. No quadro 1 consta a classificação dos municípios que mais produziam areia no vale e a participação individual de cada um deles no abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Quadro 1: Principais produtores de areia do Vale do Paraíba, inclusive Mogi das Cruzes, e sua participação no mercado da RMSP. (Fonte: BAUERMEISTER, 1996).

MUNICÍPIO	PRODUÇÃO MENSAL (M ³)	PRODUÇÃO DESTINADA À RMSP (M ³ /MÊS)	PARCELA DO ABASTECIMENTO DA RMSP (%)
TREMembé	174.000	159.100	14,81
CAÇAPAVA	150.400	125.600	11,70
MOGI DAS CRUZES	143.600	131.300	12,23
JACAREÍ	121.500	116.350	10,83

A alta qualidade da areia destinada à construção civil encontrada no Vale do Paraíba e a proximidade aos grandes centros urbanos, resultaram na concentração de inúmeras cavas submersas de extração desse bem mineral nas margens do Rio Paraíba do Sul, as quais, em muitos casos, encontram-se dentro da faixa de preservação permanente protegida pelo Código Florestal (LEMOS *et al.*, 1997).

As cavas de extração de areia da várzea do rio Paraíba variam em formato, tamanho e profundidade (variável entre 4 e 30 m), de acordo com a espessura da camada de areia. A camada arenosa depositada na várzea do Rio Paraíba do Sul apresenta as maiores espessuras em Jacareí – 18 m a 28 m - diminuindo em direção a Pindamonhangaba (IG, 1997).

A extração de areia tanto em cavas submersas como em leitos de rios, produz uma série de problemas ambientais como: esterilização da superfície do terreno, contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido ao derramamento de óleos e graxas, aumento da turbidez das águas, mudança de uso do solo com a dragagem de áreas agrícolas (BAUERMEISTER, *op cit.*); desmatamento, rebaixamento do leito do rio e incremento da taxa de erosão pela

modificação do regime hidráulico, perda do solo devido à elevação da taxa de erosão, assoreamento da coleção hídrica superficial pelas argilas e siltes provenientes do processo extrativo, modificação das características ecológicas do corpo d'água pela remoção dos sedimentos de fundo, perda da mata ciliar, formação de lagoas, descaracterização da paisagem (MARTOS *et al.*, 1992); invasão de áreas de proteção ambiental, modificação do perfil transversal do canal do rio (SILVA, 1997).

Os impactos ambientais negativos se agravam com a ação conjunta de vários portos de areia, capazes de produzir um efeito cumulativo de degradação muitas vezes superior à capacidade de absorção do meio, podendo até mesmo causar o rebaixamento do nível do rio (MURGEL *et al.*, 1992).

Estudos realizados por SHIMIZU *et al.* (1995), LEMOS *et al.* (1997) e por LEMOS (1999) no Município de Jacareí indicam que a extração de areia interfere na qualidade ambiental tanto das cavas submersas ativas como das abandonadas.

Nas cavas ativas as principais interferências são:

- Nos processos físicos atuantes na água - aumento da cor, da turbidez e dos resíduos - e nas concentrações iônicas - diminuição do pH, cálcio, bicarbonatos e dureza; aumento dos metais em suspensão;
- Nas características granulométricas dos sedimentos - homogeneidade e ausência da fração areia;
- Na comunidade biótica - pobre e pouco diversificada.

Por outro lado, nas cavas abandonadas ocorre:

- Estratificação da coluna d'água – a porção superficial é rica e diversificada - enquanto a porção mais profunda é geralmente anóxica;
- Acúmulo de metais nos sedimentos silto-argilosos dificulta o estabelecimento de comunidades bentônicas.
- Processo lento de reabilitação da comunidade de peixes.

Fora do Brasil os problemas ambientais decorrentes da mineração de agregados vêm sendo estudados desde a década de setenta. SANDECKI (1989), tendo como referência os trabalhos de BULL e SCOTT (1974), da WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS (1976), da ENVICOM CORPORATION (1979), de CHANG e HARP (1980) e do CALIFORNIA DEPARTMENT of WATER RESOURCES (1984), cita os seguintes efeitos ambientais que podem ser causados pela mineração em leitos de rios:

- erosão do leito e de barras de meandro a jusante da lavra, causando a exposição da rocha sã ou produzindo mudanças na configuração do canal do rio;
- redução da granulometria dos sedimentos encontrados no local após a mineração e incremento da quantidade de partículas siltosas a jusante;
- mudanças na distribuição ou a completa remoção das camadas de sedimentos do fundo do rio afetando significativamente o ambiente aquático e os peixes;
- degradação do canal do rio ocasionando o solapamento de estruturas de obras de engenharia como pontes, oleodutos, etc.;
- rebaixamento do nível do lençol freático devido à dragagem, que pode levar à redução do volume de água subterrânea armazenada e conseqüente destruição do ambiente ciliar.

O autor também faz menção ao fato de que todos os impactos da extração de agregados em rios não chegam a ser percebidos durante anos. Isto só é sentido gradualmente, ao longo do tempo.

Efeitos ambientais da extração de areia e cascalho em leito de rio como, por exemplo, a alteração da forma do canal - principalmente o aprofundamento do leito a jusante e a montante da lavra - provocam a perda de locais de desova de peixes e de habitats ciliares, o solapamento de pontes e outras estruturas, além do rebaixamento do nível da água do rio (KONDOLF, 1994).

Comunidades bióticas de invertebrados e peixes são afetadas diretamente pela extração de cascalho em leitos de rios. Os invertebrados habitantes desses locais sofrem significativa redução em termos de densidade de espécies e de biomassa. Também a porcentagem de peixes é reduzida significativamente devido à perda de habitats (BROWN *et al.*, 1998).

As minerações atuantes em planícies aluviais destroem as matas ciliares, promovem a mudança de uso do solo, transformam extensas áreas de várzea em cavas submersas geralmente separadas dos rios por uma estreita faixa de terra e que podem ser capturadas pelo canal, produzindo os mesmos efeitos ambientais atribuídos às minas que atuam no leito do rio (KONDOLF, 1997).

Por outro lado, a extração de areia e cascalho em leito de rio também produz impactos positivos, a medida que pode ser útil para: reduzir, localmente, os efeitos de enchentes; estabilizar canais de rios com alta taxa de sedimentação; produzir insumos para a construção civil (SANDECKI, 1989).

Historicamente o setor areeiro do Brasil não possui tradição de preservação ambiental e geralmente não são tomadas medidas mitigadoras dos impactos negativos. Além disso, após a desativação da mineração, o local geralmente é abandonado sem melhorias, com lagoas relativamente profundas e com taludes

acentuados, gerando conflitos com outros usos do solo e da água, propiciando a utilização inadequada da área (foto 6). Como consequência, as áreas de mineração podem se tornar focos de problemas ambientais como degradação e contaminação, e sociais através da ocupação humana em condições precárias, sem abastecimento de água nem esgotamento sanitário (LEMOS *et al.*, 1997 e LEMOS, 1999).

Ainda hoje, parte dos mineradores, em especial aqueles que atuam na extração de agregados para a construção civil, demonstram certa resistência em destinar parte dos investimentos às ações de controle e melhoria do meio ambiente. Entretanto, nota-se que a preocupação do setor mineral com relação aos danos ambientais gerados por suas atividades cresceu bastante desde o início da década de 80, devido, principalmente, à rigidez da legislação tanto na esfera estadual como federal, à fiscalização mais eficaz por parte dos órgãos ambientais, e também à sistemática de financiamento de bancos nacionais e internacionais, que evitam destinar recursos aos empreendimentos cujos projetos mostram despreocupação com os possíveis problemas ambientais que possam gerar.

A década de 80 marcou uma forte guinada na maneira da população e das autoridades pensarem e legislarem sobre o meio ambiente. Naquele momento, com o aquecimento das discussões sobre a necessidade de preservação ambiental, era instituída uma série de medidas legais obrigando as empresas, não só do setor mineral mas também de outros setores produtivos, a realizar estudos de impacto ambiental e planos de recuperação ambiental para poderem ter suas atividades regulamentadas.

A aprovação da Lei 6.938 de 31/08/81, instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, que “tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”, atendidos alguns princípios, dos quais destaca-se:

- racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- recuperação das áreas degradadas;
- proteção de áreas ameaçadas de degradação.

Através da Política Nacional do Meio Ambiente busca-se compatibilizar o “desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico”, escorado por instrumentos como: o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais (AIA), e o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

Na esteira da Lei de Política Ambiental, surgiram diversos outros dispositivos legais que afetaram diretamente as atividades extrativas minerais. Um exemplo é a Resolução CONAMA 001 de 1986, que instituiu a obrigatoriedade da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para o licenciamento de uma série de atividades modificadoras do meio ambiente, inclusive a mineração. A própria Constituição Federal do Brasil de 1988, reza, em seu artigo 225, parágrafo 2º, que *“aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”*.

Buscando promover a recuperação de áreas degradadas pela mineração foram criados dispositivos legais específicos como o Decreto Federal 97.632 e a Resolução Estadual SMA 18, ambos em 1989, que impuseram a necessidade de elaboração e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para todos os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais, inclusive os já estavam em funcionamento antes da aprovação dessas regras.

Como consequência da aplicação dessas regulamentações ambientais, principalmente da Resolução CONAMA 001/86, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo protocolizou, entre os anos de 1987 e 1990, estudos ambientais referentes a 66 portos de areia instalados na Região do Vale do Paraíba, segundo levantamentos realizados por ACHE (1991).



Foto 6: A invasão do espelho d'água por macrófitas aquáticas devido ao lançamento de esgoto na cava abandonada do antigo porto Albuquerque.

4.3. INDICADORES AMBIENTAIS

Indicadores ambientais são parâmetros ou um conjunto de parâmetros, passíveis de serem medidos, através dos quais pode-se identificar possíveis mudanças de ordem física, química, biológica ou sócio-cultural, a que determinado meio ambiente foi submetido, seja por ação antrópica ou por processos naturais. Como exemplos podem ser citados indicadores como pH, taxa de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e turbidez, que são parâmetros químicos e físicos mensuráveis, usados para determinar a qualidade das águas.

Os indicadores ambientais são comumente empregados na determinação de alterações do meio ambiente impostas pela intervenção antrópica. Entretanto, nem todas as transformações sofridas pelo ambiente podem ser atribuídas à ação do homem. No caso de mudanças de curto prazo pode ser difícil a distinção entre causas naturais e antrópicas, o que exige o estabelecimento de parâmetros para avaliar os componentes naturais de cada mudança (COLTRINARI e McCALL, 1995).

Segundo os mesmos autores, os fatores geológicos têm sido preteridos, como indicadores de mudanças ambientais, em favor dos fatores biológicos, ecológicos e sócio-econômicos, embora as mudanças profundas, velozes e negativas que afetam o meio ambiente sejam, em grande parte, originadas por processos geológicos.

Buscando contribuir aos estudos sobre indicadores geológicos, foi criado no início da década de 90, o Grupo de Trabalho sobre Geo-indicadores ligado à Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT) da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS). Com a instalação do grupo surge a definição de geo-indicadores como sendo a

"medida de magnitudes, freqüências, taxas e tendências de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de 100 anos ou menos, na - ou próximo à - superfície terrestre e que estão sujeitos a variações significativas para a compreensão das mudanças ambientais rápidas". Os geo-indicadores mensuram os eventos catastróficos e aqueles graduais mas evidentes no intervalo de uma vida humana (BERGER, 1996(a), 1996(b), 1997; COLTRINARI e McCALL, *op cit.*).

Seguindo na mesma linha de pesquisa, ELLIOTT (1996) define indicadores geo-ambientais como sendo "parâmetros geológicos que permitem a identificação e a medida de mudanças ambientais que podem ser significantes à raça humana e a partir dos quais pode-se fazer uma tentativa de estimar a contribuição antrópica nestas mudanças". Os termos indicadores geo-ambientais são aplicados aos geo-indicadores que podem ser selecionados especificamente para monitoramento ambiental.

Os geo-indicadores podem ser usados para estudar mudanças ambientais globais ou regionais em:

- Sistemas fluviais;
- Zonas costeiras;
- Solos e água subterrânea;
- Ambiente urbano;
- Zonas Tropicais áridas ou úmidas;
- Ambientes glaciais, etc.

A compreensão das alterações em cada um desses sistemas só é possível com a análise de um conjunto de indicadores ambientais específicos, monitorados em intervalos de tempo que normalmente variam de 1 a 50 anos ou mais.

Existem três tipos de indicadores ambientais, de acordo com ELLIOTT (*op. cit*):

1. aqueles que representam um valor em determinado tempo (usualmente o valor corrente);
2. os que fornecem uma seqüência de valores históricos (séries temporais);
3. e outros que representam uma mudança, ou a diferença entre valores sucessivos.

Esses indicadores podem ser analisados de várias formas. Comumente são realizadas medições:

- geoquímicas (ex: metais pesados);
- físicas (ex: temperatura);
- espaciais (ex: áreas, vetores);
- paleobiológicos (ex: diversidade de espécies, abundância, etc.).

Parâmetros capazes de revelar mudanças ambientais podem ser obtidos com observações meteorológicas, estudos de laboratório, trabalhos de campo, fotografias aéreas ou imagens de satélite.

No seu trabalho "Geo-indicadores: ciências da Terra e mudanças ambientais", COLTRINARI e McCALL (*op cit.*) listam uma série de indicadores de mudanças ambientais em zonas tropicais úmidas, mencionam ainda, a frequência e como podem ser medidos, e qual o agente causador dessas alterações. No quadro 2 são destacados alguns desses indicadores, direcionados ao estudo do meio físico e da vegetação, passíveis de avaliação via fotografias aéreas.

A análise das causas de mudanças ambientais repentinas é tarefa árdua, que deve envolver, na busca por respostas, o estudo integrado dos aspectos físicos, químicos, biológicos e antrópicos que interagem num mesmo ambiente.

Quadro 2: Alguns indicadores de mudanças ambientais na zona tropical úmida. (Adaptado de COLTRINARI e McCALL, 1995).

INDICADOR	CAUSA	FREQÜÊNCIA (ANOS)	DADOS
Mudança no padrão de drenagem e perfil de canal fluvial	N - A	1-50 ou +	HI, FA, S, TC
Erosão/sedimentação por atividade antropogênica: mineração, cultivo, etc.	A	1-50 ou +	HI, FA, S, TC
Erosão do solo: escorregamentos, ravinamentos, etc.	N - A	1-50 ou +	HI, FA, S, TC
Vegetação: distribuição, deforestação e mudanças do uso do solo	N - A	1-5	FA, S

Legenda: N = natural; A = antropogênica; HI = medidas hidrológicas; FA = fotos aéreas; S = imagens de satélite; TC = trabalho de campo

FORNASARI FILHO *et al.* (1992), estudaram as alterações às quais o meio físico está exposto, principalmente em decorrência da ação antrópica traduzida em obras de engenharia.

Para estes autores, o meio físico é a parte do ambiente onde ocorre a interação de componentes predominantemente abióticos, isto é, materiais terrestres (solos, rochas, água e ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras). Nele atuam "processos do meio físico que se referem à sucessão de fenômenos potencializados pela interação de componentes materiais e tipos de energia, podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos, biológicos ou humanos, em um determinado ambiente".

Tais pesquisadores entendem que os processos do meio físico podem ser analisados por parâmetros representados por índices quantitativos ou qualitativos, que reflitam propriedades de um determinado ambiente. Estes processos são alterados por ações humanas. O processo de erosão pela água, por exemplo, é modificado por atividades que exigem a retirada da vegetação e do solo superficial e a disposição de rejeitos, como é o caso da mineração.

Em uma abordagem semelhante, BITAR *et al.* (1993), ao estudarem a recuperação de áreas degradadas, introduzem os termos "indicadores geológico-geotécnicos" como sendo alterações do meio físico quantificáveis por meio de parâmetros. Dessa forma, os mecanismos de degradação do solo correspondem a mudanças na dinâmica dos processos do meio físico, onde a magnitude da alteração deve ser medida através de um ou mais parâmetros.

Os autores relacionam diversos "indicadores geológico-geotécnicos" acompanhados de seus parâmetros e respectivas unidades de medição, cuja identificação é importante para a projeção de medidas de recuperação ambiental. Alguns indicadores relevantes em projetos de mineração são:

- feições erosivas de pequeno porte – onde os parâmetros são o comprimento (m), a profundidade média (m), área afetada (ha) e aporte do escoamento (m³/s) de águas em superfície, em sulcos ou ravinas.

- posicionamento dos níveis freáticos – os parâmetros são as profundidades médias (m) de elevação e/ou rebaixamento, e a amplitude de oscilação (m) dos níveis piezométricos, além da ocorrência de intercepções nos lençóis freáticos e formação de pequenas lagoas.
- assoreamento – além da classificação do material sedimentado (areia, silte, argila, detritos), os parâmetros de interesse à recuperação são dados pelo volume (m³) e pela área (m²) ocupada pelo material no corpo ou curso d'água.

No projeto de pesquisa desenvolvido, buscou-se identificar os indicadores de impactos ambientais cumulativos provocados pela extração de areia em cavas, durante os 36 anos abrangidos pelo trabalho. Os principais parâmetros analisados foram:

- a) área ocupada pelas minerações de areia, principalmente pelas cavas submersas em fase de lavra ou abandonadas;
- b) taxa de desmatamento - perda da mata ciliar ou de outras formações vegetais - em decorrência das atividades mineiras;
- c) alteração do canal do rio ou mudança da sua fisionomia como consequência do avanço da mineração de areia;

4.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Um SIG é um sistema auxiliado por computador usado para aquisição, armazenamento, gerenciamento, manipulação, análise, modulação e visualização de dados espacialmente referenciados para auxiliar em planejamentos complexos e

problemas gerenciais (U.S. Federal Interagency Coordinating Committee, 1988 *apud* ROBINSON, 1995).

Os sistemas são compostos por uma variedade de elementos distintos interrelacionados (figura 6). Seus principais componentes são: banco de dados espacial e de atributos, sistema de visualização cartográfica, sistema de gerenciamento de banco de dados, sistema de análise geográfica, sistema de análise estatística, sistema de apoio à decisão e sistema de processamento de imagens (EASTMAN, 1997).

Embora as primeiras tentativas de fundamentação técnica de um Sistema de Informação Geográfica tenham surgido na década de 40, com o desenvolvimento do primeiro computador eletrônico, somente em 1964 foi desenvolvido pelo Canadian Geographic Information Systems (CGIS) o primeiro sistema a ser considerado um SIG (TONLINSON, 1984 *apud* TEIXEIRA *et al.*, 1995).

A chegada do SIG à cena cartográfica causou grande impacto, uma vez que, usando tecnologia analógica, os cartógrafos coletavam e armazenavam os dados e elaboravam os mapas. Com a tecnologia digital os cartógrafos continuam desempenhando as mesmas funções, só que uma nova classe de usuário-cartógrafo pode, agora, produzir seus próprios mapas usando os bancos de dados cartográficos e tecnologia digital. Isto só tornou-se possível como o surgimento dos SIGs (ROBINSON, *op cit.*).

Os SIGs possuem poderosas ferramentas de análise de mudanças espaciais (JOHNSON, 1990). Esta é uma capacidade importante, que os torna interessantes como instrumentos de auxílio aos estudos ambientais, uma vez que, esse tipo de análise freqüentemente envolve a mensuração de variáveis cuja magnitude e distribuição espacial variam ao longo do tempo (SCHALAGEL e NEWTON, 1996).

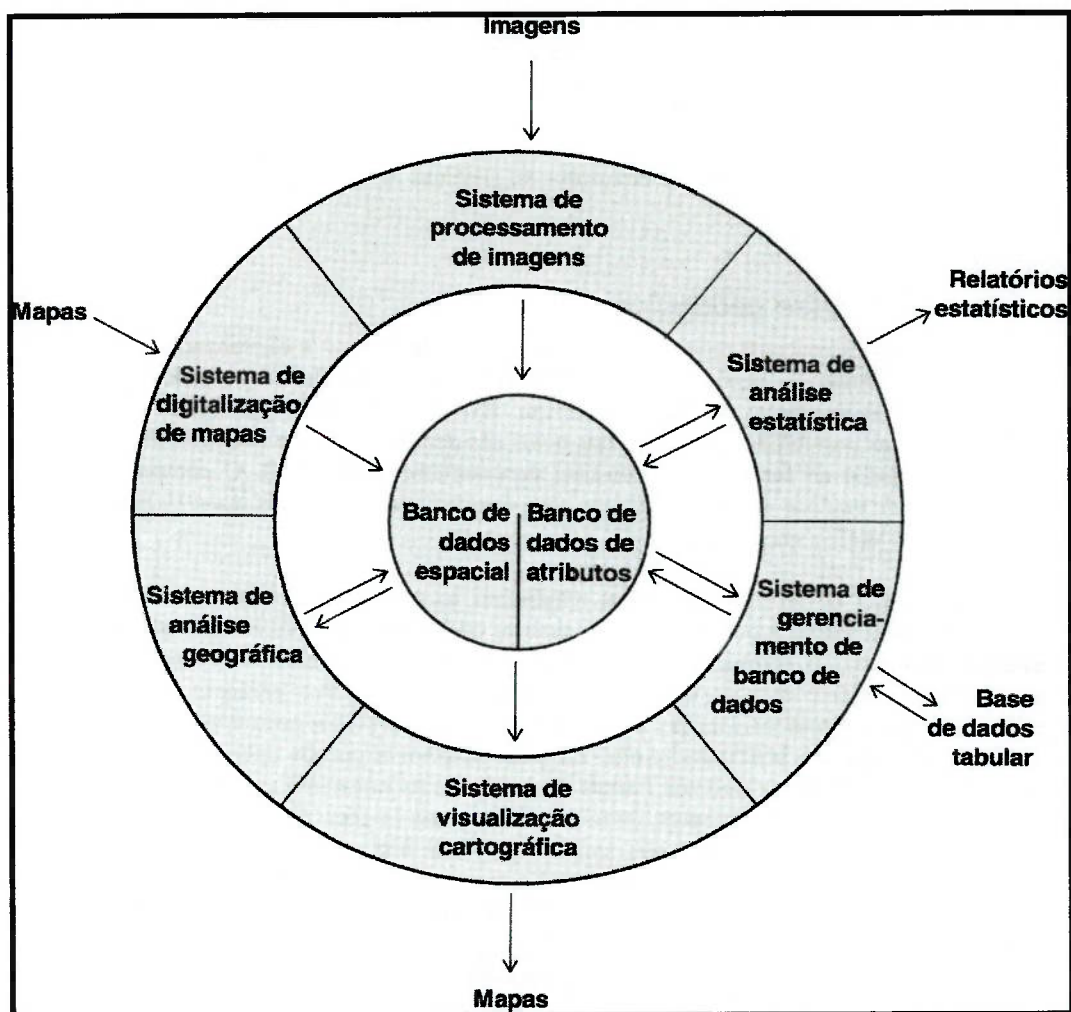


Figura 6: Componentes de um SIG.

As principais propriedades do SIG são, segundo GOES (1994):

- dar maior eficiência na organização de dados espaciais;
- auxiliar nas tomadas de decisões;
- proporcionar a atualização dos dados e informações espaciais com rapidez e eficiência;

- gerar modelos digitais do ambiente que podem ser abrangentes em área geográfica e em características ambientais;
- contribuir aos estudos voltados ao planejamento ambiental, como um instrumento de alto poder analítico e de monitoramento.

O uso de produtos como mosaicos ou mapas digitais obtidos a partir de fotografias aéreas e incorporados a um SIG para análise de mudanças espaciais em áreas agrícolas (SCHALAGEL e NEWTON, 1996; ZAIZHI ,2000), de mudanças no canal de um rio e na cobertura do solo como consequência da mineração (MOSSA e McLEAN 1997), da dinâmica vegetal ao longo do tempo (KADMON e HARARI-KREMER, 1999), da caracterização de sítios de depósitos de resíduos (POPE *et al.*, 1996), entre outros - tem sido constante nos últimos anos, o que demonstra a enorme utilidade da integração entre fotografias aéreas e SIGs.

5. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

A interação entre fotografias aéreas e SIG para análises de mudanças ambientais ao longo do tempo, tem se mostrado bastante eficaz, prova disto é o grande número de trabalhos publicados que fazem uso deste par.

O estudo ora apresentado fundamentou-se no casamento entre fotos aéreas e Sistemas de Informações Geográficas, tendo sido cumpridas várias etapas intermediárias entre a fotointerpretação e a comparação dos mapas no SIG IDRISI.

5.1. MATERIAIS UTILIZADOS

De um total de 210 fotografias aéreas, foram extraídas as informações necessárias à confecção dos três mapas de uso do solo - 1962, 1986/88 e 1997/98 - da várzea do Rio Paraíba do Sul, município de Jacareí.

As imagens são todas impressas em tamanho 23 cm x 23 cm, porém de diferentes escalas: 1962 - escala aproximada 1:25.000, preto e branco; 1986 - escala aproximada 1:5.000, preto e branco; 1988 - escala aproximada 1:10.000, preto e branco; 1997 - escala aproximada 1:10.000, colorida; 1998 - escala aproximada 1:6.000, colorida.

Os aerolevantamentos foram realizados por: Aerofoto Natividade Ltda (1962); Aerodata S.A. Engenharia de Aerolevantamentos (1986); Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. (1988 e 1998); e Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais - INPE (1997). Todos os levantamentos seguiram linha de vôo de direção leste-oeste.

As imagens de 1962 (quadro 3) são de domínio público e puderam ser consultadas no Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) que gentilmente cedeu suas instalações e equipamentos destinados à análise das fotos.

Quadro 3: Fotografias aéreas utilizadas na elaboração do mapa de uso do solo de 1962.

FAIXA	FOTOS	ESCALA	TIPO	ANO DO VÔO	Nº DE FOTOS
----	4955 a 4959	1:25.000	Papel B/P	1962	05
----	5000 a 5004	1:25.000	Papel B/P	1962	05
----	5013 a 5018	1:25.000	Papel B/P	1962	06
----	5094 a 5099	1:25.000	Papel B/P	1962	06

A Secretaria de Planejamento do Município de Jacareí, detentora das imagens de 1986 e 1998 (quadros 4 e 5), permitiu o acesso às fotografias e disponibilizou equipamentos e espaço físico de suas dependências para que fosse realizada a fotointerpretação.

