

E82-10178

CR-168601



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Made available under NASA sponsorship  
in the interest of early and wide dis-  
semination of Earth Resources Survey  
data. Information and without liability  
for any use made thereof.

(E82-10178) APPLICATION OF REMOTE SENSING  
TO THE PHOTOGEOLOGIC MAPPING OF THE REGION  
OF THE ITATIÁIA ALKALINE COMPLEX M.S.  
Thesis (Instituto de Pesquisas Espaciais,  
Sao Jose) 124 p HC AG6/MF A01

N82-22613

Unclass

CSCI 14E G3/43 00178

RECEIVED BY

NASA STI FACILITY

DATE: NOV 25 1981

DCAF NO. 008949

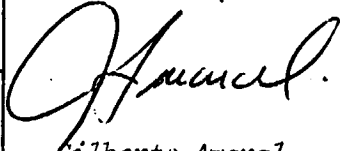

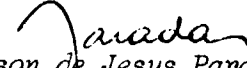
PROCESSED BY

NASA STI FACILITY

ESA - SDS  AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº <i>INPE-2220-TDL/062</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>RECFI</i>		
6. Palavras chaves <i>GEOLOGIA LANDSAT</i>	selecionadas pelo(s) autor(es) <i>ITATIAIA COMPLEXO ALCALINO</i>		
7. C.D.U.: <i>528.711.7:550.8:528 (815.32)</i>			
8. Título <i>APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO FOTOGEOLÓGICO DA REGIÃO DO COMPLEXO ALCALINO DE ITATIAIA</i>		10. Páginas: <i>122</i>	
		11. Última página: <i>A.1</i>	
9. Autoria <i>José Eduardo Rodrigues</i>		12. Revisada por  <i>Gilberto Amaral</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <p><i>Neste projeto, avaliou-se a metodologia de utilização de sensoriamento remoto, quando aplicada ao mapeamento de áreas geologicamente complexas, através da interação entre os dados de verdade terrestre e informações fornecidas pelos sensores do MSS do sistema LANDSAT e pelo mosaico de radar. Escolheu-se como área-teste a que contém o complexo alcalino de Itatiaia e seu embasamento pré-cambriano, em terras dos Estados de Minas Gerais São Paulo e Rio de Janeiro. Os resultados conseguidos com o mapeamento das unidades estratigráficas e estruturais foram bastante satisfatórios, embora não se tivesse individualizado os tipos litológicos que compõem cada uma das unidades estratigráficas. Identificaram-se em grande número os lineamentos fotogeológicos, muito dos quais representativos de falhamentos, chegando, alguns deles, a condicionar os limites de unidades estratigráficas. Os trabalhos de processamento automático conduziram a um grande realce de lineamentos fotogeológicos, não muito claros na cena original, e à classificação automática das áreas sedimentares, entre as quais se encontram os depósitos de talus das encostas alcalinas.</i></p>			
15. Observações <i>Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto aprovada em 21 de novembro de 1980.</i>			

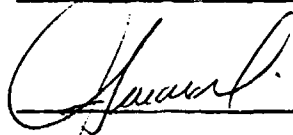
Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento dos requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre em  
Sensoriamento Remoto

Dr. Icaro Vitorello



Presidente

Dr. Gilberto Amaral



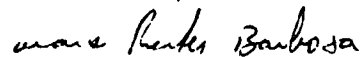
Orientador

Dr. Yociteru Hasui



Membro da Banca  
-convidado-

Geo. Marx Prestes Barbosa



Membro da Banca

José Eduardo Rodrigues



candidato

Original photography may be purchased from  
EROS Data Center

Sioux Falls, SD. 57198

São José dos Campos, 21 de novembro de 1980

À Maria Helena, minha esposa,  
pelo apoio e incentivo.

### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Gilberto Amaral pela orientação, esclarecimentos e apoio.

Ao Dr. Yociteru Hasui pelo incentivo, sugestões e esclarecimentos.

Ao Dr. Ícaro Vitorello e ao geólogo Marx Prestes Barbosa, pela participação na Banca Examinadora e pelas sugestões.

Ao geólogo Paulo Roberto Martini pela revisão de partes deste trabalho e sugestões adicionais.

À Diretoria do Parque Nacional do Itatiaia pelo apoio recebido durante o trabalho de campo.

Aos Srs. José Carlos Moreira e Edson Alves Ribeiro pela colaboração durante os trabalhos de processamento automático.

À Sra. Maria Bernadete Caetano de Souza e ao Sr. Edson Ferreira de Araújo pelo rápido atendimento às solicitações de imagens e material de trabalho.

À Srta. Márcia Mendes pela datilografia deste trabalho.

À Srta. Neusa Maria Dias Bicudo pela revisão de linguagem do texto original.

### RESUMO

Neste projeto, avaliou-se a metodologia de utilização de sensoriamento remoto, quando aplicada ao mapeamento de áreas geologicamente complexas, através da interação entre os dados de verdade terrestre e informações fornecidas pelos sensores do MSS do sistema LANDSAT e pelo mosaico de radar. Escolheu-se como área teste a que contém o complexo alcalino de Itatiaia e seu embasamento pré-cambriano, em terras dos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Os resultados conseguidos com o mapeamento das unidades estratigráficas e estruturais foram bastante satisfatórios, embora não se tivesse individualizado os tipos litológicos que compõem cada uma das unidades estratigráficas. Identificaram-se em grande número os lineamentos fotogeológicos, muitos dos quais representativos de falhamentos, chegando, a alguns deles, a condicionar os limites de unidades estratigráficas. Os trabalhos de processamento automático conduziram a um grande realce de lineamentos fotogeológicos, não muito claros na cena original, e à classificação automática das áreas sedimentares, entre as quais se encontram os depósitos de tálus das encostas alcalinas.

ABSTRACT

*The remote sensing methodology applied to geologically complex areas, through the interaction of ground truth and information extracted from multispectral LANDSAT images and radar mosaics was evaluated. The test-area chosen covers part of Minas Gerais, Rio de Janeiro and São Paulo States, and contains the alkaline complex of Itatiaia and surrounding Precambrian terrains. The results of the geological and structural mapping were satisfactory, but the lithological varieties that form the massives couldn't be individualized. A lot of photogeological lineaments were mapped, some of which represented the boundaries of stratigraphic units. With automatic processing, the photogeological lineaments, not very clear in the original scenes, were enhanced. Also, the automatic processing was used to make classification of the sedimentary areas, including the talus deposits of the alkaline massives.*

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xiii</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xv</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Objetivos .....	1
1.2 - Localização da Área .....	2
1.3 - Geomorfologia .....	4
1.4 - Clima .....	5
1.5 - Vegetação .....	6
1.6 - Solos .....	7
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	9
2.1 - Material utilizado .....	9
2.2 - Sistemas de investigação .....	10
2.2.1 - Sistema LANDSAT .....	10
2.2.1.1 - Subsistema MSS .....	11
2.2.1.2 - Subsistema RBV .....	12
2.2.2 - Radar .....	13
2.2.3 - O Image-100 (I-100) .....	14
2.3 - Etapas de trabalho .....	17
2.3.1 - Coletas de dados .....	18
2.3.2 - Análise bibliográfica .....	20
2.3.3 - Interpretação das imagens .....	21
2.3.4 - Controle de campo .....	23
2.3.5 - Decisões de avaliação .....	24
2.3.6 - Conclusão .....	24
<u>CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA</u> .....	25
3.1 - Estratigrafia .....	25
3.1.1 - Considerações gerais .....	25
3.1.2 - Descrição das unidades .....	27
3.2 - Geologia estrutural .....	50
3.2.1 - Estruturas sedimentares .....	50