As fotografias aéreas de 1988 e 1997 (quadros 4 e 5) cobrem a porção norte da área de pesquisa, divisa dos municípios de Jacareí e São José dos Campos, que não foi sobrevoada nos aerolevantamentos de 1986 e 1998. Parte das imagens de 1988 foi posta à disposição pela Secretaria de Planejamento do Município de São José dos Campos e parte foi adquirida junto à empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. As fotos de 1997 foram postas à disposição pela Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), assim como equipamentos e o laboratório onde foi realizada a fotointerpretação.

Quadro 4: Fotografias aéreas usadas na confecção do mapa de uso do solo de 1986/88.

FAIXA	FOTOS	ESCALA	TIPO	ANO DO VÔO	Nº DE FOTOS
46	011 a 014	1:10.000	Papel B/P	1988	05
47	020 a 022	1:10.000	Papel B/P	1988	03
47 A	001 a 003	1:10.000	Papel B/P	1988	03
48	021 a 023	1:10.000	Papel B/P	1988	03
49	022 a 024	1:10.000	Papel B/P	1988	03
10 A	271 a 278	1:5.000	Papel B/P	1986	08
11 A	328 a 337	1:5.000	Papel B/P	1986	10
12 B	367 a 379	1:5.000	Papel B/P	1986	13
13 A	414 a 424	1:5.000	Papel B/P	1986	11
14	455 a 468	1:5.000	Papel B/P	1986	14
15	501 a 510	1:5.000	Papel B/P	1986	09
15 A	511 e 512	1:5.000	Papel B/P	1986	02
16	556 a 562	1:5.000	Papel B/P	1986	07
17	610	1:5.000	Papel B/P	1986	01
17 A	617 a 624	1:5.000	Papel B/P	1986	08
18	668 a 674	1:5.000	Papel B/P	1986	07

Quadro 5: Fotos aéreas utilizadas na geração do mapa de uso do solo de 1997/98.

FAIXA	FOTOS	ESCALA	TIPO	ANO DO VÔO	Nº DE FOTOS
13	3775 a 3777	1:10.000	colorida	1997	03
12	3769 a 3770	1:10.000	colorida	1997	02
11	3706 a 3708	1:10.000	colorida	1997	03
01	117 a 122	1:6.000	colorida	1998	06
02	129 a 136	1:6.000	colorida	1998	08
03	160 a 169	1:6.000	colorida	1998	10
04	184 a 194	1:6.000	colorida	1998	11
05	216 a 226	1:6.000	colorida	1998	11
06	242 a 251	1:6.000	colorida	1998	10
07	274 a 282	1:6.000	colorida	1998	09
08	303 a 310	1:6.000	colorida	1998	08

Como base cartográfica para o georeferenciamento dos mapas gerados através das fotografias aéreas utilizamos as seguintes cartas planialtimétricas na escala 1:10.000:

- Folha Jacaré I: SF-23-Y-D-II-3-NO-A;
- Folha Jacaré II: SF-23-Y-D-II-3-NO-C;
- Folha Fazenda do Poço: SF-23-Y-D-II-I-SO-E;

- Folha Esperança: SF-23-Y-D-I-4-NE-D;
- Folha Fazenda Santana do Rio Abaixo: SF-23-Y-D-I-4-NE-B.

No quadro 6 estão especificadas todas as fontes cartográficas utilizadas na pesquisa.

Quadro 6: Fontes cartográficas utilizadas na pesquisa.

TIPO DE MAPA	ESCALA	ÓRGÃO EXECUTOR	ANO
Planialtimétrico	1:50.000	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	1974
Planialtimétrico	1:10.000	Secretaria de Economia e Planejamento do Estado (SEPLAN)	1978
Planialtimétrico	1:25.000	Secretaria do Planejamento do Município de Jacareí (SP)	1990
Potencialidade de areia do Vale do Paraíba	1:25.000	Secretaria do Meio Ambiente do Estado (SMA) - Instituto Geológico (IG)	1997

Outros materiais, equipamentos e *softwares* utilizados:

- papel transparente, tipo poliéster, gramatura 100 µm;
- caneta à nanquim 0,5 mm;
- lápis dermatográfico Mitsubishi 7600 diversas cores;
- escalímetro;
- lapiseira 0,5 mm;

- grafites coloridos HB 0,5 mm;
- estereoscópio de espelho SOKKISHA MS-27 + lente binocular com aumento de 3 vezes;
- estereoscópio de bolso com aumento de 2,5 vezes;
- lente de aumento de 5 vezes.
- microcomputador com processador *Pentium* 233 MHz, 64 MB de memória RAM e disco rígido com capacidade para armazenar 3,0 GB de informações;
- microcomputador com processador *Pentium* II 400 MHz, 128 MB de memória RAM e disco rígido com capacidade para guardar 8,4 GB de informações;
- *scanner* de rolo, tamanho A0, capaz de reconhecer 255 tons de cinza;
- *scanner* de mesa, tamanho A4, capaz de diferenciar 256 milhões de cores;
- sistemas operacionais *Windows* 95 e 98;
- planilha eletrônica Excel, versão 7.0;
- *software* IDRISI, versão 2.0;
- programa CartaLinx, versões 1.0, 1.1 e 1.2;
- *software* CorelDRAW, versão 7;

5.2. MÉTODOS EMPREGADOS NO ESTUDO

Dois processos distintos foram utilizados na confecção dos mapas digitais de uso do solo analisados por meio do *software* IDRISI. Um aplicado aos mapas de 1962 e 1986/88 (figura 7) e outro ao de 1997/98 (figura 8).

O uso de procedimentos distintos objetivou testar a eficiência de cada um dos métodos empregados os quais serão esmiuçados adiante. Para a fotointerpretação, a análise e a edição foram seguidas etapas idênticas.

5.2.1. INTERPRETAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa foram comparados dois processos de mapeamento baseados em fotografias aéreas: fotointerpretação e mosaico digital. No primeiro, a identificação e a análise das feições (mineração, vegetação, zona urbana, etc.) presentes nas fotografias aéreas foi feita com o auxílio de estereoscópios, enquanto no segundo cada foto foi digitalizada individualmente, em seguida unidas em um mosaico com o auxílio do *software* IDRISI, e só então, os limites das classes identificadas foram traçados na tela, com o uso do mouse e do *software* CartaLinx.

Cabe ressaltar que as fotos digitalizadas não foram submetidas a nenhuma forma de classificação digital como as normalmente utilizadas em imagens de satélite para a identificação de categorias de uso do solo.

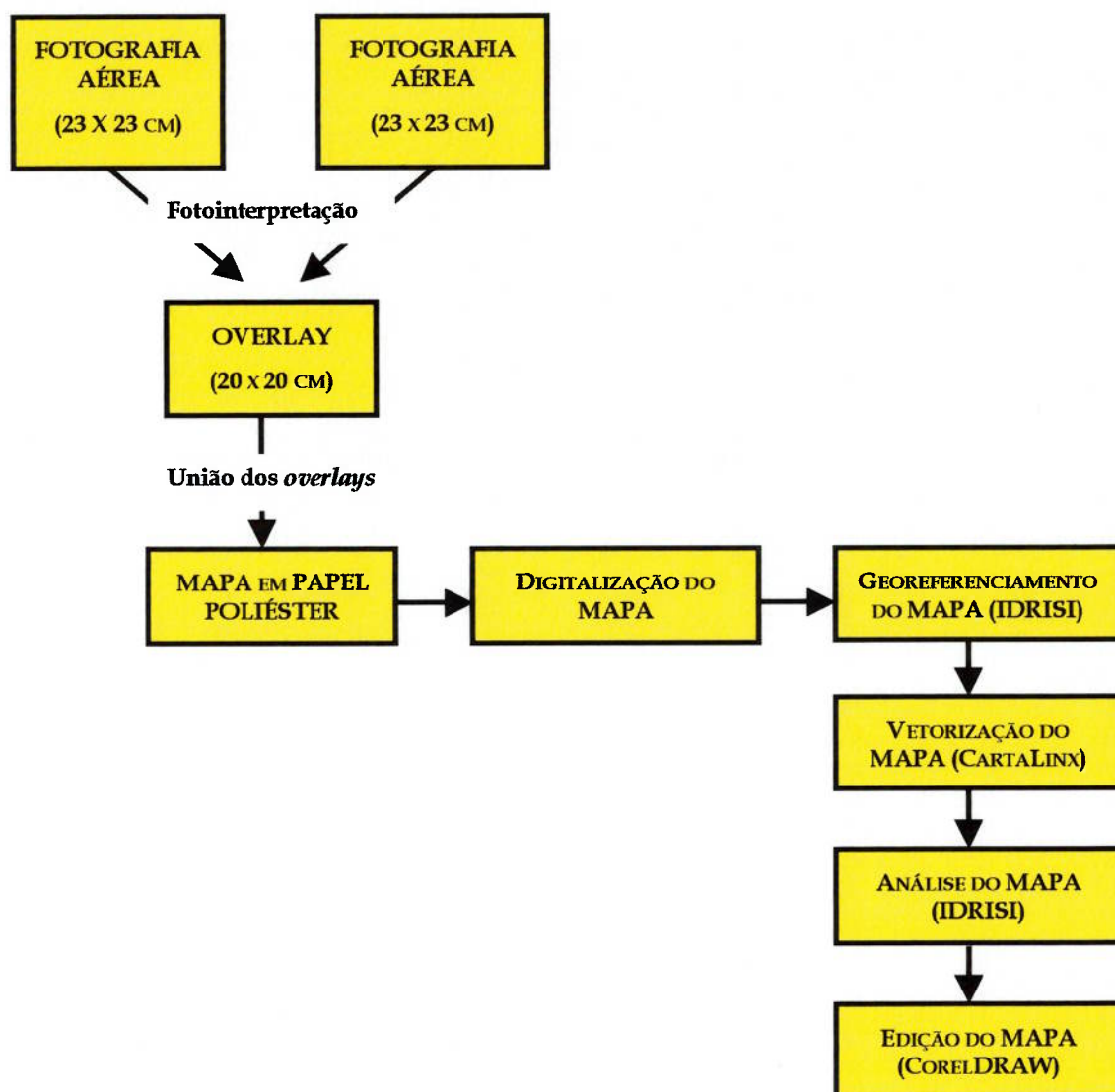


Figura 7: Fluxograma mostrando as principais etapas desenvolvidas no estudo dos mapas digitais de uso do solo de 1962 e 1986/88.

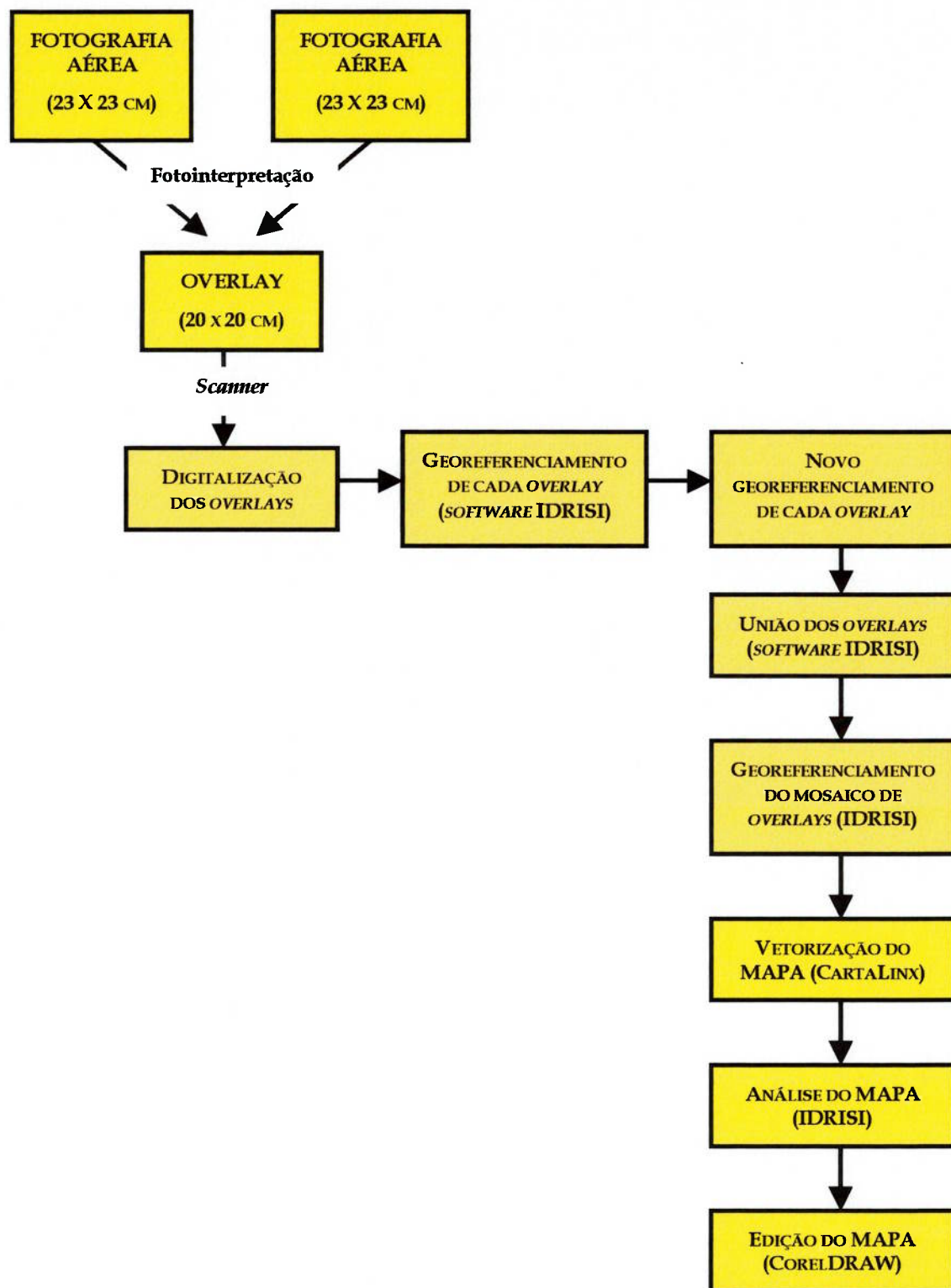


Figura 8: Fluxograma mostrando as principais etapas da elaboração e análise do mapa digital de uso do solo de 1997/98. Destaca-se, em cor ouro, os passos distintos daqueles aplicados na elaboração dos mapas anteriores.

Estabelecida a comparação, optou-se pelo uso da fotointerpretação tradicional, a qual mostrou-se mais adequada que o mosaico digital, devido, fundamentalmente, à visão em terceira dimensão propiciada pelos estereoscópios. Algumas vantagens e desvantagens de cada um dos métodos merecem citação:

- a estereoscopia possibilitou a definição precisa dos limites entre diferentes temas, como por exemplo, o limite da várzea do rio Paraíba, o que não é possível ser feito a partir de uma foto aérea digital, a não ser que seja uma ortofoto⁽⁷⁾;
- no mosaico digital de fotografias aéreas preto e branco também fica difícil distinguir algumas feições caracterizadas por zonas de tonalidades escuras - por exemplo: áreas com vegetação e um lago - principalmente se a escala não for adequada. Porém, a diferença torna-se nítida quando essas classes são analisadas por meio de um estereoscópio;
- as fotografias quando passam por um processo de digitalização via *scanner*, perdem definição se comparadas com as originais em papel, o que dificulta a identificação das classes de uso do solo;
- excessivo tamanho dos arquivos gerados por imagens escaneadas (cerca de 6,5 megabytes/foto com 300 *dpi* de resolução no formato TIFF) exige poderosas estações de trabalho e *softwares* capazes de processar mosaicos com tamanhos fabulosos (basta imaginarmos o quão grande seria um mosaico com mais de 100 fotografias aéreas com 6,5 megabytes cada);

(7)Ortofotodigital: fotografia aérea vertical que, corrigida por computador, não exhibe as distorções de borda inerentes às fotografias aéreas comuns.

- tanto os mapas como os mosaicos obtidos através de fotografias aéreas exibem distorções inerentes às fotografias aéreas verticais devido à: variação da altitude da aeronave, alteração da inclinação da câmera durante o voo e variação da altimetria do terreno.

Dois métodos principais podem ser aplicados à fotointerpretação de fotografias aéreas:

Um constitui o chamado método das chaves, utilizado desde a primeira metade deste século, e que, de modo geral, é assistemático e comparativo, tornando-se limitado, uma vez que não especifica a maneira como é realizado o processo de descoberta das feições observadas nas fotografias aéreas. De acordo com SOARES e FIORI (1976), tal método foi abordado por vários autores entre os quais RICCI e PETRI (1965) e MARCHETTI e GARCIA (1977).

O outro método, empregado por SOARES e FIORI (*op cit.*), é objetivo e criterioso. Nele, a fotointerpretação envolve três processos básicos:

- fotoleitura: reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes;
- foto-análise: estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes da imagem;
- fotointerpretação: estudo da imagem fotográfica visando a identificação e a avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos, do significado, da função e das relações dos objetos correspondentes às imagens.

A fotoleitura exige o conhecimento das técnicas e processos envolvidos na obtenção da fotografia aérea tais como a câmera, a geometria da imagem, as

propriedades da visão estereoscópica, entre outras. É um pré-requisito ao processo de foto-análise.

A análise ou caracterização de fotografias aéreas exige o estabelecimento de alguns conceitos básicos, a partir dos quais pode-se compor associações, definir formas e limites entre os elementos da imagem. Assim, a identificação da menor superfície contínua e homogênea, distinguível e possível de repetição na foto, denominada elemento textural, é fundamental para a determinação da densidade de textura, da estrutura, do grau de estruturação e da forma de elementos naturais da paisagem (relevo, drenagem, vegetação, etc.).

Após a caracterização das diversas formas de arranjo dos elementos naturais, utiliza-se a fotointerpretação para avaliar o seu significado, estabelecendo as propriedades do objeto a partir das propriedades da imagem.

Embora tenha sido desenvolvido com vistas à análise e à interpretação de fenômenos geológicos, os conceitos desenvolvidos por SOARES e FIORI (*op cit.*), podem ser aplicados na identificação de diferentes classes de cobertura do solo, como no trabalho em questão.

A interpretação tradicional de fotografias aéreas é realizada com o auxílio de estereoscópios (figura 9). Este instrumento produz a fusão de duas imagens, fazendo com que um mesmo objeto que apareça em duas fotos sucessivas, tiradas de ângulos diferentes, possa ser observado em terceira dimensão (visão estereoscópica ou estereoscopia). Essas imagens, chamadas de estereopares, normalmente possuem recobrimento horizontal (na direção da linha de vôo) de 60% e lateral (perpendicular à linha de vôo) de 30%. A estereoscopia é muito valiosa na análise de fotografias aéreas, uma vez que, possibilita a observação e a obtenção de medidas dignas de confiança (MARCHETTI e GARCIA, 1977).

As informações obtidas com a interpretação dos cinco conjuntos de fotografias aéreas constituem a base dos mapas de uso do solo de 1962, de 1986/88 e de 1997/98.

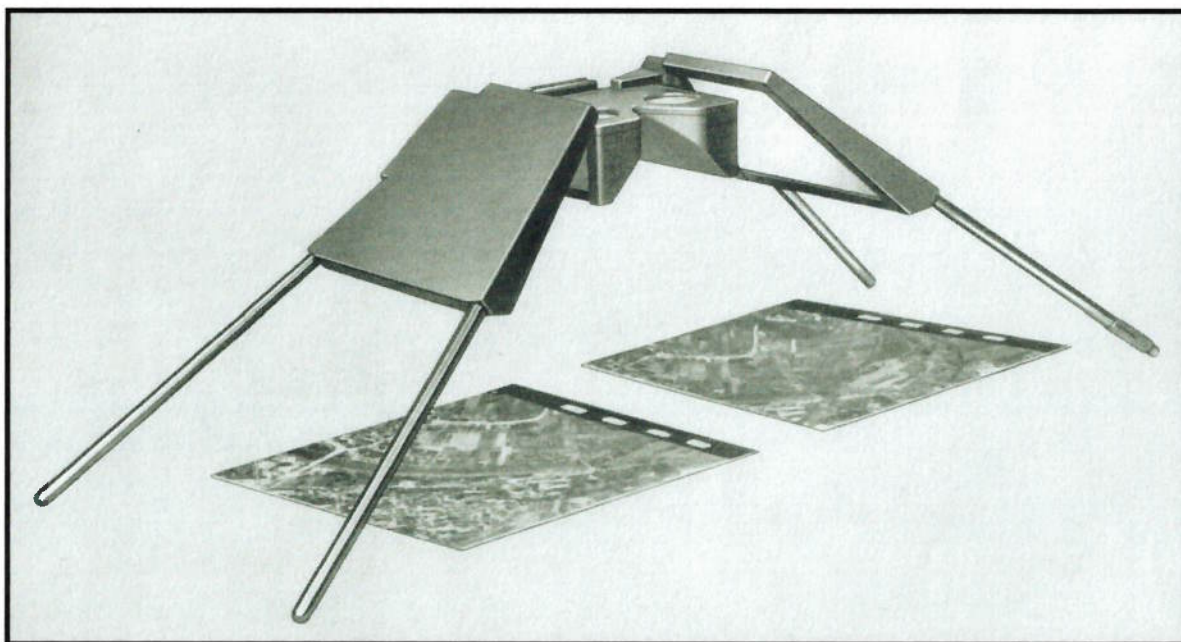


Figura 9: Estereoscópio de espelho. (Extraído de Catálogo ZEISS de instrumentos para fotogrametria e fotointerpretação).

5.2.1.1. CLASSES DE USO DO SOLO

A fotointerpretação das imagens aéreas de 1962 foi realizada com o auxílio de um estereoscópio de espelho e um de bolso. O primeiro foi utilizado na identificação de feições destacadas como por exemplo, estradas, canaletas de drenagem e o rio Paraíba. Já com a utilização do segundo foi possível interpretar feições pontuais e de difícil identificação devido à escala das fotografias (1:25.000), como por exemplo, pequenos bolsões de vegetação e zonas de extração mineral.

Não raramente foi utilizada uma lente de aumento (5x) para facilitar a observação dessas feições.

As imagens de 1986/88 (escalas 1:5.000 e 1:10.000) e as de 1997/98 (escalas 1:6.000 e 1:10.000) foram interpretadas em sua maioria via estereoscópio de espelho, ficando o estereoscópio de bolso somente para a definição de feições de detalhe.

A interpretação dos estereopares permitiu a identificação das classes de uso do solo identificadas no quadro 7 e descritas em detalhe no capítulo 6.

Quadro 7: Categorias de uso do solo da várzea do Rio Paraíba do Sul, município de Jacareí, identificadas por meio de fotografias aéreas.

1962	1986/88	1997/98
1. Rio Paraíba do Sul	1. Rio Paraíba do Sul	1. Rio Paraíba do Sul
2. Zona de cultivo/pastagem	2. Zona de cultivo/pastagem	2. Zona de cultivo/pastagem
3. Zona com chácaras	3. Zona com chácaras	3. Zona com chácaras
4. Mineração de argila	4. Mineração de argila	4. Cava de argila
5. Mineração de areia	5. Cavas de argila	5. Mineração de areia
6. Vegetação pouco densa	6. Mineração de areia	6. Cavas de areia
7. Vegetação densa	7. Cavas de areia	7. Vegetação pouco densa
8. Zona industrial	8. Vegetação pouco densa	8. Vegetação densa
9. Área de expansão urbana	9. Vegetação densa	9. Zonas de revegetação
10. Zona urbanizada	10. Zona industrial	10. Zona industrial
	11. Zona urbanizada	11. Área de expansão urbana
		12. Zona urbanizada

Os limites das classes identificadas, assim como as estradas de rodagem e de ferro, as canaletas de drenagem e o limite entre os municípios de Jacareí e São José dos Campos, foram traçados com lápis dermatográficos e grafites 0,5 mm coloridos, em *overlays* (papel poliéster de 20 cm x 20 cm) colocados sobre as fotos.

5.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO

Como citado no início do capítulo, dois métodos foram usados para confeccionar os mapas de uso do solo da área estudada: um para os de 1962 e 1986/88 e outro para o de 1997/98. As duas metodologias são descritas separadamente.

5.3.1 CONFECÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO DE 1962 E 1986/88

As informações obtidas através da fotointerpretação das imagens de 1962 e 1986/88 foram compiladas em dois mapas obedecendo a seguinte sistemática:

1. localização do ponto principal (central) de cada *overlay*, em torno do qual as feições apresentam-se menos distorcidas, uma vez que, em fotografias aéreas verticais, quanto mais distante do ponto central da imagem, maior será a distorção das informações;
2. individualmente cada *overlay* foi fixado a uma superfície plana e horizontal onde suas informações foram transferidas para um papel poliéster a ele sobreposto;

3. com a intenção de minimizar a distorção do mapa, somente as feições presentes na porção central de cada *overlay* foram transferidas;
4. na composição do mapa tomou-se especial cuidado para que as feições transferidas de um determinado *overlay* coincidissem com aquelas presentes na zona de recobrimento das imagens anterior e subsequente;
5. visando a redução da imprecisão nos limites das classes, as feições provenientes dos *overlays* foram transferidas ao mapa com uso de uma lapiseira de ponta fina (0,5mm) e grafites coloridos para diferenciar as classes;

No final do processo foram obtidos os desenhos dos mapas de uso do solo da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul dos períodos de 1962 e 1986/88, nas escalas aproximadas de 1:25.000 e 1:5.000/1:10.000, respectivamente. O mapa de 86/88, devido ao seu tamanho, teve de ser dividido em três partes para que pudesse ser digitalizado em um *scanner* A0.

Em 1962 haviam dez categorias de uso do solo na área estudada, enquanto nas imagens de 1986/88 foram identificadas onze classes.

5.3.1.1. DIGITALIZAÇÃO DOS MAPAS DE 1962 E 1986/88

A transformação dos mapas de 1962 e 1986/88, desenhados em papel poliéster, para um arquivo digital foi feita automaticamente por meio de um *scanner* de rolo, tamanho A0 - disponibilizado pelo Laboratório de Informática do Instituto de Geociências da USP - capaz de reconhecer 255 tons de cinza. Antes da digitalização foi necessário transferir as informações do mapa colorido, para um traçado com caneta à nanquim 0,5mm, também sobre papel poliéster.

A digitalização via *scanner* é a forma mais fácil de se digitalizar um mapa. Apresenta baixo custo, alta precisão e o processo é mais rápido se comparado à digitalização via mesa (DAVIS, 1997; GUIMARÃES FILHO e CRÓSTA, 1994).

Os mapas foram escaneados com uma resolução de 300 *dpi* (pontos por polegada) e armazenados no formato "TIFF". O de 1962 foi digitalizado integralmente, de uma só vez, enquanto o de 1986/88, devido ao tamanho e à diferença de escala entre as fotos de 1986 e 1988, foi dividido em três partes para depois ser submetido ao processo de escaneamento.

5.3.1.2. GEOREFERENCIAMENTO DOS MAPAS DE 1962 E 1986/88

O georeferenciamento de uma imagem ou mapa digitalizado é necessário sempre que se deseja associá-lo a um sistema de coordenadas geográficas conhecido.

O processo consiste em selecionar pontos de controle (cruzamentos de estradas, pontes, construções, etc.) que apareçam no mapa digital e que sejam também representados em mapas oficiais. Com base nas cartas oficiais é possível, então, calcular as coordenadas geográficas reais desses pontos e utilizá-las para corrigir o posicionamento do mapa digital.

Os mapas de 1962 e 1986/88 foram associados ao sistema de coordenadas UTM através do georeferenciamento. Para tanto, foram utilizados dezesseis pontos de controle no mapa mais antigo e setenta e oito no mais recente.

Os pontos, escolhidos aleatoriamente, distribuem-se tanto pela várzea do rio Paraíba, como pela porção elevada limitante da planície aluvial. Eles coincidem com cruzamentos de estradas, de canaletas de drenagem, pontes, entre outros.

Após identificados, tiveram suas coordenadas UTM levantadas nas plantas planialtimétricas Jacareí I, Jacareí II, Fazenda do Poço, Fazenda Santana do Rio Abaixo e Esperança, todas na escala 1:10.000.

O processo de georeferenciamento foi feito por meio do *software* IDRISI for Windows versão 2.0, através da ferramenta chamada *Resample*, usada para registrar a imagem a um sistema de coordenadas de referência universalmente conhecido (EASTMAN, 1997).

A ferramenta *Resample* não pode ser executada sem que seja fornecido um arquivo de correspondência contendo as coordenadas x e y dos pontos de controle da imagem digitalizada (obtidas com o posicionamento do cursor do mouse sobre a feição desejada, na tela do computador) e suas respectivas coordenadas novas (extraídas dos mapas planialtimétricos). (figura 10).

O processo de reamostragem posiciona a nova imagem na sua orientação correta, sobre a imagem antiga. Os valores para cada nova célula (pixel) são estimados pela busca da célula correspondente na imagem antiga.

Duas lógicas básicas são usadas para a estimativa: critério do vizinho mais próximo e interpolação bilinear. Na primeira o centro da célula antiga mais próxima é escolhida para determinar o valor da nova célula. Na outra é utilizada a média ponderada da distância do centro das quatro células antigas mais próximas e atribuída como o valor da nova célula (EASTMAN *op cit.*). No trabalho desenvolvido utilizou-se o critério do vizinho mais próximo, o qual é indicado para estudos dessa natureza.

A opção *Resample* fornece um relatório com a localização dos pontos de controle levantados na imagem antiga e na nova, bem como os erros médios quadráticos (*RMS - Root Mean Square*) de cada um dos pontos e o erro médio do total de pontos (Anexo I).

Nem todos os pontos selecionados foram utilizados no georeferenciamento dos mapas, isto porque foram descartados aqueles com um erro médio quadrático elevado.

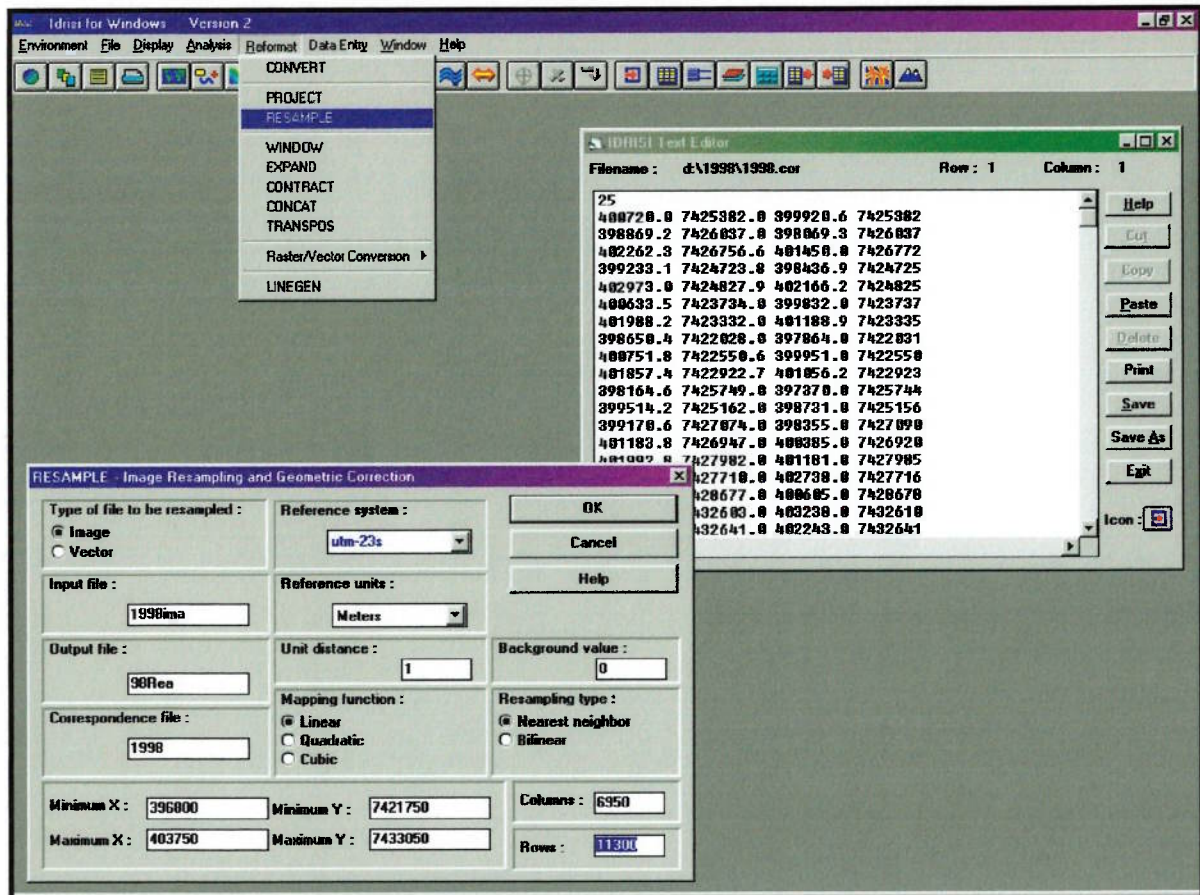


Figura 10: Janela da opção Resample do IDRISI, com o arquivo de coordenadas x,y dos pontos de controle (quadro da direita).

O erro médio quadrático individual expressa o quanto cada ponto de controle se desvia da equação de melhor ajuste. Esta equação descreve a relação entre o sistema de referência arbitrário da imagem e o novo sistema de referência ao qual ela está sendo reamostrada, calculada a partir dos pontos de controle (EASTMAN,1997).

O erro total indica o desvio de posicionamento característico de todos os pontos de controle em relação à equação. Ele descreve a probabilidade com a qual uma posição mapeada poderá variar da sua posição verdadeira (EASTMAN *op cit.*).

5.3.2. CONFECÇÃO DO MAPA DE USO DO SOLO DE 1997/98

Os trabalhos de fotointerpretação das 81 imagens de 1997/98 serviram para identificar 13 classes de uso do solo, as quais aparecem relacionadas no quadro 7, e que estão descritas em detalhe adiante.

As feições das 13 categorias definidas foram extraídas por meio de *overlays* transparentes colocados sobre as fotografias aéreas. Estes elementos passaram, então, a ser a maior fonte de informações para o estudo.

O método empregado na elaboração do mapa de uso do solo de 1997/98 difere um pouco do utilizado na confecção dos dois primeiros. As mudanças aplicadas nas etapas de georeferenciamento e união dos *overlays* buscaram minimizar as distorções do mapa gerado.

Durante a confecção das cartas de 1962 e 1986/88, os *overlays* das fotografias aéreas foram unidos manualmente, constituindo um mapa, que depois foi escaneado e georeferenciado para, então, ser vetorizado.

De forma distinta, na confecção do mapa mais recente cada *overlay* foi primeiramente escaneado e depois, duplamente georeferenciado antes de ser unido aos demais por meio do *software* IDRISI.

5.3.2.1. DIGITALIZAÇÃO E GEOREFERENCIAMENTO DOS OVERLAYS DE 1997/98

A conversão dos *overlays* em arquivos digitais foi feita através de um *scanner* de mesa, tamanho A4, capaz de diferenciar 256 milhões de cores. Estes documentos foram escaneados com uma resolução de 300 *dpi*, gerando arquivos individuais com cerca de 500 Kb de informação.

Os arquivos digitais com as informações da fotointerpretação foram exportados para o *software* IDRISI, onde tiveram suas coordenadas de linhas x colunas associadas ao sistema de coordenadas UTM através do processo de georeferenciamento.

Visando reduzir as distorções que as feições interpretadas trouxeram consigo, mas que são oriundas das variações da altura e do nível do vôo no momento da obtenção das fotografias aéreas, utilizou-se o artifício de aplicar o duplo georeferenciamento em cada *overlay*.

A primeira correção das coordenadas geográficas dos pontos de controle buscou minimizar as distorções geradas pelo balanço da aeronave - alteração do nível do vôo - enquanto a segunda, foi executada para diminuir o efeito da diferença de escala entre as fotos, que acontece pela variação da altura de vôo da aeronave.

O processo de posicionamento das imagens foi realizado pela ferramenta *Resample* do IDRISI, que é utilizada para registrar a imagem a um sistema de coordenadas de referência conhecido (EASTMAN, 1997).

Para o georeferenciamento dos *overlays* identificou-se um mínimo de quatro pontos de controle em cada foto, os quais foram utilizados para os dois registros de coordenadas.

Após as duas correções, os arquivos digitais foram unidos, um a um, formando o mapa de uso do solo da área de estudo.

Como o mosaico obtido não possuía as coordenadas correspondentes às dos *overlays*, foi necessário um novo georeferenciamento, agora do mapa, para que este finalmente pudesse ser exportado para o *software* CartaLinx.

No georeferenciamento do mosaico de *overlays* utilizou-se outros 24 pontos de controle espalhados pela área de pesquisa e circunvizinhanças.

5.3.3. VETORIZAÇÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO

Imagens matriciais⁽⁸⁾ apresentam restrições na manipulação, principalmente quando se quer associar feições ou temas a um banco de dados alfanuméricos. O volume dos arquivos e a dificuldade de editoração e construção de topologia são outras restrições que levam à conversão de imagens matriciais em arquivos vetoriais⁽⁹⁾ (SCARIM e TEIXEIRA, 1994). Devido a esses aspectos restritivos os mapas digitalizados foram, então, convertidos em arquivos vetoriais digitais através do *software* CartaLinx versões 1.0, 1.1 e 1.2.

(8) **imagem matricial:** constituída por uma grade de células (pixel) quadradas ou retangulares, organizadas sequencialmente por colunas e linhas (KESSLER, 1995).

(9) **arquivo vetorial:** constituído por dados com estrutura baseada em coordenadas, comumente usados para representar feições em mapas através de pontos, linhas e polígonos. Cada feição linear é representada como uma lista de coordenadas x,y ordenadas, às quais atributos podem ser associados (KESSLER, *op cit.*).

Os mapas digitais georeferenciados ao sistema de coordenadas UTM pelo *software* IDRISI, foram exportados em formato “BMP” para o CartaLinx. Com o auxílio deste programa foi executada a vetorização das diferentes classes de uso do solo. O processo foi praticado utilizando os mapas, em formato “BMP”, como imagens de fundo, sobre os quais sucedeu a vetorização das feições diretamente na tela, com o uso do mouse.

A vetorização em tela é, de acordo com DAVIS (1997), significativamente mais interessante do que a digitalização via mesa, já que, o custo para escanear uma planta é bastante baixo e os níveis de precisão são melhores do que usando a mesa. Além disso, a produtividade do operador ao fazer a vetorização na tela de um microcomputador é sensivelmente melhor.

O CartaLinx é um *software* de geração de dados de entrada para SIGs e como tal, concomitante à vetorização, cria automaticamente um banco de dados com os atributos alfanuméricos de cada feição (pontos, linhas ou polígonos) digitalizada em tela, o que viabiliza a construção automática de polígonos (figura 11). Possibilita ainda, fazer a editoração dos vetores ao mesmo tempo em que eles são digitalizados.

O banco de dados gerado pelo CartaLinx inclui atributos como: área e perímetro dos polígonos, comprimento das linhas, coordenada exata dos pontos, número e nome que identifica cada feição. Além disso é possível incluir novos atributos ao banco de dados.

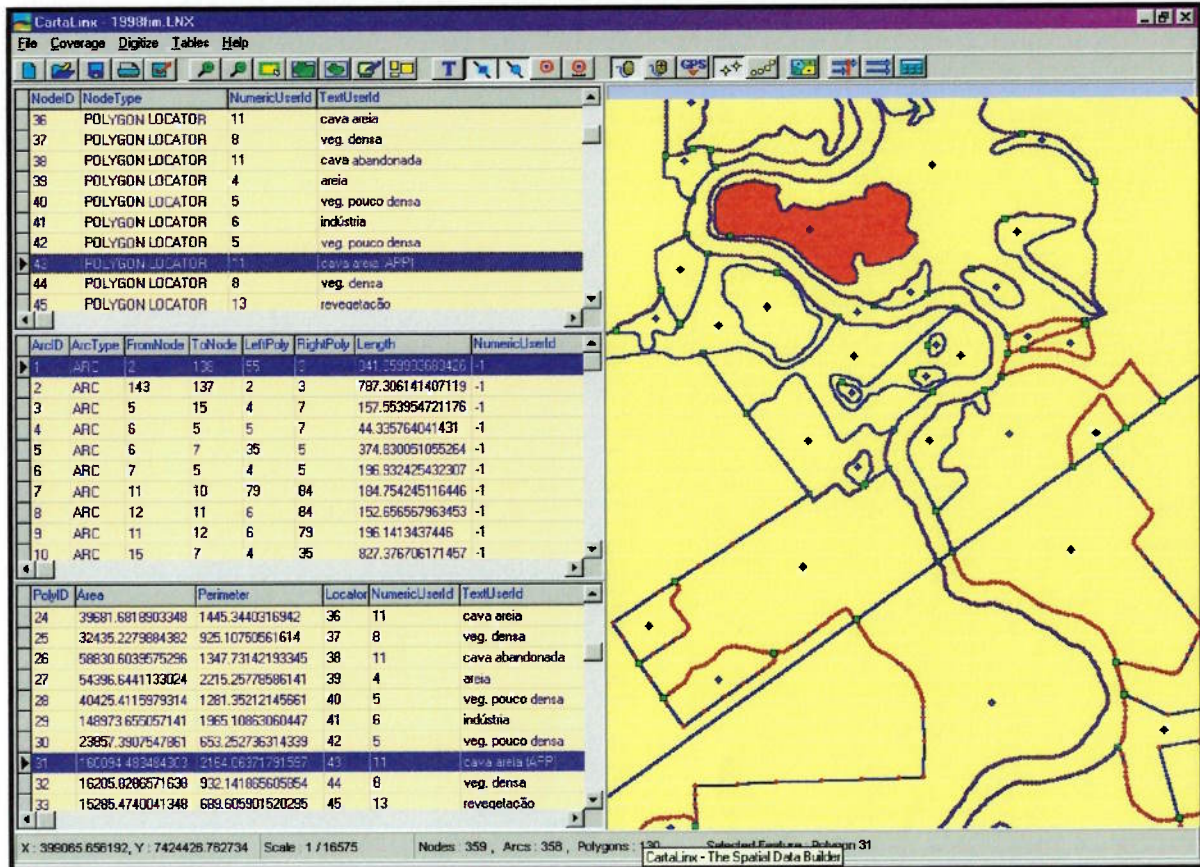


Figura 11: Janela do software CartaLinx mostrando o mapa de 1998 vetorizado e seu correspondente banco de dados alfanumérico.

Através do CartaLinx foi criado um arquivo vetorial de cada um dos mapas, contendo em forma de polígonos, todas as classes de uso do solo compiladas das fotografias aéreas, além do seu respectivo banco de dados alfanumérico.

Como esse programa não possui ferramentas de análise tão poderosas quanto aquelas presentes nos SIGs, os mapas vetorizados foram exportados para o software IDRISI com o intuito de estudá-los com maior profundidade.

5.3.4. ANÁLISE DOS MAPAS DE USO DO SOLO

O estudo de cada um dos mapas e a comparação entre eles foi realizado com o auxílio do SIG IDRISI.

O primeiro passo para poder analisar os mapas foi transformá-los de dados vetoriais em imagens matriciais, uma vez que o IDRISI só é capaz de analisar imagens dessa natureza. A operação foi executada através da opção *Polyras* (figura 12) que transforma polígonos vetoriais em imagens matriciais.

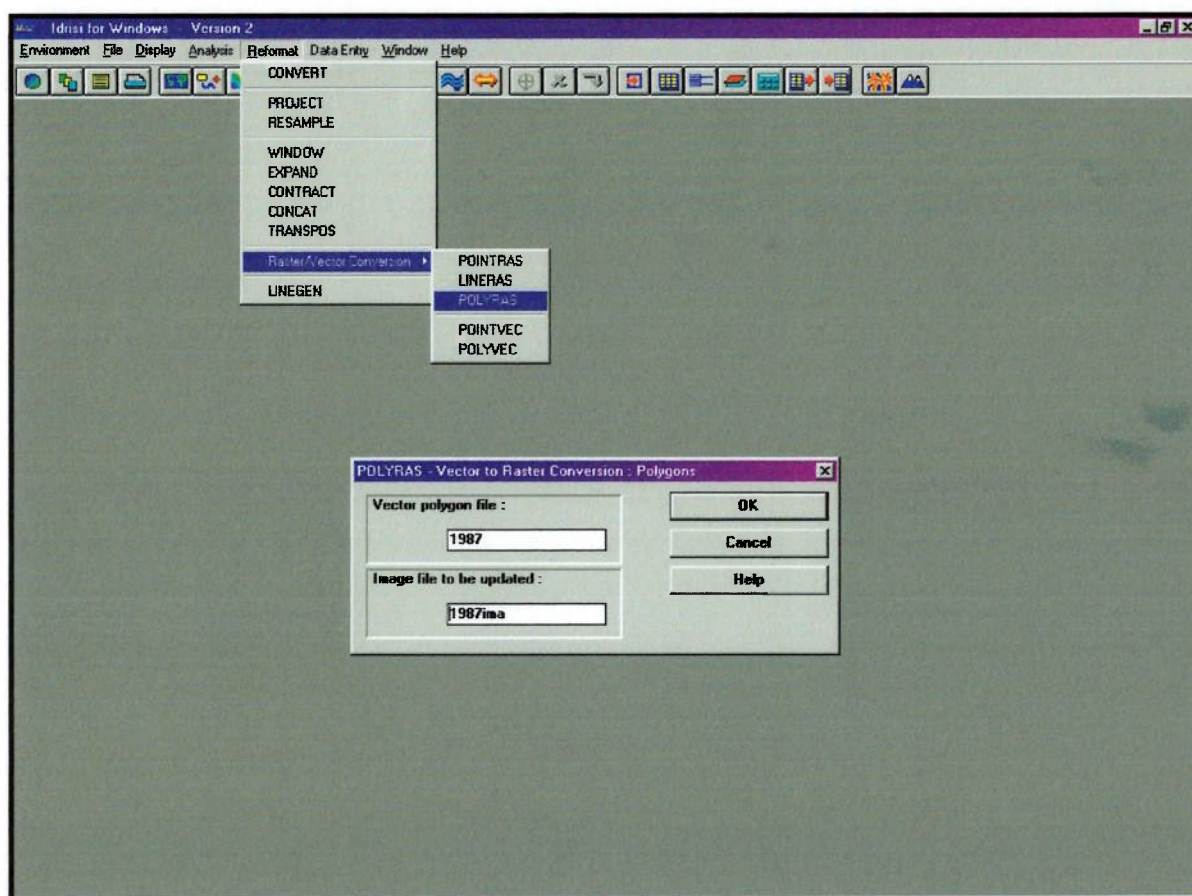


Figura 12: Janela do IDRISI, mostrando o caminho para transformar os mapas vetoriais em arquivos matriciais.

Dentro deste *software* os mapas foram analisados e comparados dois a dois através de um processo fundamental de análise de séries temporais chamado Classificação Cruzada. Segundo EASTMAN *et al.* (1995), este processo calcula a lógica "E" ("AND") para todas as possíveis combinações de classes sobre dois mapas. Assim, a classificação resultante da interseção entre dois mapas indica as classes que não sofreram mudanças com o tempo e aquelas que foram alteradas, identificando inclusive em que proporção e em quais classes elas foram transformadas.

No IDRISI a Classificação Cruzada é operada através do módulo de análise de mudanças/séries temporais denominado *Crosstab* (figura 13), o qual produz uma matriz de tabulação cruzada e/ou um mapa de correlação cruzada das diversas classes de uso do solo presentes nos mapas originais.

Os dados da tabulação cruzada são apresentados em números de células das imagens matriciais que representam os mapas comparados. Os números dispostos na diagonal da matriz representam as células que não sofreram alteração de uma época para outra, ao contrário daqueles posicionados fora da diagonal, que indicam o número de células que mudaram para uma determinada classe.

No exemplo da figura 14 foram comparadas quatro classes de uso do solo que cobriam determinada região nas datas 1 e 2. Os números fornecidos na tabela correspondem à quantidade de células de imagens matriciais.

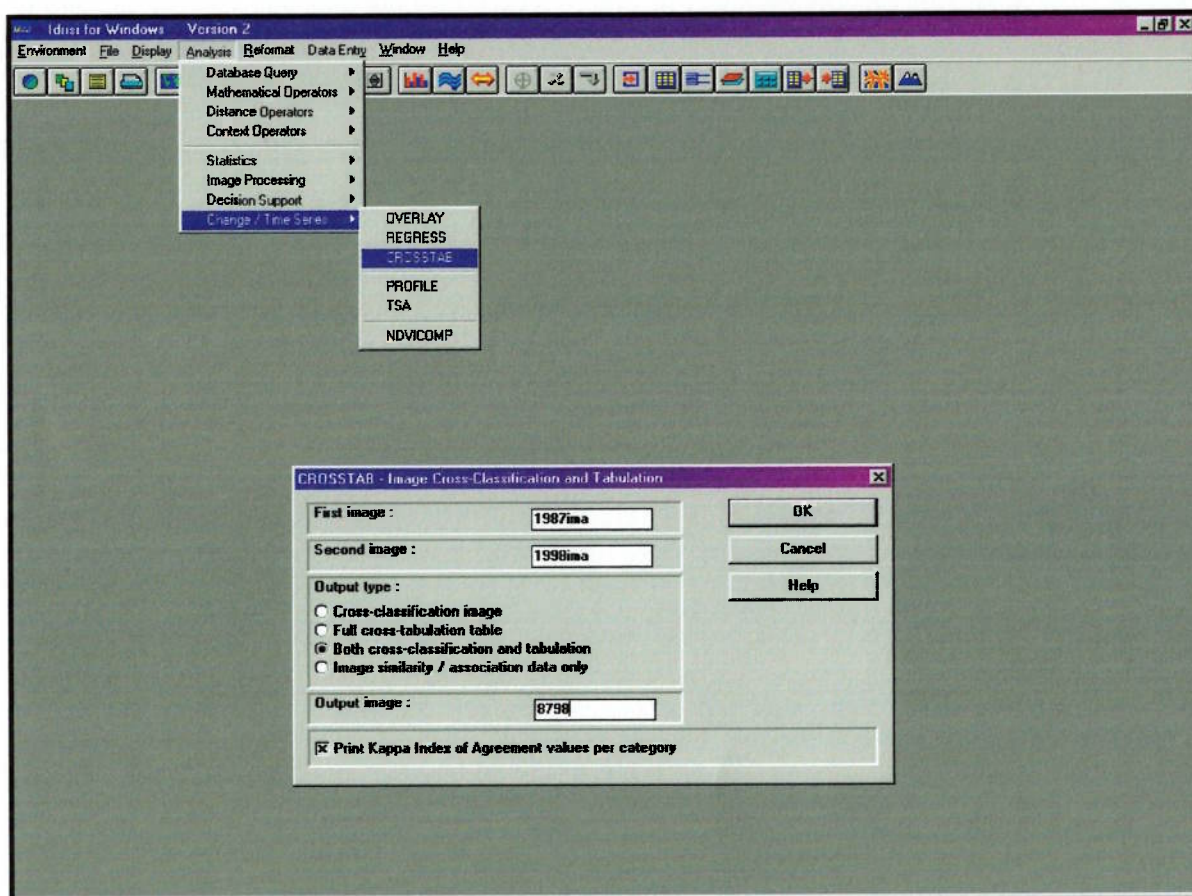


Figura 13: Operação da ferramenta Crosstab, vista em janela do SIG IDRISI.

		Data 1				
		Mineração	Eucaliptos	Soja	Pastagens	Total
Data 2	Mineração	2842	3	4	0	2849
	Eucaliptos	1	31874	596	0	32471
	Soja	2	1063	72487	23	73575
	Pastagens	0	8742	328	53221	62291
	Total	2845	41682	73415	53244	171186

Figura 14: Exemplo de tabela com dados resultantes de uma operação de tabulação cruzada (modificado de EASTMAN et al., 1995).