	<u>Pág.</u>
3.2.2 - Estruturas reliquiárias .....	51
3.2.3 - Foliação .....	51
3.2.4 - Lineações .....	52
3.2.5 - Dobras .....	53
3.2.6 - Juntas .....	54
3.2.7 - Falhas .....	54
3.3 - Tectônica .....	59
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</u> .....	63
4.1 - Generalidades .....	63
4.2 - Contribuição ao conhecimento da área .....	63
4.3 - Comportamento fotogeológico das unidades .....	67
4.3.1 - Grupo Paraíba .....	67
4.3.2 - Grupo Açunguã .....	69
4.3.3 - Rochas Granitoides .....	70
4.3.4 - Rochas Alcalinas .....	70
4.3.5 - Bacias Sedimentares .....	71
4.3.6 - Tálus Terciários .....	73
4.3.7 - Tálus Quaternários .....	74
4.3.8 - Aluviões .....	75
4.4 - Processamento automático .....	75
4.4.1 - Pré-processamento .....	75
4.4.2 - Classificação automática .....	78
4.4.3 - Filtragens digitais .....	82
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u> .....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
APÊNDICE A - MAPA GEOLÓGICO .....	A.1

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Localização da área .....	3
2.1 - Sequência das etapas do trabalho .....	19
3.1 - Augen-gnaisse do Grupo Paraíba .....	29
3.2 - Gnaisse finamente bandado (Grupo Paraíba) .....	30
3.3 - Estromatitos do Grupo Paraíba .....	31
3.4 - Migmatitos estromatíticos do Grupo Açunguã.....	34
3.5 - Diques anelares do Maciço de Itatiaia .....	42
3.6 - Aspecto dos Talús ao sul do Maciço de Itatiaia .....	48
3.7 - Lente de quartzito alinhada sobre a Falha de Queluz, a sudeste dessa cidade .....	56
4.1 - Aspecto tonal e textural dos domínios do Grupo Paraíba, no canal 6 do MSS-LANDSAT .....	68
4.2 - Aspecto tonal e textural do Grupo Açunguã no canal 6 do MSS-LANDSAT .....	69
4.3 - Aspecto fotogeológico dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro .....	70
4.4 - Padrão do relevo das bacias sedimentares de Taubaté e Resende.	72
4.5 - Textura dos depósitos de talús ao sul do Maciço de Itatiaia..	73
4.6 - Aspecto dos depósitos de talús ao sul do Maciço de Passa Quatro .....	74
4.7 - Composição entre o SCALING do canal 5 (x2) e o canal 6 original .....	76
4.8 - Composição entre os Contrast Stretch's dos canais 5 e 7 .....	77
4.9 - Composição entre os temas 1, 2, 4 e 5 do Slicer do canal 7 e os canais 5 e 6 .....	78
4.10 - Slicer do canal 7 filtrado com MD5FIL, em composição com o canal 7 original.....	80
4.11 - MAXVER dos 4 canais do MSS-LANDSAT .....	81
4.12 - Composição entre Single-cell dos canais 5 e 7 e o tema 1 do Slicer do canal 7 original .....	82
4.13 - Filtro mediano sobre o canal 7 .....	83
4.14 - Filtro MD5FIL sobre o canal 7 com Filtro Mediano .....	84
4.15 - Filtro do tipo III sobre o canal 6 com Filtro Mediano .....	85
4.16 - Filtro MD5FIL sobre o canal 7 .....	86
4.17 - Filtro do tipo I (A=0, B=-1, C=15, D=0) sobre o canal 6 ....	88

	<u>Pág.</u>
4.18 - Filtro do tipo I (A=0, B=-2, C=15 e D=20) sobre o canal 6 ..	89
4.19 - Filtro do tipo II (A=1, B=-2, C=15 e D=0) sobre o canal 6 ..	90
4.20 - Filtro do tipo II (A=1, B=-2, C=12 e D=0) sobre o canal 6 ..	91
4.21 - Dupla filtragem do canal 6, com filtro do tipo II .....	92
4.22 - Tripla filtragem do canal 6, com filtro do tipo II .....	93
4.23 - Composição entre o canal 7 e o produto de sua filtragem com o filtro do tipo III .....	94

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Relação das Imagens MSS-LANDSAT utilizadas no trabalho .....	10
2.2 - Características espectrais do sistema MSS-LANDSAT .....	12
2.3 - Configuração dos filtros bidimensionais curtos .....	18
3.1 - Esquema da evolução geológica da área .....	62

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - OBJETIVOS

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através de seu Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), tem desenvolvido metodologia de utilização de sensoriamento remoto em investigação de recursos naturais.

O sistema LANDSAT tem sido o mais importante elemento dessa linha de trabalho, por suas características próprias (repetitividade, caráter multiespectral e visão sinótica), que revertem em baixo custo operacional, por quilômetro quadrado, para o levantamento geológico. O trabalho aqui apresentado é enquadrado nessa filosofia.

Para tanto, foi escolhida, como área-teste a região circunvizinha ao Complexo Alcalino de Itatiaia, de literatura profícua, mas carente em trabalhos baseados em Sensoriamento Remoto.

O objetivo geral foi o de testar o desempenho dos produtos de sensoriamento remoto, quando aplicados ao mapeamento de áreas geologicamente complexas.

Os objetivos específicos foram:

- Observar a continuidade ou não do Grupo Açunguê e dos grandes falhamentos, transcorrentes ou normais, para além do laste paulista, conforme sugerido por Hasui et alii (1978c).
- Buscar evidências da existência de estruturas rúpteis ainda não assinaladas em mapas anteriores, principalmente no sul de Minas Gerais, onde a literatura tem se mostrado carente quanto a esse tipo de informação.

- Dar maior ênfase à demarcação dos depósitos coluviais nas encostas das intrusões alcalinas, por sua importância na formação de concentrações bauxíticas.
- Verificar o potencial das técnicas de processamento automático, através da comparação entre os resultados obtidos e os fornecidos pela análise visual da cena original.

## 1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Este projeto tem sua área definida pelos meridianos  $44^{\circ}25'$  e  $45^{\circ}00'$  W e pelos paralelos  $22^{\circ}05'$  e  $22^{\circ}40'$  S, perfazendo um total de cerca de  $3.900 \text{ Km}^2$  (Figura 1.1).

Situado no importante eixo Rio-São Paulo, esse quadrilátero contém, entre suas cidades mais importantes, as sedes dos municípios de Itamonte; Itanhandu e Passa Quatro (MG), Cruzeiro, Queluz e São José do Barreiro (SP) e Resende (RJ).

O principal curso d'água é representado pelo Rio Paraíba do Sul, que corta toda a área em direção aproximada N60E, desde as proximidades de Cachoeira Paulista até a cidade de Resende. Secundariamente, podem ser citados os rios Verde, Preto, Grande, do Salto, Passa Quatro, Itagaçaba, Pirapetinga, do Feio e Aiuruoca.

O sistema viário é relativamente precário, destacando-se a Rodovia Presidente Dutra como o mais importante elemento desse sistema. Existem ainda algumas rodovias de menor expressão, como a SP-66 (Estrada Velha Rio-São Paulo) e a BR-354, que liga a cidade de Engenheiro Passos à rodovia MG-152 (Cruzeiro/Caxambu). O quadro das vias de acesso é completado por um bom número de estradas não-pavimentadas, caminhos rurais e trilhas.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