O que querem dizer esses números? Quais informações acerca de mudanças de uso do solo podem ser extraídas da tabela?

Os números listados na tabela representam áreas que sofreram ou não alteração nas duas datas comparadas. Os pixels posicionados na diagonal da tabela correspondem àqueles que permaneceram inalterados de uma época para a outra. Já os que estão fora da diagonal não mais pertencem à classe que originalmente representava.

Passando a uma análise numérica, nota-se no exemplo dado, que das 2845 células identificadas como mineração na Data 1, 2842 permaneceram como mineração e somente 3 mudaram para outras categorias na Data 2. Da mesma forma, das 2849 células caracterizadas como mineração na Data 2, só 7 não eram identificadas como tal na Data 1.

Aprofundando a análise, nota-se que das 3 células da classe mineração que sofreram alteração da Data 1 para a Data 2, uma mudou para a classe eucaliptos, enquanto que outras 2 mudaram para a classe soja. Por outro lado, das 7 células que não eram classificadas como mineração na Data 1 e o foram na Data 2, 3 eram de eucaliptos e 4 de soja.

5.3.5. EDIÇÃO DOS MAPAS

Como o IDRISI não é um *software* adequado à edição, os mapas foram exportados para o CorelDRAW, programa com excelentes recursos gráficos. Os arquivos saíram do IDRISI no formato vetorial WMF (*Windows Meta File*), que pode ser "lido" por qualquer programa que trabalhe na plataforma Windows.

No CorelDRAW os mapas foram coloridos, receberam legenda, grade com coordenadas UTM, escalas numérica e gráfica, as orientações do norte geográfico e do norte do quadrante e todas as demais convenções cartográficas utilizadas. (Vide os mapas de uso do solo de 1962, 1986/88 e 1997/98 no anexo II).

6. RESULTADOS OBTIDOS

A identificação e a descrição das classes de uso do solo observadas nas fotografias aéreas das três épocas escolhidas para o estudo, a elaboração e a avaliação da precisão dos mapas gerados e a análise comparativa entre eles - com ênfase às mudanças no uso do solo e à identificação dos indicadores de impactos ambientais produzidos pela extração de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul - são apresentados adiante como os mais expressivos resultados alcançados pelo trabalho desenvolvido.

6.1. IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES VIA FOTOINTERPRETAÇÃO

A várzea do Rio Paraíba do Sul no trecho estudado apresenta-se, quando observada por meio de estereopares de fotografias aéreas, como uma zona plana, de baixíssima densidade de drenagem, onde se destaca a sinuosidade do traçado do rio na direção geral N-NE. Os limites da várzea são nítidos, tanto a leste quanto a oeste, com o relevo colinoso sustentado por rochas sedimentares terciárias do Grupo Taubaté (MEZZALIRA, 1961,1962 *apud* IPT, 1981).

Durante o desenvolvimento do processo de fotointerpretação buscou-se definir as classes de uso do solo com representatividade na várzea e de interesse ao objetivo do trabalho. Para isto, foi utilizado o método de interpretação de fotografias aéreas descrito por SOARES e FIORI em 1976, o qual prega uma análise sistemática, objetiva e criteriosa de feições observadas na imagem. Nele, a

fotointerpretação envolve três processos básicos que devem ser realizados seqüencialmente:

- **fotoleitura:** reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes;
- **foto-análise:** estudo das relações entre as imagens; associação e ordenação das partes da imagem;
- **fotointerpretação:** estudo da imagem fotográfica visando a identificação e a avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos, do significado, da função e das relações dos objetos correspondentes às imagens.

A fotoleitura exige o conhecimento das técnicas e processos envolvidos na obtenção da fotografia aérea tais como a câmera, a geometria da imagem, as propriedades da visão estereoscópica, entre outras. É um pré-requisito ao processo de foto-análise.

A análise ou caracterização de fotografias aéreas exige o estabelecimento de alguns conceitos básicos, a partir dos quais pode-se compor associações, definir formas e limites entre os elementos da imagem. Assim, a identificação da menor superfície contínua e homogênea, distinguível e possível de repetição na foto, denominada elemento textural, é fundamental para a determinação das feições complexas - compostas por uma série de elementos texturais - como a densidade de textura, a estrutura, o grau de estruturação e a forma de elementos naturais da paisagem (relevo, drenagem, vegetação, etc.).

Por fim, através da fotointerpretação é que se irá avaliar o significado das diversas formas de arranjo dos elementos naturais, estabelecendo as propriedades do objeto a partir das propriedades da imagem.

A interpretação das fotografias aéreas de 1962, por terem escala 1:25.000, exigiu esforço e concentração maiores que os dispensados à análise das imagens de 1986 (1:5.000), 1988 (1:10.000), 1997 (1:10.000) e 1998 (1:6.000), tanto que até uma lente de aumento foi utilizada para facilitar a identificação de feições pontuais.

6.1.1. CARACTERÍSTICAS EM 1962

A interpretação das imagens aéreas dessa data permitiu a identificação de dez categorias de uso do solo, definidas de acordo com o objetivo do trabalho:

- 1. Rio Paraíba do Sul**
- 2. Zona de cultivo/pastagem**
- 3. Zona com chácaras**
- 4. Mineração de argila**
- 5. Mineração de areia**
- 6. Vegetação pouco densa**
- 7. Vegetação densa**
- 8. Zona industrial**
- 9. Área de expansão urbana**
- 10. Zona urbanizada**

O Rio Paraíba do Sul serpenteia por entre as pastagens de sua várzea exibindo tonalidade cinza escura. Localmente, bancos de areia esbranquiçados avançam sobre seu leito constituindo suas margens nos trechos mais meandrantés (foto 7).

As áreas de pastagem e/ou cultivo cobrem a maior parte da porção estudada. Caracterizam-se pela tonalidade média a escura, por serem cortadas por canaletas de drenagem e por apresentarem, localmente, porções alagadas.

As chácaras possuem características próprias como a presença de pequenas construções (casas), lotes limpos, edificações semelhantes a granjas e/ou a existência de plantações em pequena escala.

As zonas de mineração de argila e de areia são identificadas como pequenas manchas claras distribuídas aleatoriamente pelas áreas onde predominam pastagens ou vegetações arbustivas. Os limites assumidos na fotointerpretação não são aqueles da extração, mas os de toda a área do empreendimento, ou seja, zonas decapeadas, áreas de classificação, estocagem e infra-estrutura e, por isso, denominadas “zonas de mineração”. Os locais de mineração de areia estão restritos às margens do rio. Trata-se de minas de pequeno porte.

A argila é explotada em diversos pontos espalhados pela planície aluvial do Rio Paraíba do Sul. Nesses locais, cuja tonalidade da foto é clara, sempre estão presentes olarias, denunciadas pela disposição de tijolos enfileirados nos pátios de secagem, junto aos fornos utilizados para a queima do produto.

Tanto nas zonas de mineração de areia quanto nas de argila não são observadas cavas submersas de extração.

A vegetação ocorrente no local é identificada por sua textura rugosa, tonalidade escura e sombreamento característico. A distinção entre vegetação densa e vegetação pouco densa pode ser feita pela observação do espaçamento entre as árvores, maior na última. Esses espaços normalmente estão preenchidos por vegetação arbustiva e rala.

As zonas com presença de indústrias caracterizam-se pela ocorrência de grandes construções levantadas em terrenos limpos e bem delimitados.



Foto 7: Fotografia aérea mostrando algumas classes de uso do solo em 1962. Cobertura: extremo norte da área.

Como área de expansão urbana foi definida uma zona próxima à Rodovia Presidente Dutra, porção leste da área. Trata-se do loteamento Parque Meia-lua, em implantação, caracterizado pela tonalidade clara dos lotes limpos, ainda isentos de construções, e dos arruamentos instalados sem calçamento.

A zona urbanizada é reconhecida pela grande concentração de pequenas construções, edifícios, pontes e arruamentos normalmente pavimentados.

6.1.2. CARACTERÍSTICAS EM 1986/88

Através das fotografias aéreas dessa época puderam ser identificadas 11 diferentes classes de uso do solo da várzea do Rio Paraíba do Sul:

- 1. Rio Paraíba do Sul**
- 2. Zona de cultivo/pastagem**
- 3. Zona com chácaras**
- 4. Mineração de argila**
- 5. Cavas de argila**
- 6. Mineração de areia**
- 7. Cavas de areia**
- 8. Vegetação pouco densa**
- 9. Vegetação densa**
- 10. Zona industrial**
- 11. Zona urbanizada**

Diferenças em algumas feições que definem o Rio Paraíba do Sul e as zonas de mineração de areia e de argila, além da presença de cavas submersas de extração mineral e da ausência de zonas de expansão urbana, são as principais alterações observadas nas imagens de 1986/88 em relação às de 1962.

O Rio Paraíba do Sul demonstra sofrer com o avanço da extração de areia em seu leito. Os bancos de areia encontrados em 1962 já não existem mais e em determinados pontos, principalmente na porção norte, fica evidente o alargamento do canal, acelerado por esta atividade (foto 8).

No trecho sul e central o rio encontra-se mais estreito do que antigamente, provavelmente pelo efeito da redução da velocidade do fluxo d'água imposto pelo controle de vazão do rio a partir barragem de Paraibuna-Paraitinga, instalada em 1974.

Em todo o percurso do Rio Paraíba do Sul dentro da área de estudo, identifica-se uma nova margem se formando, em nível inferior à original, composta por plantas aquáticas que se desenvolvem rumo ao interior do canal até o ponto em que a correnteza do rio é suficientemente forte para arrastá-las. Pela sua instabilidade, tal margem é considerada parte integrante do leito do rio.

Nas imagens de 1986/88 as zonas de mineração são muito menos discretas, em termos de área ocupada, do que as definidas nas fotos de 1962. Para facilitar a fotointerpretação e posterior análise dos dados, foram divididas em quatro subzonas: áreas de mineração de areia, áreas de mineração de argila, cavas de extração de areia e cavas de extração de argila. Estas duas últimas classes correspondem aos pontos de extração do “minério”.

As zonas de mineração, tanto de areia quanto de argila, compreendem não só as cavas de extração mas toda a área do empreendimento minerário: locais de movimentação de veículos, classificação e estocagem do “minério”, edificações,

acessos às frentes de lavra e um sem número de pequenas cavas abandonadas, escavadas desordenadamente, submersas ou não, que indicam a falta de planejamento da lavra. Os trechos minerados exibem, em geral, aparência extremamente díspar se comparados às homogêneas zonas de pastagens/cultivo que as rodeam.



Foto 8: Aerofoto de 1988, do extremo norte da área pesquisada, onde pode-se observar o Rio Paraíba do Sul mais largo, e algumas cavas de extração de areia.

A distinção entre áreas de extração de areia e de argila só é possível ser feita em determinados lugares onde, junto às cavas de argila, estão presentes pátios de secagem de tijolos e/ou telhas e fornos para queima das peças cerâmicas.

As cavas submersas de extração mineral em atividade possuem formas irregulares e tonalidades claras devido à presença de sedimentos em suspensão na água. As que estão abandonadas - duas no total - apresentam considerável quantidade de plantas aquáticas na superfície da água e isenção de sedimentos suspensos, o que lhes confere tonalidades escuras nas fotos.

As zonas com atividade extrativa, principalmente de areia, concentram-se muito próximas ao leito do rio Paraíba ocupando, por vezes, a Área de Preservação Permanente (APP) às margens do rio, definida pelo Código Florestal Lei 4.771 de 1965. Tanto que, determinadas cavas estão unidas ao canal devido ao avanço desordenado da lavra.

Outro fato notório nas imagens de 1986/88 é que a exploração de areia e argila normalmente ocorrem associadas em um mesmo local. Tal fato se explica pela necessidade dos mineradores fazerem a retirada das camadas superficiais de argila afim de atingirem as jazidas de areia subjacentes. Em certos locais esta prática torna impossível a distinção entre cavas de extração de areia e de argila.

As demais classes de uso do solo exibem feições semelhantes às identificadas nas fotografias aéreas de 1962.

6.1.3. CARACTERÍSTICAS EM 1997/98

Pelo fato de serem coloridas, as fotos do período em questão possibilitam uma visualização mais clara das diversas classes de uso do solo presentes na área

de interesse ao estudo. Assim, a fotointerpretação tornou-se menos trabalhosa e mais eficiente.

Nas fotografias aéreas de 1997 e 1998 observou-se 12 classes de uso do solo a ocupar a várzea do Rio Paraíba do Sul no município de Jacareí (SP).

As principais diferenças em relação às categorias descritas em 1986/88 dizem respeito à presença de zonas de revegetação e de expansão urbana, não encontradas antes, e à ausência zonas de extração de argila, além de alterações notadas no canal do Rio Paraíba do Sul e nas áreas de mineração, especialmente com relação às cavas submersas. As demais classes mantiveram características semelhantes às da década de oitenta.

As categorias de uso do solo interpretadas nas imagens da década de noventa são:

- 1. Rio Paraíba do Sul**
- 2. Zona de cultivo/pastagem**
- 3. Zona com chácaras**
- 4. Cava de argila**
- 5. Mineração de areia**
- 6. Cavas de areia**
- 7. Vegetação pouco densa**
- 8. Vegetação densa**
- 9. Zonas de revegetação**
- 10. Zona industrial**
- 11. Área de expansão urbana**
- 12. Zona urbanizada**

O canal do Rio Paraíba do Sul continuou sofrendo com a extração de areia, tendo o processo de alargamento avançado no período entre 1986/88 e 1997/98 (foto 9)

As zonas de mineração também sofreram significativas mudanças em relação às imagens de 1986/88. A principal delas é a ausência de áreas de extração de argila. Somente uma cava submersa abandonada de exploração desse bem mineral foi observada nas fotos atuais.

Ao contrário da argila, praticamente inexistente, a extração de areia continuou se expandindo, tomando grande impulso na porção norte da área (foto 9).

A presença de cavas submersas de mineração de areia é marcante nas imagens recentes. As escavações apresentam uma tonalidade clara quando em atividade, devido à quantidade de sedimentos em suspensão, e escura quando abandonadas, pela sua grande profundidade (até 30 m), isenção de sedimentos suspensos, ou pela presença de plantas aquáticas flutuantes.

Da mesma forma que em 1986/88, as cavas de extração mineral invadem a Área de Preservação Permanente às margens do Rio Paraíba do Sul, chegando a até 5 m de distância do canal do rio (foto 10).

Os locais onde, na década de oitenta, o canal do rio estava em contato direto com as cavas de mineração, não mais apresentam-se dessa forma. A margem do rio foi recomposta com barreiras de terra e o seu canal, isolado das cavas submersas.

Uma única zona de expansão urbana foi identificada nas fotos da década de noventa. Trata-se de um loteamento localizado na porção sudeste da área, no qual as ruas não possuem pavimento e os terrenos apresentam-se limpos, porém sem construções.



Foto 9: Foto aérea de 1998, da porção extremo norte da área pesquisada (a mesma das fotos 7 e 8), mostrando algumas classes de uso do solo.

Uma nova classe foi identificada. Trata-se de áreas de revegetação, definidas pela presença de espécimes arbóreas nativas, plantadas em fileiras com espaçamento constante entre os indivíduos e apresentando diferentes estágios de crescimento de acordo com o local e o tempo que foram plantadas. Ocupam, na grande maioria dos casos, as margens das cavas de extração de areia e das vias de

acesso no entorno do empreendimento funcionando como cortina verde para diminuir o impacto visual das atividades.

O surgimento de áreas de reflorestamento nas imagens de 1997/98 é consequência da aplicação de medidas legais que, a partir do final da década de oitenta, passaram a exigir a recuperação de áreas degradadas pela mineração.



Foto 10: Foto mostrando os extremos da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul: mata ciliar nativa na margem esquerda do rio e cava abandonada na margem direita, a cinco metros do canal do rio.

6.2. AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DOS MAPAS DE USO DO SOLO

O uso efetivo de SIGs requer a sistematização dos meios através dos quais os profissionais coletam e documentam seus dados referenciados espacialmente (BOLSTAD e SMITH, 1995). Isto porque, com os Sistemas de Informações Geográficas, muitas análises espaciais antigamente onerosas e demoradas podem agora ser realizadas rapidamente, o que aumenta a necessidade de se mensurar e documentar a acurácia dos dados espaciais a partir dos quais são realizadas as análises (SMITH *et al.*, 1991 *apud* BOLSTAD e SMITH *op cit.*).

De acordo com os autores citados acima, as imprecisões no posicionamento das feições naturais e os erros relacionados à entrada de dados num SIG podem ser originados por diversos motivos e em diversas fases do processo: na digitalização manual a partir de mapas em papel, nos levantamentos de campo, no traçado ou na produção de um mapa, na distorção não uniforme dos mapas em papel, nos equipamentos de digitalização e nas atividades do operador. Erros de posicionamento podem também ser adicionados durante os diversos passos do processamento dos dados espaciais. Todos estes erros podem e devem ser calculados afim de se determinar a precisão das informações geradas num SIG.

HAGAN *et al.* (1998) discutem o cálculo do erro médio quadrático total que estão embutidos em dados analisados dentro dos programas *CartaLinx* e *IDRISI*. Quando a digitalização é feita via mesa, o cálculo do erro total combina a somatória do erro do componente mapa com o do componente digitalização. Se a vetorização é feita em tela, a partir de um mapa escaneado, o erro médio quadrático total resulta da somatória do erro do componente imagem com o do componente vetorização.

Nos mapas de uso do solo da área estudada, o erro total final foi obtido somando-se o erro do processo de georeferenciamento da imagem escaneada,

realizado pela opção *Resample* do SIG IDRISI, com o erro da técnica de vetorização em tela feita com o uso do *software* CartaLinx. Tais erros são discutidos a seguir.

6.2.1. O ERRO DE POSICIONAMENTO DA IMAGEM

É o erro reportado como estatística do processo de reamostragem ou reposicionamento dos pontos de controle, através do qual uma imagem é registrada a um mapa base. É descrito no relatório fornecido pela opção *Resample* do IDRISI (anexo I) como *overall RMS*, e indica a probabilidade da posição mapeada variar da sua real localização geográfica.

O erro pode ser calculado em metros multiplicando-se o seu valor, dado em número de células, pela resolução da imagem em metros, também especificada no relatório de reamostragem. Assim, temos os resultados para os 3 mapas:

Para 1962:

$Erro_{imagem} = \text{erro do georeferenciamento} \times \text{resolução da imagem}$

$Erro_{imagem} = 12,132 \times 1,0$

$Erro_{imagem} = 12,13 \text{ metros}$

Para 1986/88:

$Erro_{imagem} = \text{erro médio do georeferenciamento} \times \text{resolução da imagem}$

$Erro_{imagem} = 22,6 \times 1,0$

$Erro_{imagem} = 22,60 \text{ metros}$

Para 1997/98:

$Erro_{imagem} = \text{erro do georeferenciamento} \times \text{resolução da imagem}$

$Erro_{imagem} = 8,754 \times 1,0$

$Erro_{imagem} = 8,75 \text{ metros}$

6.2.2 O ERRO DA VETORIZAÇÃO EM TELA

O erro médio quadrático decorrente da vetorização em tela está associado a dois fatores: o erro do operador e o erro referente à resolução da tela.

O primeiro está diretamente relacionado à escala da imagem no momento da vetorização - o *CartaLinx* indica na tela a escala que está sendo utilizada na vetorização - que depende da aproximação ou *zoom* necessário para a operação, e ao erro associado à capacidade psicomotora do operador, calculada por MALING (1989 *apud* HAGAN, *op cit.*) como sendo igual 0,12 mm. Como foi utilizada a escala 1:3.000, aplicando a fórmula abaixo podemos calcular o erro do operador, que é idêntico para os três mapas de uso do solo.

$Erro_{operador} = \text{denominador da escala} \times 0,00012$

$Erro_{operador} = 3.000 \times 0,00012$

$Erro_{operador} = 0,36 \text{ metros}$

O Erro ligado à resolução da tela depende da escala da imagem no momento da vetorização, e da resolução da tela - comprimento da tela, em metros, dividido pelo número de células de resolução no eixo x. Através da fórmula seguinte podemos realizar o cálculo.

$\text{Erro}_{\text{tela}} = \text{comprimento da tela/células} \times \text{denominador da escala}/2$

$\text{Erro}_{\text{tela}} = 0,285/1024 \times 3.000/2$

$\text{Erro}_{\text{tela}} = 0,417 \text{ metros}$

Utilizando a fórmula dada por HAGAN *et al.* (1998), calcula-se o erro da vetorização em tela, que é igual para os três mapas:

$$\text{Erro}_{\text{vetorização}} = \sqrt{\text{Erro}_{\text{operador}}^2 + \text{Erro}_{\text{tela}}^2}$$

$$\text{Erro}_{\text{vetorização}} = \sqrt{(0,36)^2 + (0,417)^2}$$

$\text{Erro}_{\text{vetorização}} = 0,303 \text{ metros}$

6.2.3. O ERRO TOTAL

Calculados os erros relacionados à imagem usada na vetorização e ao processo de conversão matriz/vetor, pode-se obter o $\text{Erro}_{\text{total}}$ de cada um dos mapas de uso do solo da área de estudo, através da fórmula abaixo:

Mapa de 1962:

$$\text{Erro}_{\text{total}} = \sqrt{\Sigma \text{Erro}^2}$$

$$\text{Erro}_{\text{total}} = \sqrt{(12,132)^2 + (0,303)^2}$$

$\text{Erro}_{\text{total}} = 12,14 \text{ metros}$

Mapa de 1986/88:

$$\begin{aligned}\text{Erro}_{\text{total}} &= \sqrt{\Sigma \text{Erro}^2} \\ \text{Erro}_{\text{total}} &= \sqrt{(22,6)^2 + (0,303)^2} \\ \text{Erro}_{\text{total}} &= 22,60 \text{ metros}\end{aligned}$$

Mapa de 1997/98:

$$\begin{aligned}\text{Erro}_{\text{total}} &= \sqrt{\Sigma \text{Erro}^2} \\ \text{Erro}_{\text{total}} &= \sqrt{(8,754)^2 + (0,303)^2} \\ \text{Erro}_{\text{total}} &= 8,76 \text{ metros}\end{aligned}$$

Os erros totais obtidos são diferentes para cada um dos mapas, sendo que o menor pertence ao mapa de 1997/98. A explicação para este fato, parece estar nos métodos empregados para confeccionar os mapas. As duas cartas mais antigas foram elaboradas com a união manual dos *overlays* para posterior digitalização, enquanto o mais recente foi montado digitalmente, após escaneamento e duplo georeferenciamento de cada um dos seus *overlays*, o que possibilitou corrigir parte das distorções próprias das fotografias aéreas.

Analisando os resultados acima, nota-se que os erros totais calculados sofrem grande influência e, maiores são, quanto maior for o desvio dos pontos de controle em relação à sua posição real (obtido pelo georeferenciamento da imagem).

A discordância do posicionamento dos pontos de controle dos mapas digitais em relação aos mapas-base pode ser atribuída às distorções próprias das

fotografias aéreas verticais, derivadas da inclinação da aeronave no momento da obtenção das imagens e da variação da altitude do relevo.

Segundo WOLF (1983), as variações na altimetria do terreno provocam o deslocamento radial dos objetos a partir do centro de perspectiva da foto, enquanto a inclinação da câmera causa distorção dessa perspectiva. Estas alterações podem resultar em erros expressivos de posicionamento dos dados derivados de fotografias aéreas.

BOLSTAD (1992 *apud* BOLSTAD e SMITH, 1995) através de um estudo experimental baseado em dados obtidos de fotografias aéreas verticais analisados em SIG, determinou erros médios de posicionamento da ordem de 4 metros a 16 metros para terrenos planos e de 38 metros a 73 metros para terrenos elevados. O mesmo estudo documenta erros de até 9% em termos de áreas extraídas de fotografias aéreas.

Isto posto, pode-se considerar os valores dos erros totais identificados nos mapas de uso do solo de 1962 (12,14 m), de 1986/88 (22,60 m), e de 1997/98 (8,76 m) como perfeitamente condizentes com aqueles descritos na literatura quando se trata de informações obtidas em fotografias aéreas verticais. Entretanto, não se deve desprezar tais imprecisões no momento de analisarmos as informações contidas nos mapas. É importante lembrarmos que as feições impressas nas cartas podem não representar fielmente a realidade identificada na superfície.

6.3. OCUPAÇÃO DA VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Através da “leitura” dos mapas de uso do solo das três datas, auxiliada pela ordenação dos valores dos bancos de dados e por cálculos executados pelo *software*

Excel 7.0, obteve-se uma radiografia de como era a ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul nos anos de 1962, 1986/88 e 1997/98. (Vide mapas de uso do solo no ANEXO II).

6.3.1 USO DO SOLO EM 1962

A análise de fotografias aéreas de 1962, escala 1:25.000, permitiu a identificação de 10 categorias distintas de uso do solo na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, dentro dos limites do município de Jacareí. Elas foram separadas de acordo com suas características físicas, levando-se em conta o interesse do trabalho. No quadro 8 estão relacionadas todas as classes, as áreas que elas ocupavam e a porcentagem da área total que elas cobriam naquela época.

A área ocupada pelo canal do Rio Paraíba do Sul (170,0 ha), excetuando-se os bancos de areia identificados em suas margens, correspondia a 5,5% da área de estudo.

Por se tratar de uma região essencialmente agropecuária, as zonas cobertas por pastagens ou culturas anuais, principalmente a rizicultura, ocupavam cerca de 83% da várzea.

Os locais onde haviam chácaras agro-residenciais estavam restritos a 44,5 ha (1,45%) localizados no centro-sul da várzea.

A mineração de areia ocupava àquela época, apenas 5,6 ha ou 0,18% de toda área da várzea do rio Paraíba no trecho estudado (3.088,0 ha no total). Era retirada do leito do rio com o emprego de dragas e depositada em pátios às suas margens. A maior incidência dessa atividade era nas proximidades da Rodovia Presidente

Dutra, o que facilitava o escoamento da produção destinada especialmente à região metropolitana de São Paulo.