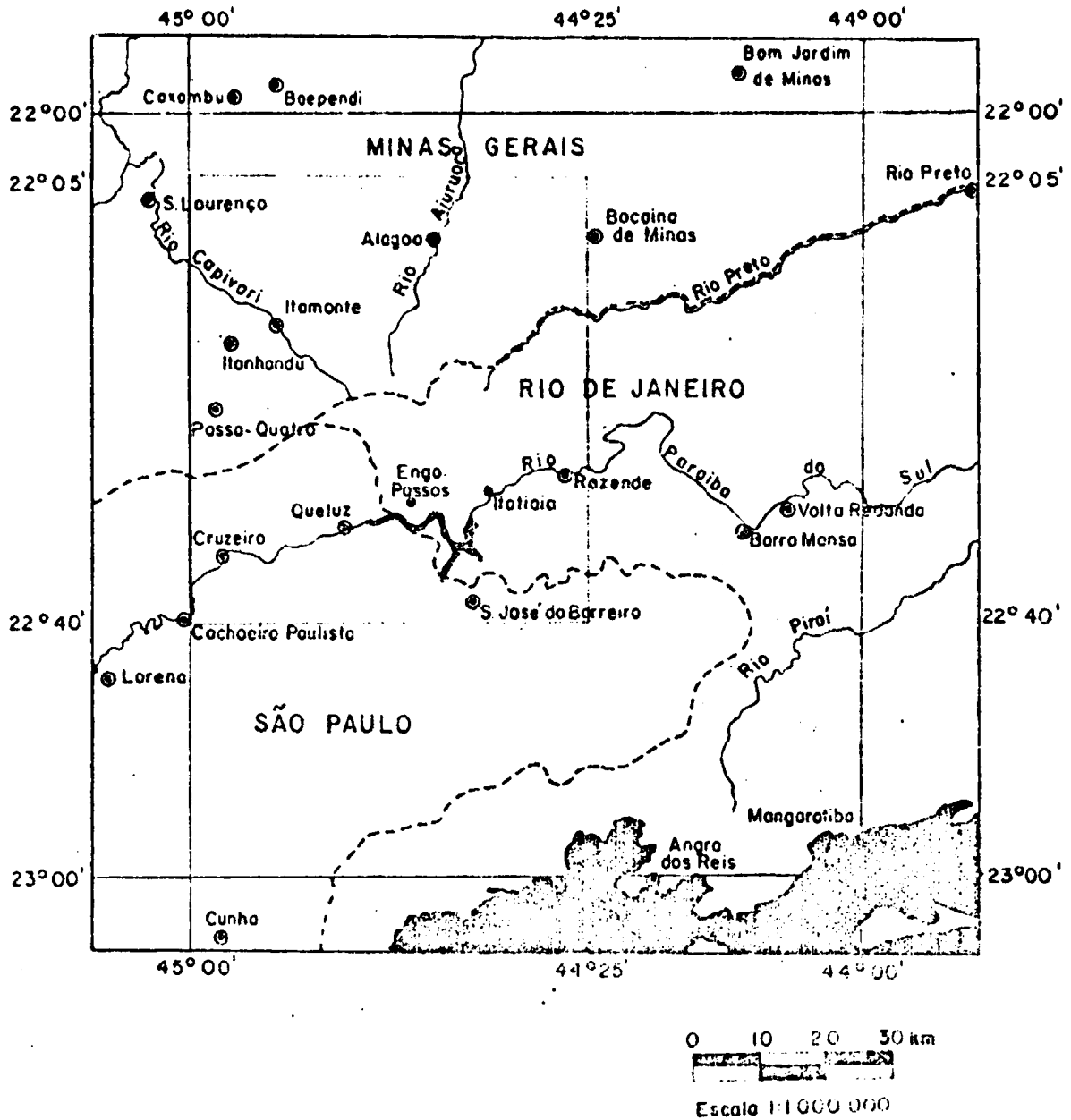


Fig. 1.1 - Localização da área.

### 1.3 - GEOMORFOLOGIA

Na área estudada ocorrem partes de três grandes domínios geomorfológicos: Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e Planalto Sul de Minas.

O Vale do Paraíba ocupa o terço mais meridional da área estudada e caracteriza-se por uma superfície muito rebaixada em relação aos terrenos adjacentes, com cotas que só ultrapassam os 800 m nas proximidades da Serra da Bocaina, ao sul. Sua origem está vinculada aos eventos tectônicos desencadeados durante a Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967). Por essa ocasião, a reativação de antigos falhamentos transcorrentes gerou falhas normais, que por abatimento escalonado vieram a constituir o graben pelo qual corre atualmente o Rio Paraíba do Sul, em seu curso médio. O relevo do vale foi entalhado por esse rio e seus tributários, sobre os migmatitos do Grupo Açunguá, e apresenta, como característica, extensos mares de morros. Os elementos do relevo (cristas e vales) apresentam uma certa orientação, concordante com os sistemas dominantes de juntas (Hasui et alii, 1978c). Duas importantes bacias sedimentares se instalaram no Vale do Paraíba durante o Terciário: a de Taubaté e a de Resende, ambas indiscutivelmente tectônicas. O relevo sobre elas mostra-se muito aplainado, contrastando com o dos terrenos migmatíticos das adjacências.

A Serra da Mantiqueira caracteriza-se por uma notável carpa voltada para o Vale do Paraíba, cujas cotas ultrapassam com facilidade os 2.000 m. O trecho situado à altura do médio curso do Rio Paraíba do Sul constitui sua parte mais importante. Sua origem está relacionada à interação entre os eventos de arqueamento da superfície de erosão Japi e os de abatimento do Graben do Paraíba. Formou-se deste modo o hemi-horst que constitui a Serra da Mantiqueira, moldado a partir dos gnaisses do Grupo Paraíba. No trecho desta serra, situado entre as bacias sedimentares de Taubaté e Resende, estão alojados os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, um dos mais importantes conjuntos nefelíticos do País. Essas rochas sustentam algumas das mais imponentes



elevações do Sudeste Brasileiro, entre as quais destaca-se o Pico das Agulhas Negras, com 2.787 m de altitude. O relevo da Serra da Mantiqueira mostra-se muito jovem, reflexo da tectônica moderna que age sobre a região. Seu escarpamento apresenta-se bastante abrupto, com grandes desníveis, evidenciando o estágio imaturo de sua evolução. Seguindo a serra em rumo nordeste, observa-se que o escarpamento vai se tornando cada vez menos nítido, indicando um acentuado decréscimo dos efeitos do tectonismo vertical.

Ao se transporem as escarpas da Serra da Mantiqueira, em direção ao interior, adentra-se nos domínios do Planalto Sul de Minas, que ocupa toda a metade norte da área estudada. Este planalto representa uma vasta superfície basculada para o norte, que se estende até o rio São Francisco e cujos terrenos são formados por rochas dos grupos Paraíba, Barbacena, Andrelândia e São João del Rei. Sua origem é a mesma da Serra da Mantiqueira. O relevo é maturo, formado por morros de 1.000 a, no máximo, 1.100 m de altitude, intercalados por cristas concordantes com a orientação dos gnaisses e cujas cotas alcançam, com frequência, os 1.600 m (IBGE, 1977).

#### 1.4 - CLIMA

A Região Sudeste é, entre todas as regiões brasileiras, a que apresenta maior diversificação climatológica considerando-se o regime das temperaturas, e esta diversificação é inferior apenas à da Região Nordeste, quanto à complexidade das variações dos aspectos pluviométricos.

Na área deste trabalho, Nimer (IBGE, 1977) definiu vários tipos de clima, variando desde o Quente Úmido, das regiões mais próximas do litoral, até o Mesotérmico Superúmido Sem Seca, no Alto Itatiaia.

A temperatura média anual oscila entre 18 e 20°C, podendo apresentar máximas absolutas entre 34 e 36° e mínimas absolutas entre

0 e  $-6^{\circ}\text{C}$ . Na região do Alto Itatiaia (2.199 m), as temperaturas mínimas e máximas registradas são de  $-6$  e  $25,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, com média anual de  $11,5^{\circ}\text{C}$ . Os meses mais frios do ano são os de maio a agosto, in tervalo de ocorrência de 90% dos 56 dias anuais de geada na região.

O nível pluviométrico se situa entre os 1.500 e os 2.250 mm/ano, exceto no Alto Itatiaia, onde esses valores são superados, atin gindo, com frequência, marcas acima dos 2.350 mm/ano. Os meses de maio a agosto são também os mais secos do ano.

Os altos valores de umidade e pluviosidade da região aliados a fatores estruturais e geomorfológicos, tais como: o intenso diaclasamento das rochas e o baixo grau de evolução das encostas, favore cem a formação de matacões e sua deposição na base dos declives, compon do vastos depósitos de tálus. Ainda como função do grau de umidade, a decomposição das rochas nefelínicas é favorecida, tanto nos blocos rola dos quanto in situ, neste caso em locais protegidos da erosão, formando os solos ricos em bauxita.

#### 1.5 - VEGETAÇÃO

São bastante vastas as áreas ocupadas pela pecuária, onde a vegetação se caracteriza pela predominância das gramíneas rasteiras. Em áreas restritas, desse contexto, encontram-se trechos de cobertura vegetal mais exuberante, principalmente nos fundos dos vales e em lo cais onde o vigoroso relevo dificulta a instalação de atividade pastoril. Este é o caso das encostas das Serra da Mantiqueira e dos maciços alca linos, onde densas florestas se preservam em sua forma original.

Sobre as encostas mais elevadas, o condicionamento da ve getação é marcadamente topográfico, resultando numa nítida estratifica ção da cobertura vegetal.

O primeiro tipo de vegetação que se percebe nessas encos tas é a mata pluvial tropical do trecho sul, estrato inferior, que se

estende, a partir de sua base, até a altitude de 1.600 m (Hueck, 1972). Neste tipo de mata são abundantes as árvores altas, aparecendo secundariamente os fetos arborescentes, as palmeiras e as samambaias. A presença de Cecrórias revela que a vegetação original não se encontra totalmente preservada.

Entre 1.600 e 2.300 m, de altitude instala-se uma típica mata de neblina, que constitui o estrato superior da mata pluvial e na qual predominam as árvores de troncos baixos e tortuosos, sobre os quais assenta grande quantidade de musgo. Em geral, este tipo de vegetação não alcança altura superior a 8 m. Nos vales dos rios Preto e Campo Belo ocorrem matas de araucárias, que podem se estender até os 2.000 m de altitude.

Acima da cota dos 2.300 m formam-se os campos altitudinais subalpinos, com inserções de formações rochosas a descoberto. Tais campos são compostos por ervas e arbustos anões, que formam, em conjunto, uma densa cobertura, ainda que rasteira.

#### 1.6 - SOLOS

A região abrangida por este projeto mostra grande diversificação quanto aos tipos de solos, sendo encontrados os Podzólicos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Litossolos, além dos Aluviais e Hidromórficos menos expressivos.

As variedades de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos aqui encontrados são a Orto e a "intergrade" para Latossolo Vermelho-Amarelo. São solos bem desenvolvidos e, em geral, moderadamente drenados, cuja permeabilidade é relativamente baixa e gerados a partir de rochas portadoras de abundante sílica.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são os que apresentam maior diversificação, ocorrendo as variedades Orto, fase rasa, fase terço e "intergrade" para Podzólico Vermelho-Amarelo. Estes solos são,

em geral, profundos e com transição e diferenciação pouco nítida entre os seus horizontes. Sobre os depósitos coluvionares alcalinos instala-se o Latossolo Vermelho-Amarelo-Orto, argiloso e bem drenado, ao qual a concentração de alumínio confere caráter eminentemente ácido.

Os Litossolos desta região localizam-se, em sua maior extensão, sobre os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro; são solos pouco desenvolvidos e rasos, cuja origem vincula-se de modo direto à excessividade do relevo.

Os Solos Aluviais ocupam as posições mais baixas da topografia, situando-se normalmente nos fundos dos vales mais amplos. Constituem-se em material não consolidado de deposição recente e, em geral apresentam-se profundos e com horizontes bem definidos.

Nas planícies de inundação alojam-se os Solos Hidromórficos, caracterizados por seu relevo plano, por sua pouca profundidade e pelo continuado encharcamento, que vem a provocar o acúmulo de material orgânico em seu horizonte superior.

## CAPÍTULO 2

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1 - MATERIAL UTILIZADO

Para a realização deste trabalho foram utilizadas principalmente imagens multiespectrais do sistema LANDSAT, em seus canais 5, 6 e 7, na escala de 1:250.000. Como apoio complementar utilizaram-se imagens LANDSAT em escala de 1:500.000.

Além das imagens acima referidas, foi utilizado um mosaico de imagens LANDSAT em escala de 1:100.000, obtido por ampliação fotográfica da área de interesse, a partir do mosaico de Região Sudeste, elaborado por técnicos do INPE/Cachoeira Paulista. Foi ainda usado o mosaico de radar SF-23-Z-A, do Projeto RADAMBRASIL, em escala de 1:250.000.

Todos esses produtos foram trabalhados em cópias fotográficas em papel preto e branco.

Para o tratamento automático, executado através do analisador Image-100, utilizaram-se as fitas CCTs (Compatíveis Com Computador) da área correspondente (pontos 150/27 e 150/28), de 11 de julho de 1973.

A base planimétrica foi extraída por redução, a partir de cartas topográficas do IBGE, folhas Pouso Alto, Passa Quatro, Cruzeiro, Liberdade, Agulhas Negras, São José do Barreiro, Resende, Bananal e Alagoa, todas em escala de 1:50.000 e datadas de 1974.

As imagens LANDSAT usadas durante a execução deste trabalho estão relacionadas na Tabela 2.1.

TABELA 2.1

RELAÇÃO DAS IMAGENS MSS-LANDSAT UTILIZADAS NO TRABALHO

ÓRBITA/PONTO (SRB)*	DATA DA PASSAGEM	ESCALA	ELEVAÇÃO SOLAR/ AZIMUTE	APRESENTAÇÃO
150/27	11/07/73	1:250.000	31/043	PAPEL P&B
150/28	11/07/73	1:250.000	30/043	PAPEL P&B
150/28	25/06/76	1:250.000	22/049	PAPEL P&B
150/28	10/05/78	1:250.000	33/047	PAPEL P&B
150/27	11/07/73	1:500.000	31/043	PAPEL P&B
150/28	11/07/73	1:500.000	30/043	PAPEL P&B
150/28	25/06/76	1:500.000	22/049	PAPEL P&B

\* *Sistema de Referência Brasileiro*

2.2 - SISTEMAS DE INVESTIGAÇÃO

2.2.1 - SISTEMA LANDSAT

O Sistema LANDSAT idealizado pela NASA (EUA), iniciou suas operações em julho de 1972, com o lançamento do primeiro satélite da série, o LANDSAT-1, desativado em outubro de 1976. Em janeiro de 1975 deu-se o lançamento do LANDSAT-2, de características semelhantes às do primeiro e cujos sinais foram recebidos a partir de novembro do ano seguinte. Em março de 1978 foi colocado em órbita o terceiro desses satélites, cuja operação iniciou-se em abril do mesmo ano.

Os satélites do Sistema LANDSAT têm órbita geocêntrica, circular, quase-polar e síncrona com o Sol, numa altitude de cerca de 918 Km. A inclinação de sua trajetória, em relação à linha do Equador é de 99°, medidos no sentido horário.

Cada órbita completa tem um período de 103 minutos, sendo, portanto, cumpridas 14 órbitas a cada 24 horas. Após 18 dias terão sido cobertas todas as 251 órbitas do satélite, sendo então iniciada a reciclagem.

O sentido de deslocamento é de norte para sul e a distância entre duas passagens adjacentes é de 159 Km, enquanto que entre duas passagens consecutivas é de 2.760 Km.

Os satélites LANDSAT são equipados com dois subsistemas de sensores: O MSS ("Multispectral Scanner System") e o RBV ("Return Beam Vidicon").

#### 2.2.1.1 - SUBSISTEMA MSS

Este subsistema caracteriza-se pela formação de imagens através de varredura, perpendicularmente ao deslocamento do satélite. Imageam-se seis linhas, simultaneamente, por meio de seis espelhos oscilantes, que captam a energia refletida, ou emitida, pelos alvos e a enviam a um sistema óptico que a focaliza sobre os detetores. Esses detetores são em número de 6 para cada um dos canais 4, 5, 6 e 7, e dois para o canal 8.

Cada canal ou banda corresponde a um intervalo espectral definido do espectro eletromagnético, operando com detetores específicos (Tabela II.2).

A largura de uma faixa de varredura, no terreno, é de aproximadamente 185 Km, correspondendo, na imagem, a 3.300 pontos de amostragem (pixel). A resolução geométrica teórica de cada um desses "pixels" é de 79m x 56m nos canais 4, 5, 6 e 7, e de 240m x 240m no canal 8. Entre órbitas adjacentes, ocorre um "overlap" lateral de 14% no paralelo do equador.

TABELA 2.2

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DO SISTEMA MSS-LANDSAT

CANAL (BANDA)	RESOLUÇÃO ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	DETETORES
MSS-4	0,5 - 0,6	FOTOMULTIPLICADORES
MSS-5	0,6 - 0,7	FOTOMULTIPLICADORES
MSS-6	0,7 - 0,8	FOTOMULTIPLICADORES
MSS-7	0,8 - 1,1	FOTODIODOS
MSS-8	10,4 - 12,6	TCM*

\* *Telureto de Cádmio-Mercúrio*

Os dados enviados pelo subsistema MSS são recebidos pelas estações rastreadoras, gravados em fita magnética e, posteriormente, transformados em filmes fotográficos, ou em fitas compatíveis com computadores (CCTs). Assim, os produtos do MSS-LANDSAT são apresentados na forma de cópias fotográficas em papel preto e branco, transparências positivas ou negativas, composições coloridas ou CCTs.