As zonas de extração de argila espalhavam-se pela planície aluvial cobrindo 36,4 ha. Concentravam-se próximas à cidade de Jacareí, a uma distância máxima de 1.000 m do Rio Paraíba do Sul.

Quadro 8: Classes de uso do solo e a área por elas ocupada na várzea do Rio Paraíba do Sul.

CLASSES (1962)	ÁREA OCUPADA (ha)	ÁREA OCUPADA (%)
Rio Paraíba do Sul	170,15	5,51
Área de pastagens ou cultivo	2.562,32	8,98
Área com chácaras	44,51	1,44
Zona de mineração de argila	36,40	1,18
Zona de mineração de areia	5,59	0,18
Vegetação pouco densa	48,22	1,56
Vegetação densa	70,72	2,29
Zona Industrial	24,48	0,79
Área de expansão urbana	32,30	1,05
Zona urbana consolidada	93,18	3,02
TOTAL	3.087,89	100,00

Somadas, as zonas de mineração de argila com as de mineração de areia correspondiam a cerca de 42,0 ha de várzea, isto é, pouco mais de 1,35% da área

total. Em média, os locais reservados aos empreendimentos minerários ocupavam 0,75 ha cada.

Naquele ano, a vegetação arbórea (somadas as classes identificadas como vegetação densa e vegetação pouco densa), em grande parte concentrada nas margens do Rio Paraíba do Sul, dentro da faixa de meandros, já estava bastante comprometida pela expansão das atividades agrícolas e de criação de gado, tanto que era encontrada em apenas 3,85% da área ou 119,0 ha. Cada bolsão de mata cobria, em média, 2,34 ha. Nota-se que a maior parte da mata ciliar já havia sido eliminada para dar lugar às atividades agropecuárias.

A atividade industrial era até então, pouco desenvolvida e marcava presença em menos de 1% (24,5 ha) da área da várzea, concentrando-se ao sul da Rodovia Presidente Dutra, nas proximidades do núcleo urbano de Jacareí.

A urbanização da cidade de Jacareí avançava sobre 125,0 ha (4%) da planície aluvionar em 1962, considerando a área urbana consolidada e aquela em implantação (expansão urbana). A ocupação se dava na porção sul da área, junto ao Rio Paraíba do Sul, e na porção leste, às margens da Rodovia Presidente Dutra.

6.3.2. USO DO SOLO EM 1986/88

A partir das imagens obtidas nos aerolevantamentos de 1986 (escala 1:5.000) e 1988 (escala 1:10.000) foi possível definir onze classes de cobertura do solo na área estudada, apresentadas no quadro 9. Duas novas categorias puderam ser observadas: cavas de extração de areia e cavas de extração de argila. Já a zona de expansão urbana descrita em 1962 passou a fazer parte da zona urbana consolidada de Jacareí.

Quadro 9: Categorias de uso do solo em 1986/88, com suas respectivas áreas e porcentagem ocupada da planície aluvionar.

CLASSES (1986/88)	ÁREA OCUPADA (ha)	ÁREA OCUPADA (%)
Rio Paraíba do Sul	164,07	5,30
Área de pastagens ou cultivo	1.895,86	61,19
Área com chácaras	57,48	1,86
Zona de mineração de argila	23,60	0,76
Cavas de extração de argila	5,23	0,17
Zona de mineração de areia	250,92	8,10
Cavas de extração de areia	160,24	5,17
Vegetação pouco densa	36,12	1,17
Vegetação densa	42,02	1,36
Zona Industrial	164,94	5,32
Zona urbana consolidada	297,62	9,61
TOTAL	3.098,10	100,00

O Rio Paraíba do Sul corria por 164 ha da área de estudo, ocupando 5,3% do seu território. Embora tivesse uma área pouco menor, comparado a 1962, já apresentava, especialmente no seu curso norte, sinais de alargamento do canal, possivelmente em decorrência da extração de areia.

A redução da área do rio em cerca de 6,0 ha em relação a 1962, ocorreu porque, nos trechos sul e central da área, o seu canal sofreu pequeno estreitamento causado pela regularização do seu fluxo d'água a partir de 1974, com a construção da barragem de Paraibuna-Paraitinga a montante. Desde então, com a ausência de

enchentes e de mineradoras nesses dois trechos, a taxa de sedimentação passou a ser maior que a capacidade de transporte do rio, aumentando suas margens e conseqüentemente reduzindo a largura do canal, fato também notado por SAUSEN (1988).

Em três pontos da região central da área as margens do rio haviam sido escavadas e seu canal estava diretamente ligado a três cavas submersas de retirada de areia. Em uma dessas cavas a ligação se estendia por mais de 94,0 m.

As porções cobertas com pastagens ou culturas anuais haviam perdido muito espaço, principalmente para a mineração, e totalizavam em fins da década de 80 pouco mais de 1.985,0 ha, que correspondiam a cerca de 61% da várzea. Podiam ser observadas por todas as regiões do mapa, entretanto, tinham maior destaque no oeste e no leste.

As áreas com presença de chácaras eram apenas três em 1986/88, que ocupavam 57,5 ha ou pouco mais de 1,8% do total analisado.

Nesse período a área tomada pelas minerações de areia havia crescido muito em relação a 1962. As características destas localidades também mudaram bastante com o surgimento de cavas submersas, que se faziam presentes numa faixa mais ou menos contínua que acompanhava o Rio Paraíba do Sul em suas duas margens, desde do extremo norte da área até próximo à Rodovia Presidente Dutra, na região central.

As escavações eram 32 no total, exibiam formas e tamanhos vários, com as maiores atingindo 41,0 ha de área. Juntas cobriam mais de 160 ha e, em média, cada uma das cavas ocupava uma área de 5,0 ha.

Nessa data, dois pontos de extração encontravam-se abandonados sem qualquer indício de recuperação. Podiam ser identificados nas fotografias aéreas

pela tonalidade escura do espelho d'água, diferentemente das cavas em atividades cuja quantidade de sedimentos em suspensão na água lhe conferia tonalidades claras.

O avanço da mineração não respeitou os limites da Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Paraíba do Sul. Das 32 cavas observadas, 15 avançavam para dentro do limite de 100 metros de distância a partir das margens do rio, protegido pelo Código Florestal brasileiro (Lei 4.771 de 1965).

As áreas de mineração de areia, ou seja, zonas decapeadas, revolvidas por pequenas escavações, pátios de armazenamento, usinas de beneficiamento, vias de acesso, etc., exceto as cavas, já cobriam em 1986/88, 251,0 ha ou 8,1% da área total estudada.

As zonas ocupadas por minerações de argila, somadas aos 5,2 ha de cavas submersas de extração desse bem mineral registradas em 1986/88, tomavam 28,8 ha da várzea, não atingindo 1% do total. Estas classes estavam restritas a pequenas áreas associadas à exploração de areia.

No geral, a mineração na planície aluvial do rio Paraíba abrangia 440,0 ha, correspondente a 14,2% da área total do trecho de várzea dentro do Município de Jacareí.

A cobertura vegetal, considerando a vegetação pouco densa e a vegetação densa juntas, havia sido bastante arrasada desde 1962 e ocupava somente 78,0 ha ou 2,5% da área. Ocorria como pequenos bolsões (média de 4,1 ha cada) espalhados pela várzea. Tinha maior abrangência na porção centro-sul, principalmente nas proximidades da cidade de Jacareí. Por outro lado, na região norte da área praticamente não havia vegetação arbórea.

Pouquíssimas eram as ocorrências de mata tipo galeria mapeáveis ao longo do curso do rio, assim como, também eram raros os bolsões de mata associados às áreas de mineração.

A industrialização da várzea do Rio Paraíba do Sul já era marcante nessa época, tendo crescido muito em relação a 1962. A concentração das indústrias se fazia na porção centro-sul, desde o norte da Dutra até a zona urbana. A aglomeração de empresas nesse trecho deveu-se à facilidade de acesso à Via Dutra, por onde os produtos eram escoados para São Paulo, Rio de Janeiro, região de Campinas e litoral. Cerca de 165,0 ha (5,3%) da região estudada estavam ocupados com esta atividade.

O aumento da área urbana mostrava-se significativo na referida data. Crescendo do sul para o norte, a cidade ocupava um bom trecho da várzea a sul da Rodovia Presidente Dutra. A implantação do Parque Meia-Lua, no leste da área, junto à Dutra, também indicava o crescimento urbano para o interior da planície aluvial. No total, eram quase 300,0 ha (9,6%) de áreas urbanas.

6.3.3. USO DO SOLO EM 1997/98

No mapa de 1997/98 estão representadas as 12 categorias de uso do solo que mostraram-se importantes ao objetivo do estudo (vide quadro 10). As novidades em relação ao mapa do final da década de oitenta é o desaparecimento das zonas de mineração de argila e o surgimento de zonas de revegetação e de expansão urbana.

O curso do Rio Paraíba do Sul tomava 170,4 ha da área estudada, pouco mais de 5,5%. Na porção norte, seu canal apresentava visíveis sinais de alargamento, provavelmente por influência das atividades extrativas que atuaram

em seu leito, uma vez que, dragando a base das margens do rio provoca-se o desmoronamento da mesma e conseqüente ampliação do seu canal. Já nas porções sul e central, o rio continuava seu processo de estreitamento dado pela formação de nova margem devido à alta taxa de sedimentação.

Quadro 10: Categorias de uso do solo em 1997/98, e a área da várzea que elas ocupavam.

CLASSES (1997/98)	ÁREA OCUPADA (ha)	ÁREA OCUPADA (%)
Rio Paraíba do Sul	170,38	5,49
Área de pastagens ou cultivo	1.604,71	51,74
Área com chácaras	35,32	1,14
Zona de mineração de areia	304,96	9,83
Cavas de extração de areia	266,95	8,61
Cavas de extração de argila	1,26	0,04
Vegetação pouco densa	42,71	1,38
Vegetação densa	44,56	1,44
Área de revegetação	43,85	1,41
Zona industrial	264,29	8,52
Zona de expansão urbana	6,32	0,20
Zona urbana consolidada	316,08	10,19
TOTAL (ha)	3.101,38	100,00

As pastagens predominavam sobre as culturas, como na porção centro-sul da área, às margens da Rodovia Presidente Dutra (foto 11).

As porções cobertas por culturas ou pastagens dominavam 1.605,0 ha ou pouco mais de 51,5% da área total. Tinham maior ocorrência nas regiões leste e oeste, com maior destaque na porção ocidental.



Foto 11: Área de pastagens às margens da Via Dutra. Ao fundo a cidade de Jacareí.

As áreas com chácaras tiveram uma retração de 38,55% se comparadas ao período anterior, passando a ocupar 35,32 ha, ou 1,14%.

Em relação às minerações, somente as de areia atuavam na várzea do rio Paraíba em 1997/98. Uma única cava abandonada de extração de argila foi mapeada na porção centro-sul.

As zonas de mineração estavam ainda maiores que em 1986/88 tendo crescido, em especial, no norte da área. Cobriam uma faixa com cerca de 2,0 km de largura, às margens do rio, que se estendia desde o extremo norte da área até próximo da Rodovia Presidente Dutra, no centro-sul.

As cavas de extração possuíam tamanho e forma variadas e tinham até 30 metros de profundidade (IG, 1997). Eram 35 no total e, na sua maioria, concentravam-se numa faixa estreita com 1,0 km a 1,5 km de largura, junto às margens do rio, cobrindo cerca de 267,0 ha (8,6%). Em média, cada cava ocupava 7,85 ha, entretanto, as maiores escavações tinham uma área de até 33,0 ha.

A APP do Rio Paraíba do Sul vinha sendo degradada pelo avanço de 12 cavas de extração, sendo que 4 delas estavam paralisadas.

Entre as 35 escavações observadas, 16 haviam sido abandonadas sem qualquer ação visando a recuperação dos locais.

Somando o território ocupado pelas zonas de mineração, inclusive cavas, eram 573,0 ha ou 18,5% da várzea.

A cobertura vegetal distribuía-se por 131,0 ha (4,2%) do território, sendo que as três classes: pouco densa, densa e revegetação ocupavam pouco mais de 42,0 ha cada. Formava bolsões de mata - com 3,36 ha cada, em média - que se espalhavam, ao contrário do que foi detectado em 1986/88, do norte ao sul da área, estando na maioria das vezes associados às zonas de mineração, onde os projetos de reflorestamento contribuíram para o crescimento da área ocupada por essa classe.

As áreas caracteristicamente industriais haviam tido bom crescimento e dominavam a paisagem no trecho junto ao Rio Paraíba do Sul que segue desde o norte da Rodovia Presidente Dutra até o limite urbano de Jacareí. Tomavam 8,52% da área de estudo, o equivalente a 264,3 ha.

A zona urbanizada dominava, em 1997/98, 322 ha (10,4%) da planície aluvionar do rio Paraíba, tendo se modificado pouco com relação à 1986/88.

6.3.4. ANÁLISE MULTITEMPORAL DOS MAPAS DE USO DO SOLO

A elaboração de mapas de diferentes épocas e a comparação visual entre eles é, de certo modo, uma forma de análise muito simplista diante dos recursos computacionais - *software* e *hardware* - hoje disponíveis.

Partindo dessa premissa foram utilizadas ferramentas de análise geográfica do *software* IDRISI, com o intuito de avaliar os aspectos da evolução da ocupação do solo da área de estudo e, em especial, os indicadores de impactos ambientais provocados pelas minerações de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul.

Além deste, um segundo software, o Excel, foi utilizado na organização dos bancos de dados de cada categoria, bem como, na geração de gráficos indicativos da evolução da ocupação da área no período.

O SIG IDRISI apresenta uma série de ferramentas que podem ser utilizadas para comparar mapas ou imagens de um mesmo local e épocas distintas visando a caracterização de mudanças ambientais ao longo do tempo. Dentre elas a que se mostrou mais adequada ao objetivo do trabalho foi a opção *Crosstab*.

Trata-se de um poderoso aliado nos estudos ambientais que, embora execute comparações somente entre dois mapas, possibilita identificar as mais diversas alterações imprimidas ao meio ambiente em determinado espaço de tempo.

Quando acionada, a opção *Crosstab* produz uma classificação cruzada entre dois mapas, cujo resultado é apresentado sob a forma de tabela. Nas colunas ficam as classes de uso do solo da época mais antiga, enquanto nas linhas aparecem as categorias de cobertura do solo identificadas na data mais recente. Assim, se desejarmos saber, por exemplo, quantos *pixel* de pastagens existentes na data 1, tiveram seu uso modificado para minerações na data 2, basta identificarmos a

célula onde a coluna referente à pastagens intercepta a linha equivalente à mineração.

Como a análise por meio de classificação cruzada só permite a comparação entre dois mapas, foram estudados separadamente os pares de mapas 1962-1986/88, 1986/88-1997/98 e 1962-1997/98, cujos resultados são apresentados adiante.

▪ **MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DA VÁRZEA ENTRE 1962 E 1986/88**

Em 1962 a zona de planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, dentro do Município de Jacareí, apresentava 10 categorias de uso do solo. Em 1986/88 surgiram duas novas classes: cavas de extração de areia e de argila, enquanto a zona de expansão urbana existente na data mais remota desapareceu.

Por meio da classificação cruzada entre os dois mapas, cujo resultado é apresentado no quadro 11, foi possível compreender as alterações no uso do solo, ocorridas no lapso entre os mapeamentos.

A tabela resultante da comparação apresenta o tamanho das áreas ocupadas por cada categoria, em metros quadrados. Nas colunas estão as classes de 1962, enquanto nas linhas aparecem as de 1986/88.

A categoria definida como entorno, representa a região ao redor da área de estudo. Ela entra na comparação por estar inserida no retângulo que engloba a zona estudada - coordenadas UTM x: 396.800 m - 403.750 m e UTM y: 7.421.750 m - 7.433.050 m. Teoricamente os valores dessa classe deveriam aparecer como zero na tabela, uma vez que, ela está fora da área coberta pelo trabalho. Entretanto, na prática, existem diferenças no posicionamento geográfico de cada mapa -

identificadas no processo de georeferenciamento. Assim, se o mapa de 1962 não está na exata posição geográfica que ocupa o mapa de 1986/88, este último estará obrigatoriamente cobrindo zonas fora da região de estudo, dando origem aos valores relacionados nas tabelas comparativas entre as classes.

Diversas mudanças significativas na ocupação da várzea puderam ser notadas entre o início da década de 60 e o final dos anos 80. As principais diziam respeito ao acréscimo de:

- 947,80% na área ocupada pela mineração de areia e argila;
- 573,70%, em termos de área, da zona industrial;
- 137,17% na área urbanizada;

E ao decréscimo de:

- 34,30% em áreas de cobertura vegetal;
- 26,01% nas áreas dominadas por atividades agropecuárias.

No período em questão, o trecho da várzea estudado foi gradativamente perdendo áreas destinadas à agropecuária, as quais cederam espaço para a instalação de zonas de mineração, cavas de areia, áreas urbanas e zonas industriais. No total, o território dominado por pastagens/culturas perdeu espaço equivalente a 666,40 ha. Eram 2.562,00 ha em 1962, contra 1.896,00 ha em 1986/88.

Quadro 11: Tabela de dados resultante da classificação cruzada entre os mapas de 1962 (colunas) e de 1986/88 (linhas). Valores correspondentes à área (m²)

CLASSES	Entorno	Rio Paraíba	Pastagem	Ext. argila	Ext. areia	V. p. densa	Indústria	Chácara	Veg. Densa	Exp. Urbana	Zona urbana	Cava areia	Cava argila	TOTAL
Entorno	47417898	131165	4247	0	0	1	0	0	174	0	456	0	0	47553941
Rio Paraíba	234372	1215272	158252	2373	300	17183	658	1291	8154	0	2804	0	0	1640659
Pastagem	2123	126028	18267358	80839	8130	130060	19860	111300	138175	36195	38545	0	0	18958613
Ext. argila	0	0	183534	35803	0	0	0	0	16711	0	0	0	0	236048
Ext. areia	1146	139971	1988280	6849	45774	117347	418	52029	157399	0	0	0	0	2509213
V. p. densa	70	11985	239131	0	0	14466	0	0	80731	0	14830	0	0	361213
Indústria	332	23208	1255717	25729	10	21043	216517	34595	72206	8	0	0	0	1649365
Chácara	145	13103	322666	0	0	838	0	186471	33356	18172	0	0	0	574751
Veg. Densa	0	4228	281258	1547	0	9209	3804	522	119731	0	0	0	0	420299
Exp. Urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona urbana	18	18448	1427480	210870	0	107273	3565	45155	19535	268668	875189	0	0	2976201
Cava areia	27	18129	1442978	0	1697	64809	0	13783	60989	0	0	0	0	1602412
Cava argila	0	0	52285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52285
TOTAL	47656131	1701537	25623186	364010	55911	482229	244822	445146	707161	323043	931824	0	0	78535000

Das áreas mapeadas como pastagens/culturas na data mais remota:

- 1.826,73 ha permaneceram inalterados até 1986/88;
- 343,13 ha passaram a ser ocupados por minerações de areia, sendo 144,30 ha de cavas submersas;
- 142,75 ha foram tomados por zonas urbanas;
- e 125,57 ha tornaram-se áreas industriais.

Essas transformações demonstram uma nova tendência na ocupação da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, iniciada na década de 70, quando o crescimento da região metropolitana de São Paulo fez aumentar a demanda por bens de consumo e materiais de uso na construção civil, alavancando negócios e trazendo incremento populacional à região do Vale do Paraíba, em especial, Jacareí e São José dos Campos, pela proximidade da capital paulista. Assim, o trecho de várzea estudado começava a perder sua essência agrícola, passando a abrigar uma boa quantidade de minerações e indústrias, especialmente nas imediações da Via Dutra.

O crescimento populacional na Grande São Paulo influenciou de tal modo a as atividades extrativas no Vale do Paraíba que as zonas de mineração de areia, somadas às cavas de extração deste bem mineral, tiveram o espantoso crescimento de 7.255% entre 1962 e 1986/88. Sua área passou de 5,60 ha para 411,16 ha.

Enquanto isso, áreas com extração de argila foram reduzidas de 36,40 ha para 28,83 ha.

Contabilizando areia mais argila, as zonas de mineração expandiram 947,80%, média anual de crescimento de 36,45% em termos de área ocupada.

Além de avançar sobre zonas antes cobertas por pastagens, as regiões com atividade extrativa de areia provocaram o corte de 21,84 ha de vegetação arbórea densa e de 18,23 ha de vegetação pouco densa, de um total de 118,94 ha de cobertura vegetal presentes na várzea anteriormente.

A redução de 34,30% das áreas identificadas como vegetação não ocorreram somente por conta do crescimento da mineração, mas também, devido:

- ao desmatamento de 26,82 ha para formação de culturas ou pastagens;
- ao inchaço da área urbana de Jacareí, responsável pelo desflorestamento de 12,68 ha;
- e ao aumento da área industrial na várzea, que dizimou 9,32 ha de matas.

Em contrapartida, novas áreas de vegetação surgiram e passaram a ocupar outros 52,03 ha que antes eram destinados a atividades agropecuárias.

▪ *MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DA VÁRZEA ENTRE 1986/88 E 1997/98*

Em 1997/98 foram identificadas 12 classes de uso do solo, sendo duas novas em relação à década de oitenta: áreas de revegetação e de expansão urbana. No entanto, em 1986/88 havia áreas de mineração de argila, não identificadas na data mais recente.

Nesse período, as principais mudanças na cobertura da várzea indicavam o acréscimo de:

- 30,27% das zonas de mineração (incluindo as cavas);

- 67,79% da cobertura vegetal;
- 60,24% da zona industrial;
- 8,32% da área urbana.

E o decréscimo de:

- 15,36% nas áreas de pastagens;
- 38,55% nas zonas de chácaras.

A tabulação cruzada apresentada no quadro 12 demonstra que as atividades agropecuárias haviam perdido espaço para as zonas de mineração de areia (129,07 ha), as cavas de extração de areia (63,11 ha), as áreas urbana e de expansão urbana (31,34 ha) e as zonas com vegetação arbórea (46,30 ha).

Crescendo por sobre áreas antes utilizadas para cultivo ou criação de gado, as zonas com atividades extrativas passaram de 440,00 ha para 573,17 ha, incluindo as áreas das cavas submersas de extração de areia que cresceram 106,70 ha. As regiões onde antes era extraída argila, também tornaram-se zonas de mineração de areia.

Quadro 12. Tabulação cruzada entre os mapas de 1986/88 (colunas) e de 1997/98 (linhas). Valores correspondentes à área (m²).

CLASSES	Ertoro	Rio Paraíba	Pastagem	Ext. argila	Ext. areia	V. p. densa	Indústria	Chácara	Veg. Densa	Exp. Urbana	Área Urbana	Cava areia	Cava argila	Revegetação	TOTAL
Ertoro	4743398	83611	1162	0	2453	2	2	1	0	0	13	0	0	0	47521202
Rio Paraíba	117932	1463998	27821	0	64746	7054	9577	3478	434	0	16060	2638	0	0	1703768
Pastagem	253	12025	15662426	2454	148047	78237	72814	68802	25845	0	53571	9253	11380	0	16047107
Ext. argila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ext. areia	1164	42539	1230701	150669	1221428	54452	1380	94236	5830	0	0	184578	2636	0	3049623
V. p. densa	0	15329	115438	8782	20884	114862	98671	0	42924	0	1120	9276	0	0	427096
Indústria	75	9940	648829	22668	146761	0	1467116	31648	164954	0	92449	63362	5078	0	2642880
Chácara	3	1355	19919	0	7385	0	1026	323521	0	0	0	0	0	0	353209
Veg. Densa	1	5773	126904	0	86172	38589	8676	0	177512	0	0	2150	0	0	445581
Exp. Urbana	2	0	57745	0	0	0	0	5413	0	0	0	0	0	0	63160
Área urbana	14	11010	256666	36075	0	23625	0	15537	28	0	2812988	2592	4217	0	3160752
Cava areia	458	5	631119	16400	645801	38374	193	31115	0	0	0	1288433	16655	0	2699454
Cava argila	0	0	221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12419	0	12640
Revegetação	30	5114	220762	0	165736	4014	0	0	2772	0	0	40110	0	0	436638
TOTAL	47553941	1640659	18666613	236048	2509213	361213	1649355	574751	420299	0	2976201	1602412	52285	0	78536000

Entre o final da década de oitenta e o fim dos anos noventa, a cobertura vegetal teve um crescimento de 67,79% em termos de área. A mudança foi motivada, principalmente, pelos projetos de recuperação ambiental implantados por diversas empresas de mineração que atuam na várzea do Rio Paraíba do Sul a partir da entrada em vigor, na segunda metade da década de oitenta, de aspectos legais que passaram a exigir a recuperação de áreas degradadas pela mineração. Impulsionadas por tais projetos, as áreas de revegetação, inexistentes em 1986/88, passaram a cobrir 43,85 ha de áreas antes dominadas por pastagens e minerações.

As zonas industrial e urbana também experimentaram considerável crescimento no período: 60,24% e 8,32%, respectivamente, passando a ocupar porções anteriormente destinadas à agropecuária.

O que se verificou no período entre 1986/88 e 1997/98 foi uma desaceleração da taxa de expansão da mineração, no trecho estudado da várzea do Rio Paraíba do Sul, em termos de área ocupada. Isto não significa dizer que a produção de areia tenha diminuído, uma vez que pode-se aprofundar as cavas já existentes mantendo, assim, a produção estável sem a necessidade de abrir novas frentes de lavra.

Os níveis de crescimento médios anuais das áreas com atividades de extração de areia foram 15% menores se comparados aos do período entre 1962 e 1986/88. Tal fato corrobora a tese segundo a qual, a partir do início da década de noventa, restrições legais, em especial, as Leis Municipais 2.811 e 2.874 de 1990 – que dispõem, respectivamente, sobre a exploração de minerais da classe II, e sobre o uso e ocupação do solo – tornaram a atividade extrativa mineral no Município de Jacareí menos atrativa do que antes, fazendo com que alguns mineradores migrassem para outros municípios do Vale do Paraíba, como Taubaté e Pindamonhangaba.