2.2.1.2 - SUBSISTEMA RBV

Este sistema é equivalente aos sistemas comuns de TV e obtêm imagens multiespectrais, em três canais, nos LANDSAT-1 e 2 e pancromáticas no LANDSAT-3.

Cada um dos canais RBV nos LANDSAT-1 e 2 correspondem aos seguintes intervalos espectrais:

Canal 1: 0,475 - 0,575 micrometros

Canal 2: 0,580 - 0,680 micrometros

Canal 3: 0,690 - 0,830 micrometros



No LANDSAT-3 esses canais foram substituídos por apenas um canal pancromático, operando no intervalo entre 0,505 a 0,750 micro metros.

A resolução e a faixa de varredura deste subsistema têm dimensões iguais às do MSS nos LANDSAT-1 e 2, com uma superposição lateral entre faixas adjacentes da ordem de 12%. No LANDSAT-3 a faixa de varredura é sensivelmente menor (98 Km de largura) e sua resolução foi consideravelmente melhorada (40m x 40m), enquanto o "overlap" lateral atinge os 14%.

O subsistema RBV encontra-se ativo apenas no LANDSAT-3, e seus dados são fornecidos apenas sob a forma de cópias fotográficas em papel preto e branco.

#### 2.2.2 - RADAR

O radar ("Radio Detection and Ranging") é um sensor ativo que opera numa larga faixa do espectro, cujos comprimentos de onda vão de 6 mm a 1m. A radiação emitida pelas antenas ilumina o alvo, sendo gerado então um sinal de retorno, tanto por reflexão quanto por retro difusão, que contém as informações sobre as características físicas do al vo (Amaral, 1975).

A utilização deste sistema para recobrimento sistemático de extensas áreas tem sido realizado, no País, pelo projeto RADAMBRASIL, através de Radares de Visada Lateral (SLAR).

Essas imagens foram obtidas com iluminação de frequência igual a 9,6 GHz, que corresponde ao comprimento de onda de 3,12 cm (re gião das microondas, banda X), polarizada horizontalmente. A altitude da plataforma foi de 11 a 12 Km, e a recepção do sinal de retorno foi do tipo coerente com abertura sintética focalizada.

O imageamento é feito em faixas norte/sul, com cerca de

32 Km de largura e espaçadas entre si por 29,6 Km a 33,3 Km. A resolu  
ção nominal teórica deste sistema é de 15m x 15m.

Os dados recebidos são registrados em filme ("data film"), que a seguir é processado por um correlator óptico, a fim de ser obtido o filme imagem.

No sistema utilizado pelo Projeto RADAMBRASIL, as escalas transversal e longitudinal do "data film" são consideravelmente distin  
tas (1:400.000 e 1:5.555, respectivamente), sendo igualadas em 1:400.000 durante o processamento pelo correlator óptico.

As imagens produzidas são apresentadas sob a forma de fo  
to-índices em escala de 1:1.000.000 e mosaicos semicontrolados em esca  
la de 1:250.000.

### 2.2.3 - O IMAGE-100 (I-100)

Todos os materiais, naturais ou não, apresentam caracte  
rísticas próprias de irradiação e reflexão para cada faixa do espectro eletromagnético. Ao conjunto dessas características dá-se a denominação de "assinatura espectral", específica para cada material.

Os dados coletados pelo sensor MSS dos satélites LANDSATs, por exemplo, fornecem dados sobre o comportamento espectral de um alvo em cada um dos seus 4 canais (ou 5 no LANDSAT-3). O conjunto desses da  
dos constituirá a assinatura espectral do alvo, sendo semelhante para alvos de mesma natureza.

O sistema I-100 ("Image-100 Multispectral Analysis System"), utiliza-se desta propriedade para a identificação de áreas espectralmen  
te similares, processo este denominado genericamente por "classificação".

O I-100 é dotado de vários programas de classificação

automática. Alguns deles são ditos "supervisionados", posto que compete ao usuário definir as áreas de amostragem a partir das quais será classificado o restante da cena. Os programas ditos "não-supervisionados" são os executados de forma predeterminada, os quais consideram toda a área em conjunto, sem necessidade de se criar as áreas de amostragem.

Conforme o exposto, a participação do usuário no trabalho de classificação supervisionada é fundamental, pois é ele quem fornece as áreas de treinamento (amostragem). Isto é feito com uso de um cursor, sobre a tela de TV do sistema, que posicionado sobre uma área da cena, previamente conhecida pelo usuário, a define como um tema, ao qual corresponde uma assinatura espectral própria. A este processo de definição de um tema é dado o nome de "treinamento".

A classificação propriamente dita é a etapa seguinte, com o sistema analisando toda a cena, em cada um dos canais envolvidos, indicando quais "pixels" são espectralmente semelhantes à amostra definida pelo cursor.

O produto final da classificação automática é um mapa temático mostrado no vídeo do sistema, no qual estão representadas, por diferentes cores, as áreas correspondentes a cada um dos temas considerados.

Durante a execução deste trabalho, foi utilizado o programa de classificação automática MAXVER (Velasco et alii. 1978). Este programa executa a classificação de imagens multiespectrais ponto por ponto, através de um critério de máxima verossimilhança espectral, sendo relativo a classes previamente definidas pelo usuário. O sistema fornece para cada uma das classes uma "matriz de classificação", que indica o grau de separabilidade entre as diversas classes. Os resultados obtidos podem ser alterados, se não se mostrarem satisfatórios, pela adição ou subtração de amostras às classes, até que seja atingida a separabilidade desejada.

Outro programa utilizado foi o chamado "Slicer", no qual uma imagem é dividida em 8 intervalos de níveis de cinza, sendo atribuído a cada um deles uma cor diferente. O produto final deste processo é uma imagem a cores no vídeo do sistema, no qual os alvos apresentam-se realçados pela coloração, em função de seus níveis de cinza originais. Deste modo, é facilitada ao olho humano a distinção entre alvos com pequena desigualdade espectral, representada na imagem por níveis de cinza muito próximos (INPE, 1980).

O programa de classificação automática denominado "Single-cell" determina, numa primeira aproximação, os valores mínimo e máximo de uma área de treinamento prévia, para cada um dos 4 canais (do MSS-LANDSAT) em que se está operando. Esses valores definem um paralelepípedo de quatro dimensões no espaço espectral, que representa a "assinatura" do alvo. A seguir, toda a imagem é analisada, sendo classificados os "pixels" cuja assinatura seja congruente com a da área de treinamento. Simultaneamente, são fornecidos ao usuário 4 histogramas da distribuição dos tons de cinza na amostra, um para cada canal, e um sumário estatístico da resposta espectral do alvo. Nos casos em que ocorre superposição de classes, os resultados obtidos podem ser alterados através de técnicas que incluem a modificação dos limites de histogramas, e a reformulação das áreas de treinamento (GE, 1975).

Entre os programas de pré-processamento, destinados a melhorar as características visuais e espectrais das imagens, dois foram utilizados durante a realização deste trabalho: o "Contrast Stretch" e o "Scaling", ambos idealizados pela General Electric Company (GE, 1975).

O "Contrast Stretch" altera os valores do nível de cinza dos elementos de uma imagem, ou de uma área selecionada. Ao nível mínimo da cena original atribui-se o valor 0 (Zero) e ao nível máximo, o valor 255, sendo os níveis intermediários distribuídos linearmente nesse intervalo. Assim, o contraste é sensivelmente ampliado, facilitando a distinção entre áreas espectralmente próximas.

O "Scaling", fundamentalmente simples, executa a multiplicação dos níveis de cinza de uma imagem por um fator potência de 2, ampliando deste modo o contraste da cena.

As filtragens digitais representam uma importante ferramenta para o processamento automático de imagens. Um processo de realce de cena, através de filtragem digital, atua de forma a ampliar as diferenças tonais entre os elementos de composição de uma imagem, facilitando a observação de detalhes, antes imperceptíveis ao pesquisador (Paradella e Dutra, 1980).