▪ **MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DA VÁRZEA ENTRE 1962 E 1997/98**

A evolução da ocupação da planície aluvial do rio Paraíba nos 36 anos abrangidos pelo estudo foi marcada pelo notável incremento das atividades de mineração e industrial, além do considerável crescimento urbano.

Em 1962, a várzea do Rio Paraíba do Sul exibia a sua vocação agropecuária. As áreas com pastagens ou culturas anuais, como o arroz, ocupavam mais de 82% da planície aluvial.

Nesta época, somente 3,85% dos quase 3.100,00 ha de várzea possuíam cobertura vegetal, ou seja, as atividades agrícolas e pecuárias foram responsáveis diretas pela retirada da vegetação nativa, inclusive a mata ciliar às margens do Rio Paraíba do Sul.

A presença de poucas indústrias e de pequenas minerações de argila e de areia, demonstravam haver uma incipiente demanda por bens de consumo e materiais usados na construção civil.

A partir de meados da década de 70, teve início uma ocupação mais ampla da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul. Dois motivos, citados por SAUSEN (1988), foram fundamentais para que isso acontecesse:

1. Enchimento e entrada em operação (de 1974 a 1978) do reservatório Paraibuna-Paraitinga, criado para regularizar as vazões e controlar as enchentes do rio Paraíba.

A instalação do reservatório, a montante de Jacareí, trouxe conseqüências imediatas para a ocupação da várzea.

Parte dos sedimentos trazidos pelos canais fluviais passaram a ser retidos na barragem, não sendo possível a reposição de material detrítico no leito do Rio Paraíba do Sul. Com a redução da areia no leito, os mineradores deslocaram-se para as margens do rio, passando a extrair em cavas sobre os paleocanais.

O controle das enchentes anuais, também incentivou a expansão das áreas urbana e industrial para a várzea.

2. Crescimento urbano da Região Metropolitana de São Paulo.

O rápido processo de incremento da população da Região Metropolitana de São Paulo, fez crescer a demanda por bens de consumo e materiais de uso na construção civil.

O Vale do Paraíba, pela sua excepcional localização e fácil acesso, atraiu diversas indústrias que resolveram se instalar às margens da Rodovia Presidente Dutra, na várzea do rio Paraíba, facilitando o escoamento da produção.

Os mineradores, que desde o final da década de 40 retiravam areia do Rio Paraíba do Sul para suprir parte do mercado da Região Metropolitana de São Paulo, viram-se obrigados, a partir da década de 70, a aumentar a produção. Com a escassez de material no leito, passaram a extrair em cavas submersas na planície aluvial do rio.

A situação de crescimento acelerado da ocupação da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul pelas minerações de areia, teve seu ritmo diminuído em cerca de 15% por ano no período entre 1986/88 e 1997/98. O principal motivo dessa retração foi a influência de novas determinações legais, criadas no início da década de 90, que regulamentaram a extração de bem minerais da classe II (Lei 2.811 de 1990) e o uso e ocupação do solo do Município de Jacareí (Lei 2.874 de 1990), levando algumas empresas a buscar espaço em outros municípios do vale.

As categorias vegetação (vegetação densa + vegetação pouco densa), mineração (mineração de areia e argila + cavas de areia e argila) e urbanização (zona urbanizada + área de expansão urbana) apresentadas nos gráficos das figuras 15 e 16, evidenciam as mudanças ocorridas no período.

Entre 1962 e 1986/88 houve um crescimento de:

- 947,81% na área ocupada pelas minerações de areia e argila;
- 573,70% na área industrial;
- e 137,17% na zona urbana.

No final dos anos 90 o incremento havia sido ainda maior, com respeito à situação de 1962:

- 1.264,95% nas zonas de mineração;
- 979,51% na área industrial;
- 156,91% na zona urbana.

A cobertura vegetal e as áreas com presença de chácaras, embora tenham sofrido alterações durante o período, mantinham, em 1997/98, áreas semelhantes às que possuíam em 1962.

Fato parecido aconteceu com o Rio Paraíba do Sul, cujo canal manteve praticamente a mesma área no período. Entretanto, isso reflete a condição geral do rio. Se analisarmos por trechos, percebe-se que, enquanto a porção sul e central do seu curso teve redução de área motivada pelo estreitamento do canal em consequência do aumento da taxa de sedimentação após a instalação do

Reservatório de Paraibuna-Paraitinga em 1974 (SAUSEN, 1988), o setor norte – entre os paralelos UTM 7.429.000 m e 7.433.200 m – passou a ocupar uma área 14,70 ha maior do que em 1962 (eram 71,30 ha em 1962; 79,70 ha em 1986/88; e 86,00 ha em 1997/98) devido ao notável alargamento do canal em virtude dos muitos anos de extração de areia no leito do rio (figura 17).

Uma análise mais aprofundada das alterações impostas às diversas classes de uso do solo entre 1962 e 1997/98, pôde ser feita com o uso da tabulação cruzada entre os dois mapas, apresentada no quadro 13.

Neste período, as áreas ocupadas por pastagens ou culturas tiveram uma redução de 37,37%, passando de 2.562,32 ha para 1.604,71 ha. O crescimento da mineração de areia foi o principal responsável pela alteração.

A atividade extrativa ocupou:

- 489,56 ha de pastagens, dos quais 237,92 ha representam cavas submersas de extração de areia;
- e 48,58 ha de vegetação.

Entretanto, a atividade mineira também promoveu o reflorestamento de 37,10 ha em locais anteriormente ocupados por pastagens ou culturas anuais.

Quadro 13: Tabulação cruzada dos mapas de 1962 (colunas) e de 1997/98 (linhas). Valores correspondentes à área (m²).

CLASSES	Ertoiro	Rio Paraiiba	Pastagem	Ext. argila	Ext. areia	V. p. densa	Indústria	Cráçara	Veg. Densa	Exp. Urbana	Área urbana	Cavareira	Cavaargila	Revegetação	TOTAL
Ertoiro	47418732	98029	5864	0	0	1	0	0	108	0	447	0	0	0	47521202
Rio Paraiiba	232176	1241866	180086	2646	311	25717	482	677	8728	0	2101	0	0	0	1708768
Pastagem	3860	68866	15892981	23482	0	88664	27633	102236	104688	19188	19240	0	0	0	16047107
Ext. argila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ext. areia	1029	104128	2516400	77436	22001	40466	0	101728	186447	0	0	0	0	0	3046623
V. p. densa	0	28817	381427	9806	0	16026	5794	0	32722	0	5494	0	0	0	427086
Indústria	341	68170	2014742	28388	32914	40702	205299	84756	148011	20383	175	0	0	0	2642880
Cráçara	0	11402	218797	0	0	0	0	116798	6212	0	0	0	0	0	353209
Veg. Densa	4	14808	336192	6809	0	13127	5634	0	68807	0	0	0	0	0	446681
Exp. Urbana	2	0	63158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63160
Área urbana	74	18647	1592800	211183	0	107484	0	22539	20386	283472	904357	0	0	0	3160752
Cavareira	483	9602	2379176	4180	686	130576	0	16414	128428	0	0	0	0	0	2889454
Cavaargila	0	0	12640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12640
Revegetação	0	47412	371024	2	0	19477	0	0	623	0	0	0	0	0	488638
TOTAL	47666131	1701537	25623166	364010	55911	482229	244822	446146	707161	323048	931824	0	0	0	76636000

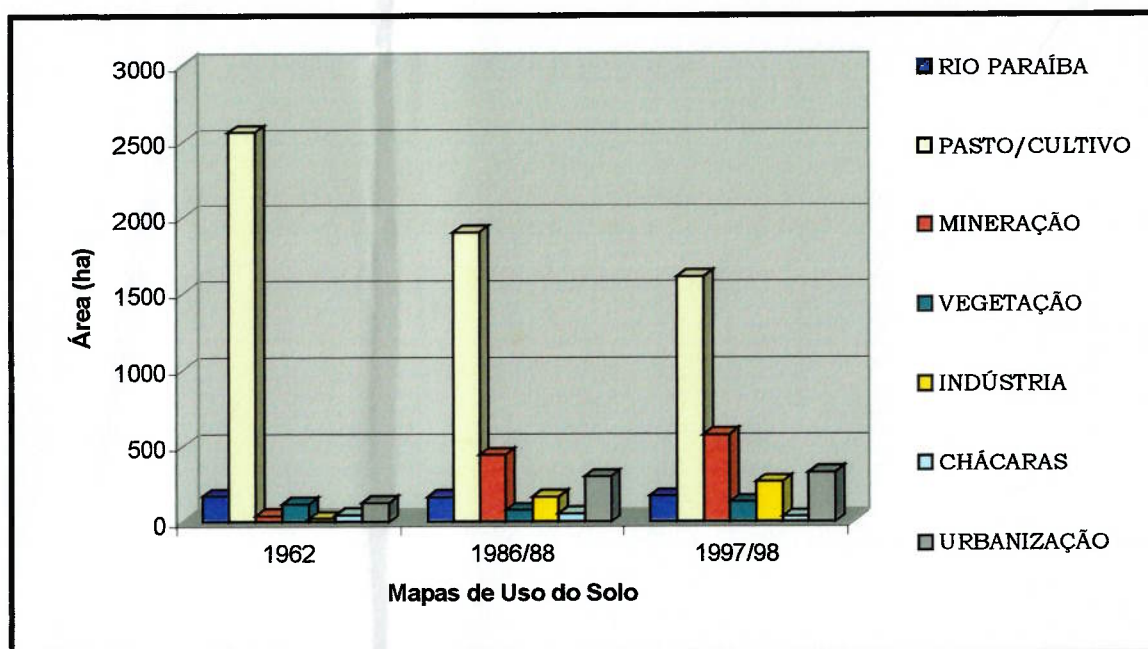


Figura 15: Evolução da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul entre 1962 e 1997/98.

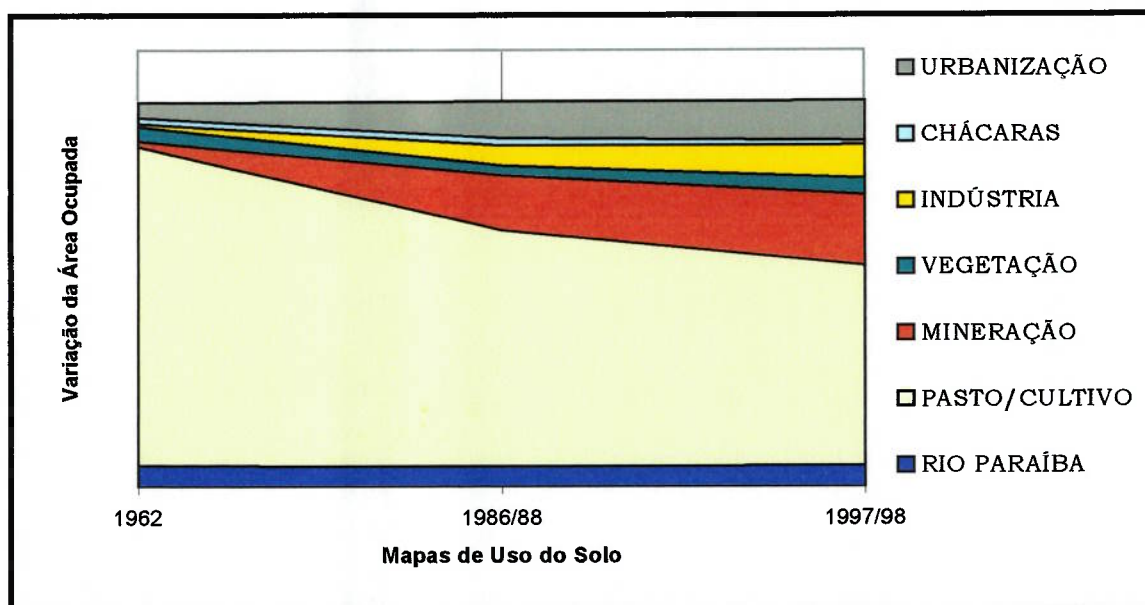
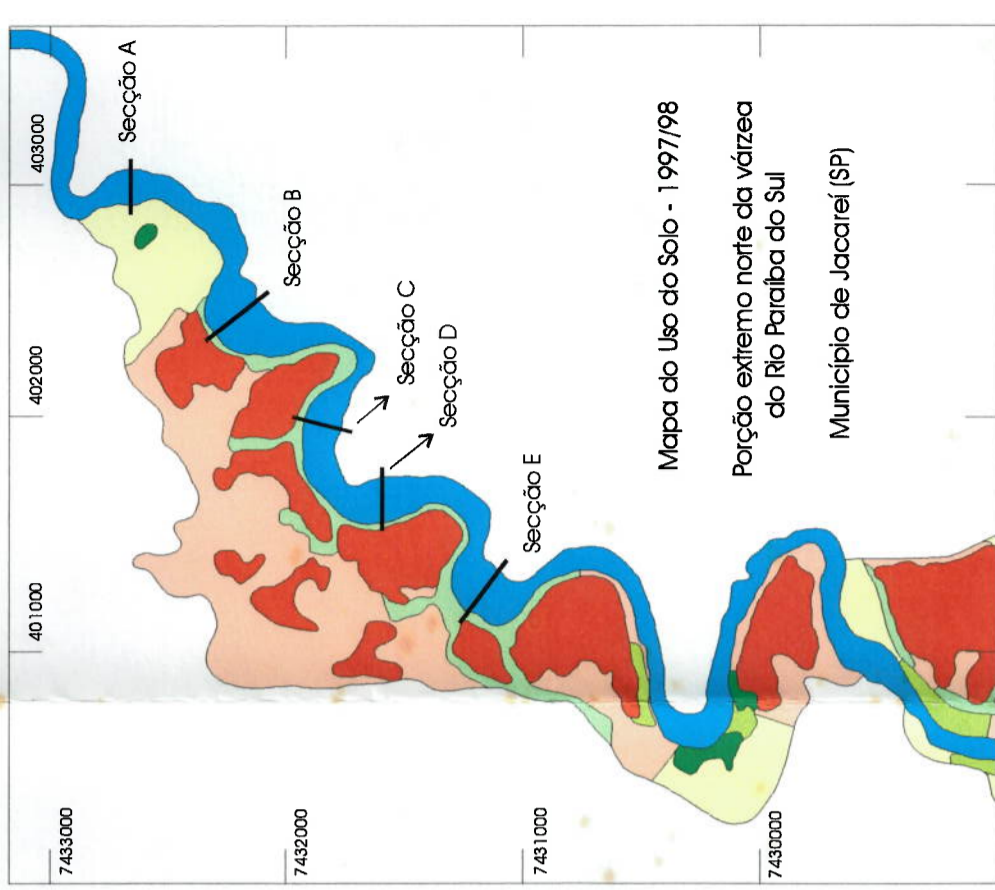
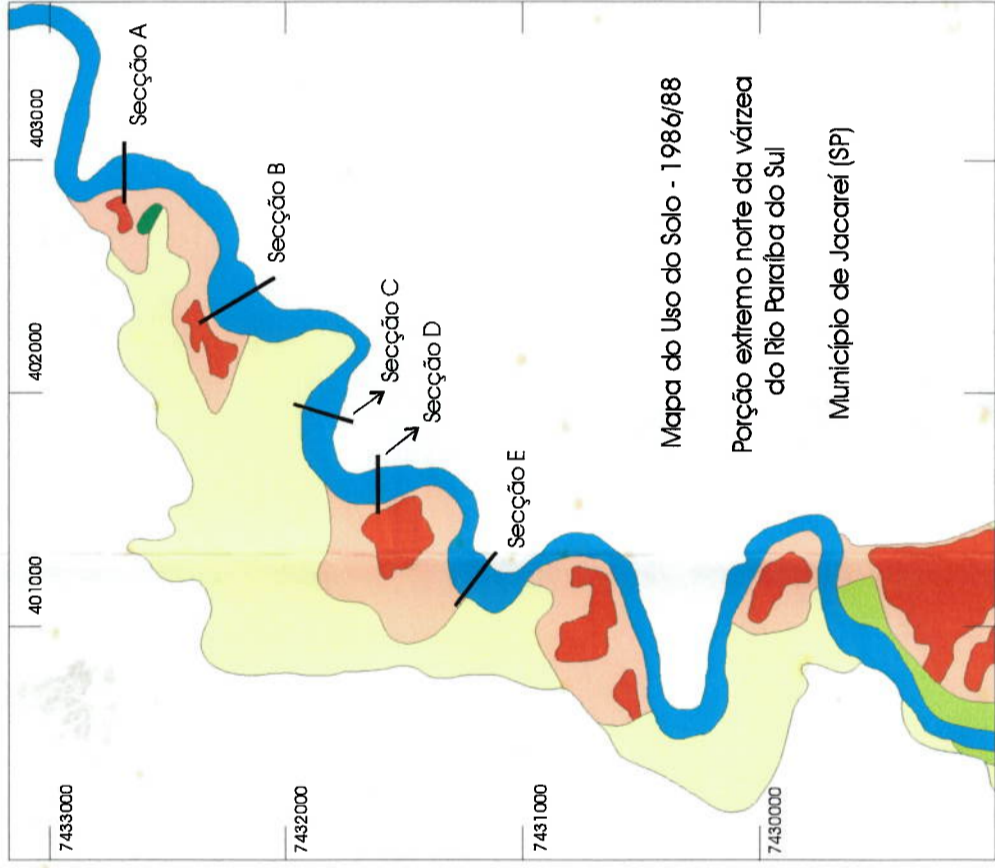
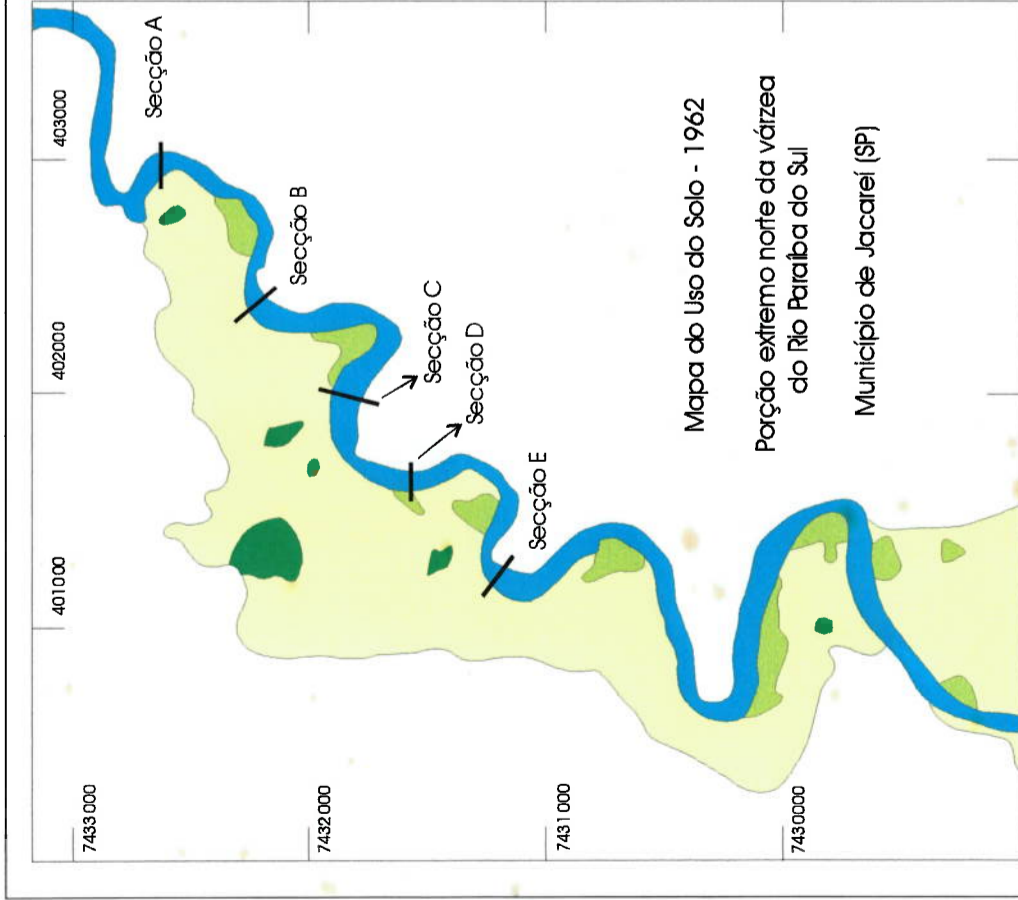







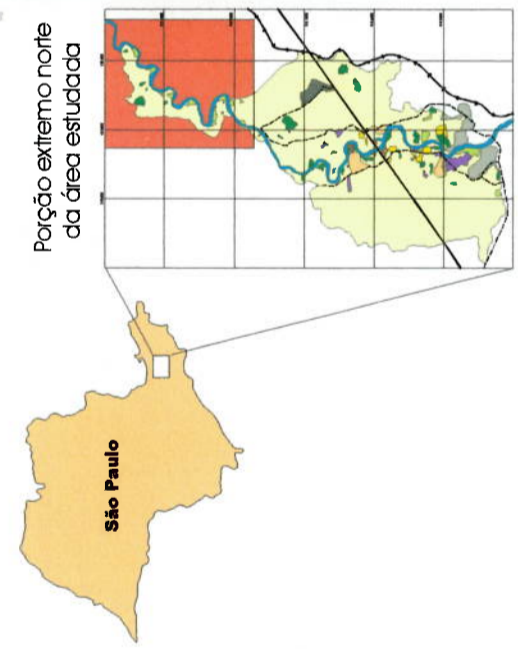


Figura 16: Variação das áreas cobertas pelas diversas classes de uso do solo da área estudada.



LEGENDA

-  Rio Paraíba do Sul
-  Zona com Pastagens/culturas
-  Áreas de mineração de areia
-  Cava de extração de areia
-  Vegetação pouco densa
-  Vegetação densa
-  Áreas de revegetação



Projeção
 Quadrícula
 Fuso 23
 Meridiano Central 45°
 UTM
 1000 metros

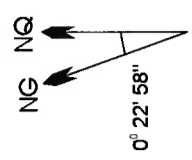
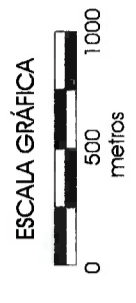
MAPAS ELABORADOS A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE:

- 1962 (escala 1:25.000)
- 1986 (escala 1: 5.000)
- 1988 (escala 1:10.000)
- 1997 (escala 1: 6.000)
- 1998 (escala 1:10.000)

Variação da largura do canal do Rio Paraíba do Sul

	1962	1986/88	1997/98
Seção A	93,90	173,80	218,60
Seção B	63,70	151,60	192,60
Seção C	131,70	153,30	160,70
Seção D	93,60	222,40	227,90
Seção E	111,30	145,70	153,20

ESCALA APROXIMADA
 1: 30.000



**ESCOLA POLITÉCNICA
 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Figura 17: Seções transversais em pontos de alargamento do Rio Paraíba do Sul.

Dissertação de mestrado: "Determinação de indicadores de impactos ambientais cumulativos decorrentes da mineração de areia no Vale do Paraíba através de geoprocessamento"

Agosto 2000

Autor: Eder Luiz Santo

As zonas industrial e urbana ao avançarem sobre a várzea, tomaram, respectivamente, 201,47 ha e 159,26 ha de áreas antes destinadas à agropecuária.

O quadro 14, traz os dados percentuais da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul por cada conjunto de classes nas três datas do estudo.

Quadro 14: Porcentagem da ocupação da várzea pelas classes de uso do solo nas datas pesquisadas.

	1962	1986/88	1997/98
Rio Paraíba do Sul	5,51	5,30	5,49
Zona de pastagens/culturas	82,98	61,19	51,74
Zona com chácaras	1,44	1,86	1,14
Áreas de mineração	1,36	14,20	18,48
Vegetação arbórea	3,85	2,52	4,23
Área industrial	0,79	5,32	8,52
Área urbana	4,06	9,61	10,40
TOTAL	100,00	100,00	100,00

6.3.5. INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL

O objetivo central do projeto de pesquisa desenvolvido, foi o de identificar e mensurar alguns indicadores de impactos ambientais cumulativos, provocados pela extração de areia no período entre 1962 e 1998.

Utilizando duas ferramentas freqüentemente empregadas em análises ambientais: séries temporais de fotografias aéreas e Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi possível estudar alguns parâmetros do meio físico como área ocupada pelas minerações, principalmente cavas de extração, alargamento do canal do Rio Paraíba do Sul, alterações no uso do solo, e indicadores biológicos tal qual a retirada de vegetação para implantação de minas de areia.

Não é possível iniciar uma discussão sobre indicadores de impacto ambiental sem antes definir o que são indicadores ambientais e impacto ambiental.

Indicadores ambientais são parâmetros passíveis de medição, através dos quais pode-se identificar possíveis mudanças de ordem física, química, biológica ou sócio-cultural, a que determinado meio ambiente tenha sido submetido, como consequência de ações antrópicas ou de processos naturais.

Como impacto ambiental entende-se “qualquer alteração no meio ambiente – em um ou mais de seus componentes – provocada pela ação humana” (MOREIRA, 1992).

Baseado nas duas definições extrai-se o conceito de indicadores de impacto ambiental como sendo parâmetros ou características ambientais, passíveis de quantificação, por meio dos quais pode-se identificar mudanças impostas ao meio ambiente pela ação humana, sejam elas de ordem física, química, biológica ou sócio-cultural.

Os mais de 50 anos de atividade extrativa mineral (desde 1949 até hoje) no leito e na várzea do Rio Paraíba do Sul, dentro do trecho estudado, produziram diversos efeitos ambientais negativos, que puderam ser identificados por fotografias aéreas:

- descaracterização da paisagem;

- desflorestamento;
- decapeamento do solo;
- exposição do lençol freático;
- alargamento do canal do rio;
- ocupação de terras aptas a atividades agropecuárias;
- ocupação da APP do Rio Paraíba do Sul.

Estas alterações funcionam como estopins capazes de desencadear problemas ambientais mais profundos, especialmente em um ambiente tão frágil e biologicamente rico como as planícies de inundação.

É justamente no sentido de se tentar estimar a abrangência e a intensidade de alguns impactos, que reside a importância de se quantificar os indicadores das alterações ambientais que atingem a várzea do Rio Paraíba do Sul.