Durante este trabalho foram utilizados os chamados "Filtros Bidimensionais Curtos", desenvolvidos em "software" no Instituto de Pesquisas Espaciais (Dutra, 1980) cuja principal finalidade, em geologia, é a obtenção de realce para os lineamentos fotogeológicos, segundo direções preferenciais.

Estes filtros diferenciam-se, entre si, pela configuração da vizinhança do "pixel" central a ser filtrado (Tabela 2.3), e implementam realces nas direções NE, NW, NS, EW e isotropicamente. O valor, em tom de cinza, de um "pixel" passa a ser considerado uma função dos pesos atribuídos empiricamente pelo usuário, a si e aos de sua vizinhança, através da média obtida por meio de algoritmos específicos para cada filtro.

O produto final de um trabalho de utilização de filtragens é o somatório das análises visuais de cada filtragem individual.

### 2.3 - ETAPAS DE TRABALHO

Este trabalho, realizado com preocupação essencialmente qualitativa, teve o desenvolvimento de suas etapas baseado numa sequência genérica; esquematizada na Figura 2.1.

TABELA 2.3

CONFIGURAÇÃO DOS FILTROS BIDIMENSIONAIS CURTOS

<b>FILTRO TIPO I</b> A      B A D B D C D B D A B      A	<b>FILTRO TIPO II</b> D A A A B B B C B B B A A A D	<b>FILTRO TIPO III</b> D A D A B B B C B B B A D A D
<b>FILTRO MEDIANO</b> B B B B C B B B B	<b>FILTRO MD5FIL</b> B B B B B B B B B B B B C B B B B B B B B B B B B	
C = PIXEL CENTRAL		

Cada uma das etapas percorridas será descrita a seguir, de forma simplificada.

2.3.1 - COLETA DE DADOS

A coleta de dados compreendeu a aquisição tanto de imagens LANDSAT e de radar, quanto de bibliografia relativa ao tema e à área a ser pesquisada.

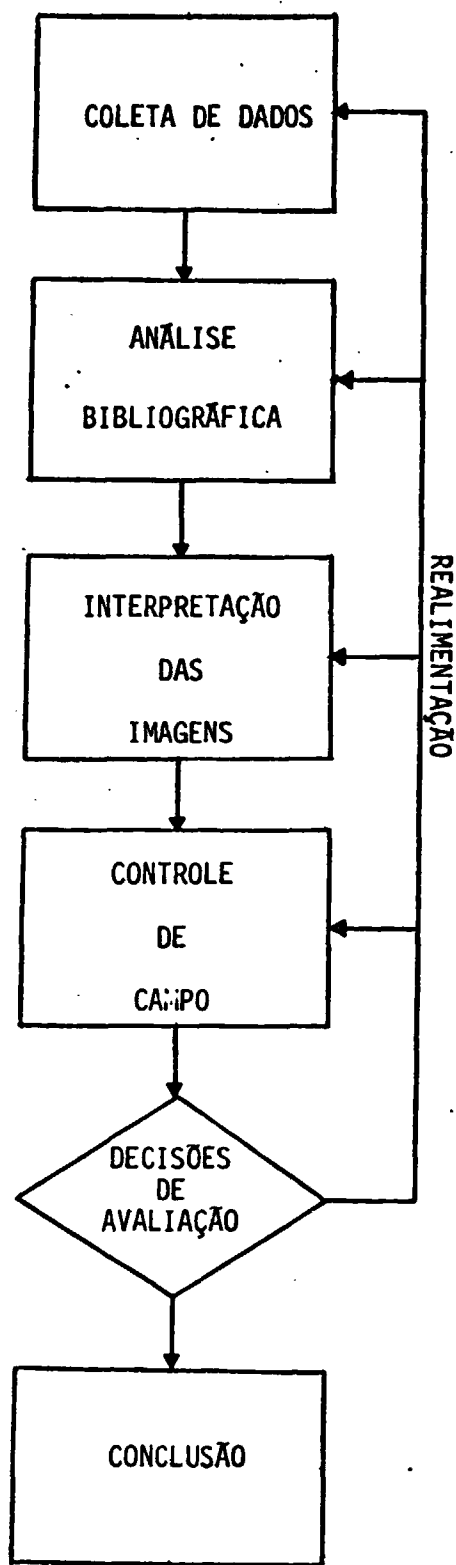


Fig. 2.1 - Sequência das etapas do trabalho.

Realizou-se a aquisição de imagens MSS-LANDSAT por meio de consulta à listagem disponível neste Instituto, levando-se em conta a presença de nuvens sobre a área e a qualidade radiométrica do produto. O caráter repetitivo do imageamento por satélites LANDSAT torna possível a escolha das melhores imagens. Quando necessário, fez-se a observação do foto-índice para a verificação de eventuais coberturas de nuvens e seu posicionamento em relação à área de interesse.

Definidas as melhores passagens, foi solicitada sua aquisição, sob forma de cópias fotográficas em papel preto e branco, nas escalas de 1:250.000 e 1:500.000, além da fita CCT relativa à melhor delas.

O mosaico de radar, Folha SF-23-Z-A, foi adquirido junto ao Projeto RADAMBRASIL, em cópia fotográfica em papel preto e branco e na escala de 1:250.000.

Retomou-se a coleta bibliográfica durante todo o desenvolvimento dos trabalhos, uma vez que a literatura, além de constituir a base do conhecimento geológico prévio sobre a área, representa, em sensoriamento remoto, importante instrumento para a solução de problemas surgidos. A região pesquisada apresenta-se carente de informações geológicas específicas e polêmica num contexto regional mais amplo. O fato da região conter terras de três estados brasileiros acarreta ainda algumas dificuldades de integração dos dados bibliográficos. Ainda assim, um razoável número de trabalhos puderam ser localizados, e foram suficientes para o esclarecimento dos problemas encontrados.

### 2.3.2 - ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Executou-se com rigor a análise da bibliografia disponível, devido, principalmente, ao seu caráter polêmico e ocasionalmente contraditório. Selecionou-se, deste modo, a bibliografia mais coerente, que veio a constituir as premissas sobre as quais se apoiou o desenvolvimento do restante do trabalho.



Maior atenção foi dada às referências estratigráficas e tectônicas, não se desprezando, contudo, as informações que viessem a esclarecer aspectos mais específicos, tais como petrográficos e de definição de contatos, por exemplo.

### 2.3.3 - INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS

Amaral (1980) define esta etapa como sendo aquele em que se efetuam tanto a delimitação das feições litológicas e estruturais, quanto o levantamento da cartografia básica da região em estudo.

Na interpretação visual das imagens, utilizaram-se os métodos de fotointerpretação convencional, apoiados nos aspectos de tonalidade fotográfica, textura, morfologia e padrão estrutural dos alvos, levando-se em conta o caráter multiespectral das imagens MSS-LANDSAT.

Os tons de cinza, diretamente relacionados com a reflexão dos terrenos, são dependentes da banda espectral em que se opera. Nesta região, este critério só pode ser utilizado de forma preliminar, por não exibir qualquer condicionamento aparente com as unidades litológicas, mas sim com os aspectos morfológicos do terreno.

A textura corresponde ao arranjo dos elementos tonais de uma cena, reflexo da interação entre o padrão de relevo e a drenagem instalada. Foi um dos mais importantes critérios utilizados, exibindo notável condicionamento à distribuição das unidades geológicas.

A morfologia foi considerada como o conjunto das maiores feições do relevo, que não chegam a compor uma textura, e o posicionamento topográfico dos terrenos.

Entendeu-se como padrão estrutural a distribuição dos lineamentos fotogeológicos, considerando-se sua abundância relativa a seu nível de condicionamento a direções preferenciais.

Entre as imagens fornecidas pelo sensor MSS do sistema LANDSAT, as que se mostraram mais informativas foram aquelas relativas aos canais 5, 6 e 7, em função de suas próprias características, descritas a seguir:

Canal 4 - Sua resolução espectral situa-se sobre os comprimentos de onda correspondentes, no espectro, ao verde e ao amarelo. Seu contraste é bastante pobre, refletindo com pouca nitidez os aspectos morfológicos e texturais.

Canal 5 - Opera também no campo visível do espectro, entre o laranja e o vermelho. Seu aspecto mostra semelhanças com as fotos aéreas convencionais, facilitando a identificação de sistemas viários e da drenagem intermitente, principalmente quando acompanhada por mata-galeria. A maior nitidez dos alvos, em virtude de seu contraste maior que o do canal 4, possibilita a identificação de unidades geológicas em casos específicos.

Canal 6 - Abrange partes do espectro visível e do infravermelho próximo. Reflete com nitidez os aspectos morfológicos e texturais, facilitando a identificação das estruturas em geral e das unidades geológicas marcadas por diferenciação no padrão de relevo. Favorece ainda a visualização da drenagem permanente.

Canal 7 - É o de banda espectral mais abrangente, situada na região do infravermelho próximo. Assim como o canal 6, realça as feições morfológicas e a textura, permitindo, com clareza ainda maior, a identificação dos aspectos topográficos, estruturais e da drenagem perene.

A cartografia da área, para a obtenção da base planimétrica, foi executada por redução de cartas topográficas em escala 1:50.000, uma vez que o excessivo entalhamento do relevo impede a extração da re

de de drenagem a partir das imagens.

As informações geológicas foram obtidas através da análise dos vários canais do MSS-LANDSAT, e integrados, juntamente com os dados extraídos do mosaico de radar, de modo a compor o mapa específico.

Ainda durante esta etapa de trabalho foi efetuada uma avaliação sobre a utilização de técnicas de processamento automático de imagens, tendo em vista, sobretudo, a obtenção de realce dos aspectos visuais da cena.

Com uso do analisador automático I-100, procurou-se, primeiramente, a melhoria visual dessas imagens, através de técnicas de pré-processamento voltadas à obtenção de contrastes mais amplos, que facilitassem ao observador a identificação de características não muito claras na imagem original.

Procurou-se fazer com que as classificações automáticas possibilitassem a individualização das diversas classes de alvos que compõem o contexto geológico da área. Deu-se maior ênfase à identificação dos depósitos coluviais das encostas alcalinas, por sua importância econômica.

Por último, foram executadas filtragens digitais das imagens, na tentativa de avaliar sua utilidade no realce de lineamentos fotogeológicos não identificáveis numa análise das imagens originais.

#### 2.3.4 - CONTROLE DE CAMPO

O trabalho de campo (Rodrigues, 1980), realizado numa jornada de 15 dias, foi encarado com dupla finalidade: a de verificar os resultados conseguidos durante a fotointerpretação preliminar, e a de obter novos dados que viessem a realimentar o sistema.

Esta fase foi precedida pelo planejamento adequado, durante o qual foram estabelecidas as áreas de maior interesse e o roteiro a ser cumprido, de modo a serem respeitadas as limitações de tempo.

#### 2.3.5 - DECISÕES DE AVALIAÇÃO

Sempre que oportuno, foram avaliados os resultados obtidos a cada etapa de desenvolvimento dos trabalhos, com o objetivo de verificar a necessidade de realimentação do sistema. Esta avaliação foi efetuada com base em dados de campo e em informações bibliográficas.

Deste modo, foi frequente a retomada das etapas de coleta e análise de dados, e da fotointerpretação, de acordo com as necessidades surgidas no decorrer das atividades.

#### 2.3.6 - CONCLUSÃO

Uma vez alcançados os resultados previstos no projeto, deram-se por encerradas as atividades de pesquisa, passando-se, então, à conclusão dos trabalhos, com a execução do mapa final e do relatório correspondente.

## CAPÍTULO 3

### GEOLOGIA

#### 3.1 - ESTRATIGRAFIA

##### 3.1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Moraes Rego (1933a) , o embasamento Pré-cambriano desta área estaria dividido em duas grandes unidades. A primeira, de ida de arqueana, contituiria todo o conjunto de rochas gnáissico-migmatíticas e a outra, mais recente, seria representada pelos ectinitos, de ida de algonquiana.

Esta divisão foi aceita por muito tempo, constando do Ma pa Geológico do Estado de São Paulo (IGG,1963), mas sendo abandonada na edição mais recente desse mapa (IGG,1974), substituída por uma divisão apoiada em critérios litológicos mais detalhados.

Hasui et alii (1978c) consideraram que a definição das unidades estratigráficas desta região deve estar baseada não apenas em fatores litológicos, mas também em análise estrutural e datações radio métricas, estas ainda escassas.

A análise estrutural teve seu início com Hasui (1973), que procurou distinguir as fases de deformação e cristalização, como ponto de partida para a investigação da evolução desses terrenos.

Hasui et alii (1978c) verificaram que o Grupo Açunguã es tende-se por todo o leste paulista e sugeriram a verificação de sua con tinuidade por terras dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais.

Neste trabalho, são atribuídos ao Grupo Paraíba os gnais ses do sul de Minas, de acordo com Ebert (1968) e em contradição a Bran dalise et alii (1976), sendo que estes últimos os consideraram como uma

extensão da chamada "Associação Barbacena".

Os corpos granitoides, contidos na parte paulista da área, foram classificados por Hasui et alii (1978b) como sintectônicos, principalmente os da Fácies Cantareira e mais raramente os da Fácies Migmatítica. As datações (Cordani e Kawashita, 1971; Minioli, 1971; Hasui e Hama, 1972; Wernick et alii, 1976) ainda que escassas para esta região, indicam idades K-Ar variáveis entre 450-650 m.a.

Ao final do Ciclo Brasileiro, desenvolveram-se as faixas de rochas cataclásticas e ectiníticas, associadas aos falhamentos da Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975).

Com a Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967), ocorreu o advento de magmatismo ultrabásico a intermediário, restrito na área estudada, correlacionável ao magmatismo das bacias de Santos e do Paraná.

As intrusões alcalinas de Itatiaia e Passa Quatro se formaram do Campaniano (Cretáceo Superior) ao Paleoceno, ainda relacionadas com a Reativação Wealdeniana. As datações realizadas por Amaral et alii (1967) indicam para tais rochas idade em torno dos 60 m.a.

Durante muito tempo considerou-se que esses maciços formassem, em conjunto, o segundo maior complexo alcalino do planeta, tendo sido atribuída para ele uma área de 1.450 Km<sup>2</sup> (Lamego, 1936). Esta estimativa foi revista a partir de Penalva (1967), o qual mostrou que esta área não é superior a 330 Km<sup>2</sup>.

No início do Mioceno começou a deposição dos sedimentos flúvio-lacustres que constituem as bacias de Taubaté e Resende, cuja gênese está relacionada de modo direto ao abatimento do Graben do Paraíba (Bjornberg, 1968).

Os Quaternário são atribuídos os depósitos aluvionares e coluvionares relacionados à evolução da drenagem e das encostas, respectivamente. Por motivos a serem descritos adiante, excluiu-se dessa classificação os depósitos ao sul do maciço alcalino de Itatiaia, preferindo-se enquadrá-los no Terciário Superior.

### 3.1.2 - DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

#### 1) Grupo Paraíba

Ebert (1957) reconheceu na região de Juiz de Fora uma unidade sobreposta aos migmatitos da Série Mantiqueira, constituída por quartzitos feldspáticos, metagrauvacas conglomeráticas, gnaisses kinsigticos e rochas charnockíticas, à qual denominou "Série Juiz de Fora".

No Estado do Rio de Janeiro, Rosier (1957) definiu a "Série Paraíba-Desengano", composta por gnaisses, migmatitos, charnockitos, mármore e quartzitos, e a "Série Serra dos Órgãos", formada principalmente por migmatitos e rochas granitóides.

Ebert (1967) englobou, sob o nome de Grupo Paraíba, as séries Paraíba-Desengano, Serra dos Órgãos e Juiz de Fora, colocando sob seus domínios todo o leste paulista.

Hasui et alii (1978c), como foi dito anteriormente, excluíram desse Grupo grande parte das rochas do leste paulista, enquadrando-as como pertinentes ao Grupo Açunguá. Esta situação foi mantida neste trabalho e estendida ao oeste fluminense.