A utilização de mapas gerados a partir de fotografias aéreas e estudados no SIG IDRISI, possibilitou a identificação e mensuração de diversos indicadores de impactos ambientais decorrentes do enorme crescimento da mineração de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul entre 1962 e 1997/98. Os principais são:

a) ocupação de terras aptas a atividades agropecuárias/decapeamento do solo

De 1962 a 1997/98, **489,56 ha** de terras cultiváveis cederam lugar à atividades de mineração, incluindo as cavas de extração de areia em operação ou abandonadas, o que dá uma taxa de crescimento anual médio de 13,60%. Isto

implicou uma alteração profunda na forma de utilização do solo, potencializando a sua degradação e influenciando sensivelmente o modo de vida da população local.

b) exposição do lençol freático

Em 1997/98, **266,95 ha** da várzea eram ocupadas por cavas submersas de extração de areia.

Considerando que a grande maioria das cavas submersas são abandonadas sem recuperação e que algumas delas localizam-se próximo a áreas urbanizadas, é justo admitir que tais escavações podem tornar-se focos de contaminação do lençol freático tanto em decorrência dos trabalhos de extração das mineradoras, como do lançamento de dejetos e efluentes por parte da população do entorno.

c) ocupação da APP do Rio Paraíba do Sul

Tomando por base o Código Florestal – Lei 4.771 de 1965 – cujo artigo 2º estabelece que são “consideradas de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja”, entre outras, “de 100 (cem) metros para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura”, considera-se a distância de 100 m de ambas as margens como APP do Rio Paraíba do Sul.

Sendo assim, em 1997/98 a mineração ocupava **125,40 ha** da zona de preservação, dos quais, **68,00 ha** eram de cavas submersas, contra **122,60 ha** (**41,64 ha** de cavas) identificados em 1986/88.

Analisando os números acima nota-se que mesmo com a aprovação do Código Florestal em 1965, a APP do rio Paraíba continuou sendo degradada pelas

atividades mineiras. Uma vez que, entre 1962 e o final da década de 90, muito se desenvolveu a extração mineral nessa zona.

Nem mesmo as determinações legais de cunho ambiental que foram criadas na década de oitenta, principalmente, a Resolução CONAMA 001 de 1986, que normatizou o EIA/RIMA, e o Decreto Federal 97.632 e a Resolução Estadual SMA 18, de 1989, que tornaram obrigatória a realização do PRAD, parecem ter sido importantes no controle do crescimento das atividades de mineração dentro da APP do Rio Paraíba do Sul. Prova disso é que as cavas de extração de areia tiveram um crescimento, em termos de área, cerca de 65% maior no período entre 1987/88 e 1997/98, quando comparado ao intervalo de 1962 a 1987/88.

d) descaracterização da paisagem

O avanço desordenado de algumas cavas de extração de areia dentro da APP produziu uma paisagem seriamente degradada, chegando ao ponto de, no final da década de 80, três cavas de extração de areia, localizadas na região central da área, estarem em contato direto com o canal do Rio Paraíba do Sul. A extensão desses contatos eram de **12,5 m, 18,0 m e 94,4 m**.

Já nas imagens de 1997/98 essas alterações não mais foram identificadas. A margem do rio havia sido recomposta com barreiras de terra e o seu canal estava isolado das cavas.

e) Desflorestamento

Mesmo antes de 1962 a vegetação nativa já era escassa na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul, tendo sido suprimida pela necessidade de expansão das atividades agropecuárias. No entanto, entre 1962 e 1997/98, com a mudança do perfil de ocupação da área, **48,57 ha** dos 118,94 ha de cobertura vegetal pré-existentes foram desmatados para a instalação de minerações na várzea;

f) alargamento do canal do rio

Alterações na morfologia de um rio fazem parte do amadurecimento de qualquer corpo d'água em busca do seu equilíbrio natural. Entretanto, sem influência externa essas mudanças ocorrem de forma lenta e gradativa.

No caso do Rio Paraíba do Sul, especialmente em seu curso norte dentro do trecho pesquisado, pôde-se notar um acentuado alargamento do seu canal no período entre 1962 e 1997/98.

Levando-se em conta que na época mais remota esta porção do rio exibia diversos bancos de areia (foto 7), não mais identificados a partir dos anos oitenta (fotos 8 e 9), e que, em seu percurso na região sul e central da área o canal do rio sofreu um estreitamento, especialmente a partir de 1974, com a inauguração da barragem de Paraibuna-Paraitinga a montante, pode-se dizer que a extração de areia no seu leito foi a principal responsável pelo alargamento do canal.

A alteração pôde ser constatada em cinco pontos diferentes, apresentados na figura 17, enquanto que as medidas das seções transversais do canal do Rio Paraíba do Sul, nos três mapas de uso do solo, são apresentados no quadro 15.

g) reflorestamento

Em respeito a diversos dispositivos legais implantados a partir da década de 80 - em especial o Decreto Federal 97.632 e a Resolução Estadual SMA 18, ambos de 1989, que impuseram a necessidade de elaboração e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para todos os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais, inclusive os já estavam em funcionamento antes da aprovação dessas regras - as empresas extratoras de areia atuantes na área pesquisada promoveram, no período entre 1986/88 e 1997/98, o reflorestamento de **37,10 ha** de vegetação arbórea nativa.

As zonas revegetadas ocupavam, principalmente, as margens das cavas submersas e das vias rodoviárias circundantes aos empreendimentos, funcionando como cortina verde para suavizar o impacto visual da atividade.

Quadro 15: Largura em metros do canal do Rio Paraíba do Sul em pontos de alteração da sua morfologia nos três mapas de uso do solo.

	1962	1986/88	1997/98
Seção A	93,90	173,80	218,60
Seção B	83,70	151,60	192,60
Seção C	131,70	153,30	160,70
Seção D	93,60	222,40	227,90
Seção E	111,30	145,70	153,20

Todos os parâmetros identificados e mensurados, exceto o reflorestamento, são indicadores de problemas ambientais relevantes, tais como:

- perda de habitats: d, f;
- comprometimento de espécimes vegetais e animais: d, f;
- erosão do solo: a, c, d;
- assoreamento de corpos d'água: a, d, e, f;
- contaminação do lençol freático: b;

- alteração do processo de escoamento das águas de superfície e sub-superfície: b, d, e, f;
- esterilização de terras produtivas: a.

É claro que a expansão da mineração de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul, embora seja a maior contribuinte, não é a única responsável por todos os problemas ambientais que ocorrem no local.

O avanço das zonas urbanas e industriais sobre a planície aluvial também produz alterações no equilíbrio do meio ambiente tais como: impermeabilização da várzea, poluição do Rio Paraíba do Sul e lençol freático, desmatamento, e outros.

Apesar de todos os problemas discutidos, é importante lembrar que as minerações não geram somente distúrbios ambientais. Do ponto de vista sócio-econômico, a atividade traz relevantes benefícios, denominados impactos positivos, como a geração de empregos e impostos para o Município de Jacareí, além de alimentar com matéria-prima a grande indústria da construção civil instalada na Região Metropolitana de São Paulo, cooperando, assim, para a criação de empregos indiretos.

6.3.6. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A aprovação do Decreto Federal 97.632 e da Resolução Estadual SMA 18, em 1989, que tornaram obrigatória às minerações a elaboração e execução de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, fez despertar, forçosamente, nas empresas do setor, uma maior preocupação com os problemas ambientais provocados pelas atividades mineiras. Desde então, diversos projetos de recuperação ambiental vêm sendo desenvolvidos com vistas a minimizar os efeitos danosos dessa atividade.

Entretanto, tais projetos, pelo menos aqueles aplicados nas minas instaladas na várzea do Rio Paraíba do Sul, dentro do Município de Jacareí, dão ênfase somente à revegetação das bordas das cavas já abandonadas ou das margens de estradas municipais, constituindo uma cortina vegetal para reduzir o impacto visual provocado pela extração mineral.

As cavas inativas são simplesmente abandonadas sem serem recuperadas, como mostra a foto 12 tirada no Porto Itapeva, fechado desde 1998. Algumas delas, como abordado por LEMOS (1999), oferecem riscos à saúde e à vida humana por estarem contaminadas com diferentes elementos químicos, inclusive metais pesados, terem taludes quase verticais e atingirem profundidades de até 30 metros, oferecendo risco de afogamento.

É certo que, após anos e anos de degradação contínua, atualmente, nenhuma empresa extrai em cavas submersas dentro da Área de Preservação Permanente do Rio Paraíba do Sul, pelo contrário, 17,30 ha dessa zona já foram reflorestados pelas mineradoras. Entretanto, iniciativas deste tipo, tomadas isoladamente, são incapazes de remediar os problemas ambientais causados no local.

Existem diferentes meios, descritos na literatura ou experimentais, utilizados na recuperação áreas com cavas de extração mineral abandonadas. Pode-se, por exemplo, transformá-las em lagos para criação de peixes, em sítios de deposição de resíduos pré-selecionados ou em parques e áreas de lazer.

A Mineração Itareia, após exaurir uma de suas cavas, resolveu recuperar o local para aproveitá-lo de outra forma. Optou pelo soterramento da cava (foto 13), que possuía cerca de 0,75 ha de área e aproximadamente 15 metros de profundidade. O aterramento, aprovado e supervisionado pela CETESB de Jacareí, vem sendo feito há mais de um ano, e utilizará, até o final da obra, cerca de 112.000 m³ de cascalhos e sedimentos argilo-arenosos do Grupo Taubaté.



Foto 12: Cava abandonada sem recuperação no Porto Itapeva. Taludes íngremes e plantas crescendo na superfície da água.



Foto 13: Antiga cava de mineração do Porto Itareia em fase final de aterramento. Opção para recuperar as lagoas abandonadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de fotografias aéreas de épocas distintas – 1962, escala 1:25.000; 1986, escala 1:5.000; 1988, escala 1:10.000; 1997, escala 1:10.000 e 1998, escala 1:6.000 –, interpretadas com o uso de estereoscópios, foram elaborados os mapas de uso do solo do trecho de várzea do Rio Paraíba do Sul, dentro do Município de Jacareí (SP), dos anos de 1962, 1986/88 e 1997/98.

A fotointerpretação, realizada seguindo critérios descritos por SOARES e FIORI em 1976, permitiu a identificação das seguintes classes de uso do solo:

1962	1986/88	1997/98
1. Rio Paraíba do Sul	1. Rio Paraíba do Sul	1. Rio Paraíba do Sul
2. Zona de cultivo/pastagem	2. Zona de cultivo/pastagem	2. Zona de cultivo/pastagem
3. Zona com chácaras	3. Zona com chácaras	3. Zona com chácaras
4. Mineração de argila	4. Mineração de argila	4. Cava de argila
5. Mineração de areia	5. Cavas de argila	5. Mineração de areia
6. Vegetação pouco densa	6. Mineração de areia	6. Cavas de areia
7. Vegetação densa	7. Cavas de areia	7. Vegetação pouco densa
8. Zona industrial	8. Vegetação pouco densa	8. Vegetação densa
9. Área de expansão urbana	9. Vegetação densa	9. Zonas de revegetação
10. Zona urbanizada	10. Zona industrial	10. Zona industrial
	11. Zona urbanizada	11. Área de expansão urbana
		12. Zona urbanizada

Os *overlays* das fotografias aéreas, contendo as características físicas da várzea do Rio Paraíba do Sul, passaram por um processo de georeferenciamento, vetorização e análise multitemporal no qual foram empregados os *softwares* CartaLinx versão 1.2 (utilizado na vetorização do mapa) e do SIG IDRISI versão 2.0, ambos desenvolvidos pela *Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis* da *Clark University*, nos Estados Unidos.

No processo de georeferenciamento, realizado para associar as imagens digitais ao sistema de coordenadas geográficas UTM, foi identificado um desvio de 12,14 m para o mapa de 1962, de 22,60 m para o de 1986/88 e de 8,76 m para o de 1997/98. Tais erros refletem distorções que são próprias das fotografias aéreas verticais, derivadas, principalmente, de variações na altura e no nível do vôo no momento de captação da imagem.

Os erros maiores encontrados no mapa de 1962 e, principalmente, no de 1986/88 em relação ao de 1997/98, têm relação com a metodologia adotada na elaboração de cada um deles. Enquanto nos dois primeiros os *overlays* com as feições identificadas nas fotografias aéreas foram unidos manualmente, constituindo um mosaico que depois foi escaneado, no último foi feito o contrário, os *overlays* foram digitalizados um a um, passaram por duplo georeferenciamento, e só então foram unidos por meio do *software* IDRISI.

Embora pareçam elevados, esses erros são compatíveis com dados da literatura como os apresentados por BOLSTAD (1992 *apud* BOLTAD e SMITH, 1995) que, estudando informações extraídas de fotografias aéreas verticais, determinou erros médios de posicionamento da ordem de 4 m a 16 m para terrenos planos e de 38 m a 73 m para terrenos elevados. Entretanto, não se deve desprezar tais imprecisões no momento de analisar as informações contidas nos mapas. É importante lembrar que as feições impressas nas cartas podem não corresponder plenamente à realidade identificada *in situ*.

Após terem sido atrelados ao sistema de coordenadas geográficas UTM, os mapas foram vetorizados com o uso do software CartaLinx e comparados com o auxílio da opção *Resample* do SIG IDRISI e do *software* Excel.

A evolução da ocupação da planície aluvial do rio Paraíba nos 36 anos abrangidos pelo estudo foi marcada pelo brutal incremento das atividades de mineração e industrial, além do considerável crescimento urbano. Com a ampliação dessas classes, as áreas inicialmente ocupadas por pastagens e/ou culturas anuais como a rizicultura foram perdendo espaço.

Em 1962, a várzea do Rio Paraíba do Sul exibia a sua vocação agropecuária. As áreas destinadas à agropecuária, ocupavam mais de 82% da planície aluvial.

Nesta época, somente 3,85% dos quase 3.100,00 ha de várzea do trecho estudado, possuíam cobertura vegetal. Isto equivale a dizer, que as atividades agrícolas e pecuárias já haviam retirado boa parte da vegetação nativa préexistente, inclusive a mata ciliar às margens do Rio Paraíba do Sul.

A presença de poucas indústrias e de pequenas minerações de argila e de areia, demonstravam haver uma incipiente demanda por bens de consumo e materiais usados na construção civil.

As características da ocupação da várzea do Rio Paraíba do Sul começam a mudar, segundo SAUSEN (1988), a partir de meados da década de 70, com a construção da barragem de Paraibuna-Paraitinga em 1974 - criada para regularizar as vazões e controlar as enchentes do rio Paraíba -, e o crescimento urbano da Região Metropolitana de São Paulo.

A instalação do reservatório, a montante de Jacareí, trouxe conseqüências imediatas para a ocupação da várzea.

Parte dos sedimentos trazidos pelos canais fluviais passaram a ser retidos na barragem. Com a redução da quantidade de areia no leito do Rio Paraíba do Sul, os mineradores deslocaram-se para a várzea, passando a extrair em cavas sobre os paleocanais.

O controle das enchentes anuais do rio também facilitou a expansão das áreas urbana e industrial para a várzea.

O rápido processo de crescimento populacional da Região Metropolitana de São Paulo, registrado na década de 70, fez crescer bastante a demanda por bens de consumo e materiais de uso na construção civil.

Pela sua excepcional localização e fácil acesso, o Vale do Paraíba passou a atrair diversas indústrias que resolveram se instalar na várzea do rio Paraíba, às margens da Rodovia Presidente Dutra visando facilitar o escoamento da produção.

Nessa época, os mineradores, que desde o final da década de 40 retiravam areia do Rio Paraíba do Sul para suprir parte do mercado da Região Metropolitana de São Paulo, viram-se obrigados a aumentar a produção. Com a escassez de material no leito, passaram a extrair em cavas submersas na planície aluvial do rio.

A situação de crescimento acelerado da ocupação da planície aluvial do Rio Paraíba do Sul pelas minerações de areia, teve seu ritmo diminuído no período entre 1986/88 e 1997/98 por influência, principalmente, de novas determinações legais, criadas no início da década de 90, que regulamentaram a extração de bem minerais da classe II (Lei 2.811 de 1990) e o uso e ocupação do solo do Município de Jacareí (Lei 2.874 de 1990), levando os empreendedores a buscarem espaço em outros municípios do Vale do Paraíba.

Para ilustrar essa situação tomemos os dados comparativos dos mapas de 1962 e 1986/88 e 1986/88 e 1997/98.

No primeiro período ocorreu um crescimento de:

- 947,81% na área ocupada pelas minerações de areia e argila;
- 573,70% na área industrial;
- e 137,17% na zona urbana.

No período entre 1986/88 e 1997/98 as principais mudanças na cobertura da várzea indicavam o acréscimo de:

- 30,27% das zonas de mineração (incluindo as cavas);
- 67,79% da cobertura vegetal;
- 60,24% da zona industrial;
- 8,32% da área urbana.

E o decréscimo de:

- 15,36% nas áreas de pastagens;
- 38,55% nas zonas de chácaras.

Uma análise mais aprofundada das alterações impostas às diversas classes de uso do solo nos períodos 1962-1986/88 e 1986/88-1997/98, pôde ser feita a partir da tabulação cruzada realizada pela opção *Crosstab* do IDRISI.

Os dados da tabulação cruzada entre os mapas de 1962 e 1986/88 indicaram que, dos 2.562,32 ha mapeadas como pastagens/culturas na data mais remota:

- 1.826,73 ha permaneceram inalterados;
- 343,13 ha passaram a ser ocupados por minerações de areia, sendo 144,30 ha de cavas submersas;
- 142,75 ha foram tomados por zonas urbanas;
- e 125,57 ha tornaram-se áreas industriais.

Além de avançar sobre zonas cobertas por pastagens, as minas de areia provocaram o corte de 40 ha, de um total de 118,94 ha de cobertura vegetal presentes na várzea anteriormente.

Já entre 1986/88 e 1997/98, as atividades agropecuárias haviam perdido espaço para as zonas de mineração de areia (129,07 ha), as cavas de extração de areia (63,11 ha), as áreas urbana e de expansão urbana (31,34 ha) e as zonas com vegetação arbórea (46,30 ha).

Tomando principalmente áreas de cultivo ou criação de gado, as zonas com atividades extrativas expandiram-se, nesse intervalo, de 440,00 ha para 573,17 ha, contando as cavas submersas de extração de areia, que cresceram 106,70 ha.

No período entre 1962 e 1997/98, marcantes foram as transformações impostas à planície aluvial do Rio Paraíba do Sul por conta do crescimento da mineração. Algumas dessas alterações podem ser melhor estudadas por meio de indicadores de impacto ambiental que são parâmetros passíveis de medição, através dos quais pode-se identificar possíveis mudanças de ordem física, química, biológica ou sócio-cultural, a que determinado meio ambiente tenha sido submetido, como consequência de ações antrópicas ou de processos naturais.

No estudo elaborado, alguns indicadores de mudanças ambientais puderam ser identificadas por meio de fotografias aéreas e quantificadas através do SIG IDRISI.

a) ocupação de terras aptas a atividades agropecuárias/decapeamento do solo

De 1962 a 1997/98, **489,56 ha** de terras cultiváveis cederam lugar à atividades de mineração e cavas de extração de areia. Isto implicou em uma alteração profunda na forma de utilização do solo, potencializando a sua degradação e influenciando o modo de vida da população local.

b) exposição do lençol freático

Em 1997/98, **266,95 ha** da várzea eram ocupadas por cavas submersas de extração de areia.

Uma vez que, a maioria das cavas submersas são abandonadas sem recuperação e algumas delas localizam-se próximo a áreas urbanizadas, é justo admitir que tais escavações são pontos onde o lençol freático é mais vulnerável à contaminação, seja em decorrência dos trabalhos de extração das mineradoras, ou do lançamento de dejetos e efluentes por parte da população do entorno.

c) ocupação da APP do Rio Paraíba do Sul

Considerando-se a distância de 100 m de ambas as margens do Rio Paraíba do Sul como APP definida no Código Florestal - Lei 4.771 de 1965, observou-se que, em 1997/98 a mineração ocupava **125,40 ha** da zona de preservação, dos quais, **68,00 ha** eram de cavas submersas, contra **122,60 ha** (**41,64 ha** de cavas) identificados em 1986/88.

Analisando os números acima nota-se que mesmo com a aprovação do Código Florestal em 1965, a APP do rio Paraíba continuou sendo degradada pelas atividades mineiras, uma vez que, desde 1962 a extração mineral se desenvolveu muito nessa zona.

Nem mesmo as determinações legais de cunho ambiental que foram criadas na década de oitenta, principalmente, a Resolução CONAMA 001 de 1986, que normatizou o EIA/RIMA, e o Decreto Federal 97.632 e a Resolução Estadual SMA 18, de 1989, que tornaram obrigatória a realização do PRAD, parecem ter auxiliado no controle do crescimento das atividades de mineração dentro da APP do Rio Paraíba do Sul. Prova disso é que as cavas de extração de areia tiveram um crescimento, em termos de área ocupada, cerca de 65% maior no período entre 1987/88 e 1997/98, se comparado ao intervalo de 1962 a 1987/88.

d) descaracterização da paisagem

O avanço desordenado de algumas cavas de extração de areia dentro da APP produziu uma paisagem seriamente degradada, chegando ao ponto de, no final da década de 80, três cavas de extração de areia, localizadas na região central da área, manterem contato direto com o canal do Rio Paraíba do Sul em três pontos, por extensões que variavam de **12,5 m a 94,4 m**. No entanto, em 1997/98 as margens do rio haviam sido recompostas com barreiras de terra e seu leito estava novamente isolado das cavas.

e) desflorestamento

A expansão das atividades agropecuárias na planície aluvial do Rio Paraíba do Sul antes de 1962 já havia suprimido grande parte da vegetação nativa. No entanto, entre 1962 e 1997/98, com a mudança do perfil de ocupação da área, **48,57 ha** dos 118,94 ha de cobertura vegetal pré-existentes foram desmatados para a instalação de minerações na várzea.

f) alargamento do canal do rio

O canal do Rio Paraíba do Sul, especialmente em seu curso norte dentro do trecho pesquisado, sofreu um acentuado alargamento no período entre 1962 e 1997/98.

Levando-se em conta que na época mais remota esta porção do rio exibia diversos bancos de areia, não mais identificados a partir dos anos oitenta, e que, em seu percurso na região sul e central da área o canal do rio sofreu um estreitamento, especialmente a partir de 1974, com a inauguração da barragem de Paraibuna-Paraitinga a montante, pode-se dizer que a extração de areia no seu leito foi a principal responsável pelo alargamento do seu canal.

A alteração pôde ser constatada em cinco pontos diferentes do canal do Rio Paraíba do Sul, sendo que no local mais afetado a largura do rio aumentou em **134,30 m**.

g) reflorestamento

Respeitando o Decreto Federal 97.632 e a Resolução Estadual SMA 18, ambos de 1989, que impuseram a necessidade de elaboração e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para todos os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais, inclusive os já estavam em funcionamento antes da aprovação dessas regras, as empresas extratoras de areia atuantes na área promoveram, no período entre 1986/88 e 1997/98, o reflorestamento de **37,10 ha** de vegetação arbórea nativa.

As zonas revegetadas ocupavam, principalmente, as margens das cavas submersas e das vias rodoviárias circundantes aos empreendimentos, funcionando como cortina verde para suavizar o impacto visual da atividade.

Os parâmetros mensurados são indicadores de uma série de impactos ambientais negativos, tais como:

- **perda de habitats** - causado pela retirada da vegetação e pelo alargamento do canal do Rio Paraíba do Sul;
- **comprometimento de espécimes vegetais e animais** - consequência da perda de habitats;
- **erosão do solo** - originado pela retirada da vegetação e pela expansão da zona de mineração sobre a APP do rio Paraíba e sobre as áreas de pastagens;
- **assoreamento de corpos d'água** - devido ao desmoronamento e conseqüente alargamento do canal do rio, retirada da vegetação e degradação do solo pela mineração;
- **contaminação do lençol freático** - acarretado pelas atividades extrativas devido à exposição das águas subterrâneas nas cavas de extração de areia;
- **alteração do processo de escoamento das águas superficiais e sub-superficiais** - motivado pela escavação do solo, retirada da vegetação, alteração da morfologia do rio.
- **esterilização de terras produtivas** - devido a expansão das minerações sobre áreas caracteristicamente agrícolas, promovendo a escavação e o decapeamento da camada fértil do solo.

Além do reflorestamento das zonas do entorno das cavas submersas, quase nada tem sido feito para recuperar as áreas mineradas. Uma única exceção foi notada durante a pesquisa. Procurando destinar um novo uso ao espaço ocupado por uma cava abandonada, a mineração Itareia resolveu aterrâ-la com cerca de

112.000 m³ de cascalhos e sedimentos argilo-arenosos do Grupo Taubaté. Para a realização do trabalho a empresa contou com a anuência e supervisão da CETESB. Trata-se de um interessante alternativa para reabilitar pequenas áreas degradadas pela mineração de areia.

Com o exposto, percebe-se que a importância do estudo realizado vai além da utilização de ferramentas como sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas para somente gerar mapas de uso do solo.

A elaboração de mapas de diferentes épocas e a comparação visual entre eles é, de certo modo, uma forma de análise muito simplista e pobre diante dos recursos computacionais - *software* e *hardware* - hoje disponíveis.

Nesse sentido reside a importância do trabalho realizado. Com o apoio de ferramentas de análise geográfica do *software* IDRISI, foi possível destrinchar os aspectos da evolução da ocupação do solo da área de estudo e, principalmente, analisar os indicadores de impactos ambientais decorrentes das minerações de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul.

O estudo realizado demonstra que a conjugação de fotografias aéreas e sistemas de informações geográficas é bastante útil aos estudos ambientais que envolvam a identificação de mudanças e conflitos no uso do solo de certa região ao longo do tempo, à definição de zonas ocupadas irregularmente, ou à identificação de indicadores ambientais, principalmente do meio físico, causados por atividades de mineração.

ANEXO I

RESUMO DE GEOREFERENCIAMENTO

file title : MAPA DE USO DO SOLO 1962

data type: byte
 file type: binary
 columns: 7500
 rows: 12500
 ref. System: utm-23s
 ref. units : m
 dist.: 1.0000000
 min. X: 396500.0000000
 max. X: 404000.0000000
 min. Y: 7421500.0000000
 max. Y: 7434000.0000000
 pos'n error: 12.132001
 resolution: 1.0000000
 min. value : 0
 max. Value: 1

Resample : Summary of Transformation - MAPA 1962

Computed polynomial surface : Linear (based on 15 control points)

Coefficient	X	Y
b0	-252358.4546221569180000	-4218969.1529886424500000
b1	0.5718237497853558	-0.0076539251442149
b2	0.0036681164750343	0.5698389925090375

Note : Figures are carried internally to 20 significant figures.

Formula shown is the back transformation (new to old).

Control points used in the transformation :

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
2517.603000	9873.452000	398072.000000	7426473.000000	9.049257
3551.126000	9240.018000	399910.000000	7425386.000000	7.165476
2701.909000	9070.069000	398411.000000	7425060.000000	3.507639
5160.578000	10309.060000	402705.000000	7427340.000000	27.502217
4226.541000	10583.540000	401050.000000	7427760.000000	10.452068

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
5606.743000	11909.970000	403457.000000	7430090.000000	12.947939
5107.056000	12234.070000	402610.000000	7430646.000000	18.288437
5427.047000	12947.770000	403140.000000	7431925.000000	1.995570
4440.606000	11616.520000	401420.000000	7429580.000000	8.023658
4571.355000	12160.910000	401650.000000	7430524.000000	2.099536
3013.793000	10593.660000	398922.000000	7427602.000000	omitted
3052.151000	7726.598000	399048.000000	7422700.000000	6.416177
2641.772000	8059.358000	398332.000000	7423278.000000	6.377083
3401.013000	8152.490000	399672.000000	7423462.000000	12.861979
4295.843000	8077.512000	401188.000000	7423340.000000	18.052765
4131.832000	9843.095000	400920.000000	7426455.000000	6.969549

Overall RMS = 12.132001

Note : RMS Error is expressed in input image units.

With low RMS errors, be careful that an adequate sample exists (eg. 2-3 times the mathematical min).

file title : PORÇÃO NORTE DO MAPA DE USO DO SOLO 1986/88

data type : byte
 file type : binary
 columns : 5200
 rows : 6000
 ref. system : utm-23s
 ref. units : m
 unit dist. : 1.0000000
 min. X : 398800.0000000
 max. X : 404000.0000000
 min. Y : 7427500.0000000
 max. Y : 7433500.0000000
 pos'n error : 18.7624989
 resolution : 1.0000000
 min. value : 0
 max. value : 1

Resample : Summary of Transformation - 1986/88 PORÇÃO NORTE

Computed polynomial surface : Quadratic (based on 17 control points)

Coefficient	X	Y
b0	286460643.0000000000	186863471.7500000000
b1	23.2484590411	32.1921887993
b2	-78.4223116636	-53.1550800800
b3	0.0000008063	0.0000093025
b4	-0.0000030667	-0.0000053365
b5	0.0000053601	0.0000037963

Note : Figures are carried internally to 20 significant figures.

Formula shown is the back transformation (new to old).

Control points used in the transformation :

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
2763.241000	653.347700	401053.125000	7427766.000000	16.823336
3868.962000	994.913100	402055.100000	7428072.700000	3.427618
3367.818000	1273.146000	401607.500000	7428340.000000	7.125990
385.437400	456.437200	398921.000000	7427602.000000	8.585017
4476.620000	3866.418000	402610.000000	7430646.000000	18.438137

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
3127.723000	2642.039000	401420.000000	7429580.000000	14.777075
2253.795000	1655.152000	400602.100000	7428678.400000	19.264064
3364.413000	3707.590000	401648.450000	7430524.200000	27.252698
3696.449000	1513.775000	401980.000000	7428536.000000	omitted
2181.039000	3825.834000	400564.000000	7430630.000000	9.898072
2801.408000	4821.273000	401085.000000	7431500.000000	31.060257
4101.295000	2243.700000	402275.000000	7429192.000000	8.483171
4268.153000	3260.676000	402430.450000	7430109.000000	8.298393
4691.251000	5150.812000	402808.200000	7431825.100000	36.507668
5444.208000	5968.087000	403485.100000	7432474.900000	30.373459
4068.914000	6082.451000	402242.200000	7432642.100000	17.100998
2141.391000	739.516300	400501.800000	7427868.150000	4.898175
4724.920000	2056.424000	402845.400000	7429015.000000	10.853817

Overall RMS = 18.762499

Note : RMS Error is expressed in input image units.

file title : PORÇÃO CENTRAL DO MAPA DE USO DO SOLO 1986/88

data type : byte
 file type : binary
 columns : 6200
 rows : 4300
 ref. system : utm-23s
 ref. units : m
 unit dist. : 1.0000000
 min. X : 396800.0000000
 max. X : 403000.0000000
 min. Y : 7424700.0000000
 max. Y : 7429000.0000000
 pos'n error : 23.563469
 resolution : 1.0000000
 min. value : 0
 max. value : 1

Resample:Summary of Transformation - 1986/88 PORÇÃO CENTRAL

Computed polynomial surface : Linear (based on 20 control points)

Coefficient	X	Y
b0	-621661.4556833207610000	-21095351.4824414551000000
b1	1.4603097765620730	0.0077849182180900
b2	0.0057481127489112	2.8409296625457543

Note : Figures are carried internally to 20 significant figures.

Formula shown is the back transformation (new to old).

Control points used in the transformation :

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
5006.902000	2756.872000	399907.806000	7425383.233000	4.616127
2866.889000	1885.301000	398405.431000	7425057.098000	omitted
9087.803000	1804.179000	402620.000000	7425013.000000	omitted
4663.759000	2398.079000	399690.000000	7425263.000000	29.734532
6331.805000	1597.691000	400818.000000	7424972.000000	7.379687
3118.028000	1428.395000	398625.500000	7424908.500000	omitted

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
8095.343000	2887.771000	402019.700000	7425417.000000	22.192980
6697.724000	9527.574000	401053.125000	7427759.536000	14.607567
3587.872000	7696.990000	398900.754000	7427126.690000	omitted
2255.367000	4538.168000	398027.712000	7426019.581000	15.014003
6657.106000	4256.176000	401019.539000	7425927.978000	omitted
7286.207000	6695.741000	401452.096000	7426780.059000	omitted
5396.026000	9761.584000	400176.200000	7427848.900000	19.902000
9188.558000	9329.052000	402744.990000	7427714.449000	omitted
7957.223000	1670.270000	401980.000000	7428536.000000	omitted
3693.857000	5180.729000	398980.548000	7426240.589000	33.264310
9132.200000	8334.896000	402703.000000	7427340.000000	29.352261
6053.448000	12106.840000	400648.000000	7428678.400000	omitted
2129.613000	4464.644000	397938.000000	7425995.000000	13.330893
2075.166000	6957.154000	397902.000000	7426862.000000	23.157062
2753.620000	7597.604000	398356.000000	7427091.500000	3.372332
7012.596000	10555.940000	401268.600000	7428133.300000	20.650693
6003.984000	8070.881000	400587.800000	7427270.100000	omitted
5525.246000	8130.088000	400263.930000	7427270.000000	20.751476
5671.926000	7129.554000	400377.900000	7426922.300000	33.167812
7462.292000	12586.220000	401549.200000	7428913.000000	omitted
3533.904000	6755.124000	398870.800000	7426794.000000	30.451184
3135.717000	5082.234000	398608.100000	7426198.200000	30.635969
2706.121000	3216.597000	398311.800000	7425557.300000	32.066263
8166.179000	10405.890000	402055.100000	7428072.700000	7.015625
6484.378000	5766.641000	400920.000000	7426453.000000	34.978952

Overall RMS = 23.563469

Note : RMS Error is expressed in input image units.

With low RMS errors, be careful that an adequate sample exists

(eg. 2-3 times the mathematical min).

file title : PORÇÃO SUL DO MAPA DE USO DO SOLO 1986/88

data type : byte
 file type : binary
 columns : 6200
 rows : 3900
 ref. system : utm-23s
 ref. units : m
 unit dist. : 1.0000000
 min. X : 396600.0000000
 max. X : 402800.0000000
 min. Y : 7421500.0000000
 max. Y : 7425400.0000000
 pos'n error : 25.475407
 resolution : 1.0000000
 min. value : 0
 max. value : 1

Resample : Summary of Transformation

Computed polynomial surface : Linear (based on 16 control points)

Coefficient	X	Y
b0	-983903.6845023632050000	-22692922.2811104059000000
b1	1.2972948751200022	-0.1213985624152283
b2	0.0633961541805412	3.0643679915283606

Note : Figures are carried internally to 20 significant figures.

Formula shown is the back transformation (new to old).

Control points used in the transformation :

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
5624.144000	12717.570000	399907.806000	7425383.233000	omitted
3672.907000	12032.860000	398405.431000	7425057.098000	omitted
9272.777000	11144.510000	402620.000000	7425013.000000	omitted

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
5305.103000	12383.820000	399690.000000	7425263.000000	omitted
6785.928000	11271.660000	400818.000000	7424972.000000	7.432053
3885.113000	11493.080000	398625.500000	7424908.500000	omitted
8412.542000	12464.900000	402019.700000	7425417.000000	39.754957
6669.539000	10406.070000	403523.628000	7425889.891000	omitted
5421.750000	8689.600000	399825.000000	7424100.000000	34.807086
4356.548000	4594.050000	399049.638000	7422697.456000	omitted
5840.113000	2400.068000	400211.595000	7422053.089000	22.420641
3432.488000	6385.364000	398327.663000	7423277.230000	22.339187
6240.506000	4275.726000	400494.987000	7422662.279000	omitted
7163.604000	6260.537000	401189.457000	7423346.683000	21.361729
2811.692000	2602.440000	397877.298000	7422035.055000	30.400900
3018.587000	4666.885000	398008.123000	7422685.303000	omitted
2790.241000	6692.382000	397814.066000	7423361.374000	2.397620
5165.856000	6738.478000	399643.000000	7423463.000000	omitted
6998.191000	3086.471000	401075.000000	7422286.000000	omitted
3806.699000	3571.115000	398652.000000	7422358.000000	omitted
5622.694000	5761.021000	400042.000000	7423066.000000	omitted
4139.629000	2525.804000	398922.500000	7422046.200000	7.258094
2917.998000	5671.667000	397938.800000	7423038.500000	23.376458
3803.892000	5126.874000	398622.100000	7422869.000000	39.358526
5517.305000	3976.095000	399953.800000	7422557.200000	5.667556
4996.093000	2079.638000	399575.000000	7421930.000000	18.797919
2746.933000	7997.075000	397770.000000	7423730.000000	omitted
7252.100000	7860.755000	401254.000000	7423875.000000	35.470023
3717.966000	10252.920000	398448.400000	7424542.100000	33.811081
2941.085000	10301.680000	397822.000000	7424535.000000	omitted
5502.237000	10154.530000	399820.000000	7424096.000000	omitted
6494.634000	8050.384000	400648.000000	7423920.000000	14.617734

Overall RMS = 25.475407

Note : RMS Error is expressed in input image units.

With low RMS errors, be careful that an adequate sample exists (eg. 2-3 times the mathematical min).

file title : MAPA DE USO DO SOLO DE 1998

data type : byte
 file type : binary
 columns : 6950
 rows : 11300
 ref. system : utm-23s
 ref. units : m
 unit dist. : 1.0000000
 min. X : 396800.0000000
 max. X : 403750.0000000
 min. Y : 7421750.0000000
 max. Y : 7433050.0000000
 pos'n error : 8.7547493
 resolution : 1.0000000
 min. value : 0
 max. value : 11

Resample : Summary of Transformation

Computed polynomial surface : Linear (based on 24 control points)

Coefficient	X	Y
b0	-10342.7129783630371000	3405.5006942749023400
b1	1.0028688711999223	-0.0005804898210044
b2	0.0013464605931404	0.9995722835792549

Note : Figures are carried internally to 20 significant figures.

Formula shown is the back transformation (new to old).

Control points used in the transformation :

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
400720.000000	7425382.000000	399920.600000	7425382.000000	4.121269
398869.200000	7426037.000000	398069.300000	7426037.000000	2.510575
402262.300000	7426756.600000	401450.000000	7426772.000000	11.824829
399233.100000	7424723.800000	398436.900000	7424725.000000	1.278493
402973.000000	7424827.900000	402166.200000	7424825.000000	6.737795
400633.500000	7423734.000000	399832.000000	7423737.000000	1.792928

Old X	Old Y	New X	New Y	Residual
401988.200000	7423332.000000	401188.900000	7423335.000000	4.208157
398650.400000	7422028.000000	397864.000000	7422031.000000	6.521356
400751.800000	7422550.600000	399951.000000	7422550.000000	2.791730
401857.400000	7422922.700000	401056.200000	7422923.000000	2.336155
398164.600000	7425749.000000	397370.000000	7425744.000000	6.387777
399514.200000	7425162.000000	398731.000000	7425156.000000	17.517119
399170.600000	7427074.000000	398355.000000	7427090.000000	20.376805
401183.800000	7426947.000000	400385.000000	7426920.000000	omitted
401992.800000	7427982.000000	401181.000000	7427985.000000	2.542610
403571.000000	7427710.000000	402738.000000	7427716.000000	19.197659
401421.100000	7428677.000000	400605.000000	7428678.000000	7.884147
404052.000000	7432603.000000	403238.000000	7432610.000000	7.866181
403058.900000	7432641.000000	402243.000000	7432641.000000	7.722043
401904.100000	7431495.000000	401089.000000	7431501.000000	0.922233
404476.300000	7431577.000000	403662.000000	7431584.000000	7.388919
401164.200000	7430420.000000	400356.000000	7430420.000000	5.569916
402227.600000	7429566.000000	401419.000000	7429577.000000	6.952515
400988.200000	7427848.000000	400176.000000	7427856.000000	6.947353
402470.400000	7428780.000000	401658.000000	7428792.000000	6.929881

Overall RMS = 8.754750

Note : RMS Error is expressed in input image units.

With low RMS errors, be careful that an adequate sample exists
(eg. 2-3 times the mathematical min).

ANEXO II
MAPAS DE USO DO SOLO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHE, L.M. *Atividade extrativa de areia e suas implicações ambientais na várzea do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo*. São Paulo, 1991. 177p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- AFEK, Y.; BRAND, A. Mosaicking of orthorectified aerial images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 64, n. 2, p. 115-25, 1998.
- AMARAL, S.M.; VIZITIM, M.; BARROS, O.N.F. Fotografias aéreas e evolução do uso do solo: bacia hidrográfica do Córrego Unda, Cambé, Paraná, Brasil. *Photo-Interpretation*, v. 1, p. 31-6, 1993.
- BAUERMEISTER, K.H. *Distribuição e disponibilidade das áreas de extração de areia para a construção civil, visando o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 1996. 115p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BERGER, A.R. The geindicator concept and its application: an introduction. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. *Geoinicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, Balkema, 1996(a). p. 1-14.
- BERGER, A.R. Introduction to geindicator checklist. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. *Geoinicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, Balkema, 1996(b). p. 383-94.
- BERGER, A.R. Assessing rapid environmental change using geoinicators. *Environmental Geology*, v. 32, n. 1, p. 36-44, 1997.

- BITAR, O.Y.; AUGUSTO FILHO, O.; IWASA, O.Y.; CUNHA, M.A.; FORNASARI FILHO, N. Indicadores geológico-geotécnicos na recuperação ambiental de áreas degradadas em regiões urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, Poços de Caldas, 1993. *Anais*. São Paulo, ABGE, 1993. v. 2, p. 177-83.
- BOLSTAD, P.V.; SMITH, J.L. Errors in GIS: assessing spatial data accuracy. In: LYON, J.G.; McCARTHY, J.C.R.C. *Wetland and environmental applications of GIS*. New York, Lewis, 1995. p. 301-12.
- BROWN, A.V.; LYTTLE, M.M.; BROWN, K.B. Impacts of gravel mining on gravel bed streams. *Transactions of American Fisheries Society*, v. 127, p. 979-94, 1998.
- BRUSCHI, D.M.; PEIXOTO, M.C.D. *Extração de areia, cascalho e argila*. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 1997. 90p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, v.4).
- CAMPANHA, V.A. *A arquitetura deposicional da Bacia Sedimentar de Taubaté, SP, com subsídio à delimitação das zonas de produção mineral*. Rio Claro, 1994. 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- CAVALCANTI, R. N. A areia de construção civil e o meio ambiente. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 3, Londrina, 1991. *Anais*. Londrina, ENESMA, 1991. p. 404-15.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Diagnóstico da poluição ambiental no interior de São Paulo*. São Paulo, CETESB, 1994. 133p. (Relatório Técnico).

COUSTRINARI, L.; McCALL, G.J.H. Geo-indicadores: ciências da terra e mudanças ambientais. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 9, p. 5-11, 1995.

DAVIS, C. Uso de Imagens em GIS. *Fator GIS*, n. 20, p. 21-4, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Anuário Mineral Brasileiro - 1997*. [On line] Brasília, DNPM, 1999. Disponível através de <http://www.dnpm.gov.br>. Arquivo capturado em Maio de 1999. Sem paginação.

EASTMAN, J.R. *IDRISI for Windows User's Guide version 2.0: tutorial exercises*. Worcester, Graduate School of Geography, Clark University, 1997. 192p.

EASTMAN, J.R., McKENDRY, J.E., FULK, M.A. *Explorations in Geographic Information Systems Technology: Change and Time Series Analysis*. Geneva, United Nations Institute for Training and Research, 1995, v.1, 121 p.

ELLIOTT, D.C. A conceptual framework for geoenvironmental indicators. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, Balkema, 1996. p. 337-49.

FORNAZARI FILHO, N., BRAGA, T.O.; GALVES, M.L.; BITAR, O.Y.; AMARANTE, A. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. 165 p. (Publicação IPT, n. 1972).

GOES, M.H.B. *Diagnóstico ambiental por geoprocessamento no município de Itajaí - RJ*. Rio Claro, 1994. 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

GUIMARÃES FILHO, H.A.; CRÓSTA, A.P. Digitalização de mapas: um roteiro. *Fator GIS*, n. 4, p. 35-9, 1994.

HAGAN, J.E., EASTMAN, J.R., AUBLE, J. *CartaLinx user's guide version 1.0*. Worcester, Graduate School of Geography, Clark University, 1998. 197p.

HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A. ; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S.; SANTOS, M. C.S.R. *Geologia da região administrativa 3, Vale do Paraíba e parte da região administrativa 2 do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978. (Monografia IPT, n. 1).

HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. *Anais*. Recife, SBG. v. 1, p. 177-83.

HAMBLIN, W.K.; CHRISTIANSEN, E.H. *Earth's dynamic systems*. 8.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1998. 740p.

INSTITUTO GEOLÓGICO. *Projeto Paraíba do Sul: potencialidade de areia*. São Paulo, Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente, 1997. 2v. (Relatório Técnico).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:500 000*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, 1981. 2v.

JOHNSON, L.B. Analyzing spatial and temporal phenomena using Geographic Information Systems, a review of ecological applications. *Landscape Ecology*, v. 4, n. 1, p. 31-43, 1990.

- KADMON, R.; HARARI-KREMER, R. Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sensing Environment*, v. 68, p. 164-76, 1999.
- KESSLER, B.L. Glossary of GIS terms. In: LYON, J.G.; McCARTHY, J.C.R.C. *Wetland and environmental applications of GIS*. New York, Lewis, 1995. p. 301-12.
- KONDOLF, G.M. Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning*, v. 28, p. 225-43, 1994.
- KONDOLF, G.M. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, v. 21, n. 4, p. 533-51, 1997.
- LEMOS, M.M.G.; MENEZES, G.V.; EYSINK, G.G.J. BEYRUTH, Z.; COSTA, M.P.; MARTINS, M.C. *Qualidade ambiental das cavas submersas de extração de areia, Jacaré, SP: subsídios para o controle e a reabilitação*. São Paulo, CETESB, 1997. 66p. (Relatório Técnico).
- LEMOS, M.M.G. *Subsídios à recuperação de cavas submersas resultantes da mineração de areia em planície aluvial, Bacia do Rio Paraíba do Sul, São Paulo, SP*. São Paulo, 1999. 92p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- MACEDO, A.B. Recursos minerais não-metálicos. *Estudos Avançados*, v. 12, n. 33, p. 67-87, 1998.
- MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. São Paulo, Nobel, 1997. 257p.

- MARTOS, M.H.; GIBOTTI JR., M.; MARTOS, M.Y.H.G. Aspectos ambientais, técnicos, sócio-econômicos e legais na recuperação de áreas degradadas por portos de areia na região de Sorocaba - SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. *Anais*. São Paulo, Instituto Florestal/Secretaria do Meio ambiente, 1992, p. 760-5.
- MENDONÇA, F.; STIPP, N. Aplicação de fotografias aéreas no estudo da erosão urbana de Paranavaí, Paraná, Brasil. *Photo-Interprétation*, v. 1, p. 17-20, 1993.
- MOREIRA, I.V.D. *Vocabulário básico de meio ambiente*. 4.ed. Rio de Janeiro, Petrobrás/Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1992. 246p.
- MOSSA, J.; McLEAN, M. Channel planform and land cover changes on a mined river floodplain. *Applied Geography*, v. 17, n. 1, p. 43-54, 1997.
- MURGEL, M.C.O.; PEREIRA, M.A.M.G.; SIMONSEN, R.M.; TEIXEIRA, H.R.; ARAÚJO, N.; BARBOUR, E.D.; SOLDATELLI, L.M. O PRAD no contexto da recuperação das bacias hidrográficas do estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., *Anais*. São Paulo, Instituto Florestal/Secretaria do Meio ambiente, 1992, p. 937-44.
- POPE, P.; EECKHOUT, E.V.; CHERYL, R. Waste site characterization through digital analysis of historical aerial photographs. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 62, n. 12, p. 1387-94, 1996.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1965. 226p.
- RICCOMINI, C. *O Rift continental do sudeste do Brasil*. São Paulo, 1989. 256p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- ROBINSON, A.H.; MORRISON, J.L.; MUEHRCKE, P.C.; KIMERLING, A.J.; GUPTILL, S.C. *Elements of cartography*. 6.ed. New York, John Wiley, 1995. 674p.
- ROCHA, G.C. Potencial de fotografias aéreas em branco e preto para o traçado de limites entre classes de solos sobre rochas básicas no sul do Brasil. *Photo-Interprétation*, v. 2, p. 125-30, 1993.
- SAAD, A.R. *Potencial econômico da bacia de Taubaté (Cenozóico do Estado de São Paulo, Brasil) nas regiões de Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba*. Rio Claro, 1990. 173p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SANDECKI, M. Aggregate mining in river systems. *California Geology*, v. 42, n. 4, p. 88-94, 1989.
- SAUSEN, T.M. *Modificação na forma do canal do rio em função da ação antrópica, exemplo: Rio Paraíba do Sul*. São Paulo, 1988. 2v. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SCARIM, J.L.; TEIXEIRA, A.L.A. Digitalização e conversão raster/vetor de mapas. *Fator GIS*, n. 6, p. 16-21, 1994.
- SCHLAGEL, J.D.; NEWTON, C.M. A GIS-Based statistical method to analyze spatial change. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 62, n. 7, p. 839-44, 1996.

- SEABRA, O.C.L. *Os meandros dos rios nos meandros do poder, Tietê e Pinheiros: valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo*. São Paulo, 1987. 323p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. *Carta topográfica Fazenda do Poço (SF-23-Y-D-II-I-SO-E)*. São Paulo, SEPLAN, 1978. Escala 1:10.000.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. *Carta topográfica Jacareí I (SF-23-Y-D-II-3-NO-A)*. São Paulo, SEPLAN, 1978. Escala 1:10.000.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. *Carta topográfica Jacareí II (SF-23-Y-D-II-3-NO-C)*. São Paulo, SEPLAN, 1978. Escala 1:10.000.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. *Carta topográfica Esperança (SF-23-Y-D-I-4-NE-D)*. São Paulo, SEPLAN, 1978. Escala 1:10.000.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. *Carta topográfica Fazenda Santana do Rio Abaixo (SF-23-Y-D-I-4-NE-B)*. São Paulo, SEPLAN, 1978. Escala 1:10.000.
- SHIMIZU, G.Y.; CARVALHO, M.A.J. ; SENDACZ, S.; LEMOS, M.M.G.; GARCIA, E., EYSINK, G.G.J. Lagoas de mineração de areia: Impactos sobre os parâmetros ambientais e comunidades bióticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2, Recife, 1995. *Anais*. São Paulo, ABRH, 1995. v. 3, p. 269-73.

- SILVA, S.M.S. *Mineração de areia e cascalho e o meio ambiente num setor do Rio Mogi-Guaçu (Município de Araras - SP)*. Rio Claro, 1997. 125p. Dissertação(Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas.*, v. 16, n. 32, p. 55-70, 1976. .
- TEIXEIRA, A.A.; MATIAS, L.F.; NOAL, R.H.; MORETTI, E. A história dos SIGs. *Fator GIS*, n. 10, p. 21-6, 1995.
- VACHON, M.M.; DUBOIS, J.M.; PROVENCHER L. Fotointerpretación de la línea natural de las altas aguas y de los límites de las crecidas de 20 años y de 100 años: el ejemplo del Rio Saint-François en Quebec (Canada). *Photo-Interpretation*, v. 3, p. 151-4, 1993.
- VALVERDE, F.M., coord. *Bases para o planejamento da mineração de areia na Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, CPRM/DNPM, 1997. 133p. (Relatório Técnico).
- WILLIAMS, D.C.; LYON, J.G. Historical aerial photographs and a geographic information system (GIS) to determine effects of long-term water level fluctuation on wetlands along the St. Marys River, Michigan, USA. *Aquatic Botany*, v. 58, p. 363-78, 1997.
- WOLF, P.R. *Elements of photogrammetry*. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1983. 628p.
- ZAIZHI, Z. Landscape changes in a rural area in China. *Landscape and Urban Planning*, v. 47, p. 33-8, 2000.