Conforme informações verbais fornecidas por Hasui (1980), esta denominação deverá ser alterada no "Mapa Geológico do Brasil", em elaboração pelo DNPM, para "Complexo Paraíba do Sul", englobando apenas as porções mal conhecidas do Grupo Paraíba.

Deste modo, o Grupo Paraíba teve sua ocorrência, dentro da área deste projeto, restrita à parte norte a partir da Serra da Mantiqueira. Para o leste, supõe-se que seus limites com o Grupo Açunguã estejam nas imediações do meridiano 44°W, a exemplo do que ocorre, de forma não muito clara e mais ao norte, com os Grupos São João del Rei e Andrelândia (Hasui et alii, 1978d). Seus contactos com as rochas brasileiras do Grupo Açunguã se apresentam marcados pelos falhamentos normais que condicionam a borda norte do Graben do Paraíba.

Dentro da área estudada, as litologias mais frequentes do Grupo Paraíba são os gnaisses, secundados por migmatitos e por restritas ocorrências de xistos.

Os augen-gnaisses (Figura 3.1) apresentam-se ocasionalmente enriquecidos em quartzo e feldspato, assumindo aspecto que tende aos embrechitos. Em outros locais, a escassez desses minerais confere à rocha um aspecto marcadamente xistoso. A biotita é sua mica mais frequente, e a muscovita ocorre de forma apenas ocasional, sendo que as granadas são observadas esporadicamente. Os cristais de quartzo e feldspato, em geral abundantes, exibem alongamento variado desde o tabular e retangular, cujas bordas via de regra apresentam-se arredondadas, até os bastantes alongados, que chegam a assemelham-se a pequenas bandas. Esses augen-gnaisses são observados com frequência nas estradas entre Resende e Pedra Selada, entre Mauá e as localidades de Maromba, Santo Antônio e Bocaina de Minas, e entre Itamonte e as cidades de Engenheiro Passos e Aiuruoca. Em outros locais são encontrados augen-gnaisses em pontos restritos, sem continuidade, a exemplo do que ocorre nas proximidades de Itanhandu e Pouso Alto.





Fig. 3.1 - Augen-gnaiss do Grupo Paraíba.

Os gnaisses finamente bandados mostram aspecto bastante característico e constante, por toda sua área de ocorrência. Exibem no tável anternância entre faixas claras (quartzo-feldspáticas) e escuras (ricas em biotita, cuja espessura não ultrapassa 1 mm (Figura 3.2). Não se constata a presença de granadas ou pirobólios em amostras manuais. Na maioria das vezes apresentam-se muito caulinizados, quando então se torna mais evidente o seu grande enriquecimento em feldspato. São bastante numerosas as ocorrências desta rocha, em geral disseminadas por áreas de predominância dos augen-gnaisses. São escassas as áreas de ocorrência contínua, sendo possível citar apenas curtos trechos das estradas Resende/Pedra Selada, Itamonte/Engenheiro Passos e Cruzeiro/Passa Quatro. Assim, verifica-se que o limite sul da maior incidência desses gnaisses situa-se à altura do meridiano 22°20' S.

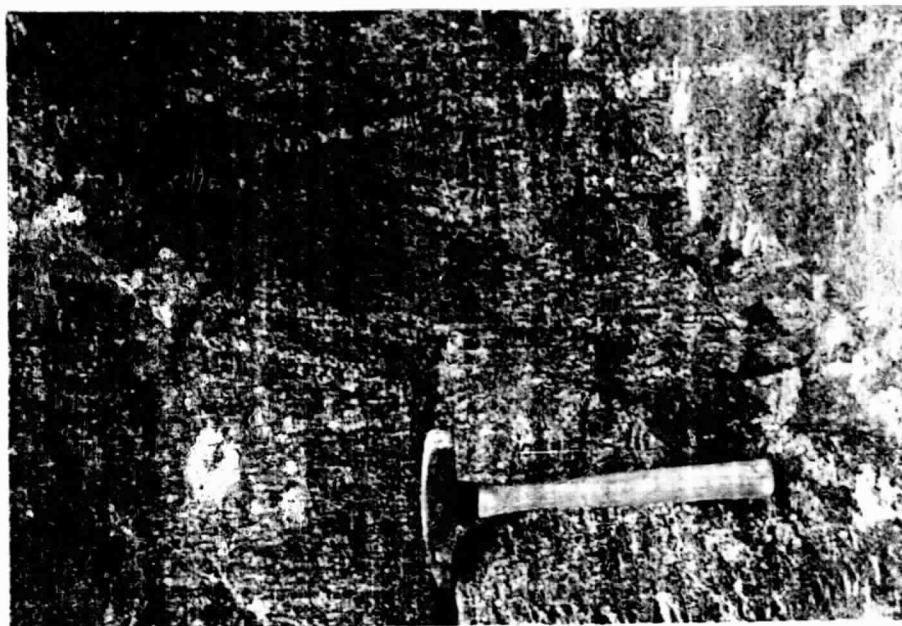


Fig. 3.2 - Gnaiss finamente bandado (Grupo Paraíba).

- Cortado por pequenos veios quartzo-feldspáticos.

Menos frequentes são os gnaisses bandados, cuja composição, macroscopicamente falando, se assemelha à dos augen-gnaisses e cujas bandas atingem até 5 cm de espessura. Estes formam ocorrências esparsas, sendo a mais notável a que se localiza na estrada para o vilarejo de Vargem, no extremo norte da área.

Os migmatitos estão, em geral, condicionados à vizinhança de corpos granitoides. São antigos gnaisses, em grande parte finamente bandados, injetados por material quartzo-feldspático oriundo desses granitoides. Formam-se, deste modo, migmatitos estromáticos, cujo paleossoma é, sem exceção, gnáissico (Figura 3.3). Assim, os gnaisses originais gradam lateralmente a estromatitos pelo aumento da migmatização, relacionada à proximidade dos granitoides. As principais ocorrências destes migmatitos localizam-se na estrada para o povoamento de Vargem, na estrada que une a cidade de Mauá à rodovia Presidente Dutra, e nas proximidades das cidades de Itamonte e Itanhandu.



Fig. 3.3 - Estromatitos do Grupo Paraíba.

- Gerados pela migmatização de gnaisses finamente bandados, nas proximidades de núcleos granitoides.

Os xistos ocorrem de forma bastante restrita, em faixas não mais que métricas, encaixados de modo preferencial em gnaisses ou em seu contato com outras litologias. Relacionam-se a lineamentos, em geral conspícuos, observáveis em imagens de radar e nas do MSS-LANDSAT. Desse modo, é viável a afirmativa de que estejam relacionados à ocorrência de falhamentos por atividade retrometamórfica. Exibem razoável variação mineralógica, sendo o quartzo o mineral mais frequente. Apesar disso, os quartzo-xistos são escassos e, quando ocorrem, apresentam com frequência esmagamento de grãos segundo planos bem definidos. Mais abundantes são os quartzo-muscovita e quartzo-bioxita-xistos, que ocasionalmente se empobrecem em quartzo, gradando lateralmente a micaxistos. Eventualmente se observa a gnaissificação dos quartzo-micaxistos, por feldspatização vinculada à proximidade de corpos granitoides.

O quartzito foi observado em um único local, no Km 20 da rodovia Itamonte/Engenheiro Passos. Está parcialmente recristalizado e seus cristais mostram uma pequena orientação. A presença de esmagamento em alguns planos denuncia a ocorrência de esforços tectônicos.

## 2) Grupo Açunguã

Derby (Silva et alii, 1977) designou por "Série Assunguy" o conjunto de rochas epimetamórficas que compõem o primeiro planalto paranaense. Vários autores consideram essa unidade como de origem algonquiana, sendo essa afirmativa confirmada pela descoberta do fóssil *Collenia Itapevensis* por Almeida (Hasui et alii, 1978c).

Marini (1967) propôs a denominação de Grupo Açunguã para o conjunto epimetamórfico, considerando-se que, de acordo com o Código de Nomenclatura Estratigráfica de 1961, o termo "Série" refere-se a uma unidade cronoestratigráfica relacionada a determinada época geológica.

Hasui (1973) propôs a extensão do Grupo Açunguã até a região de Pilar do Sul e São Roque, englobando nesta unidade tanto as rochas epimetamórficas quanto seu embasamento.

Até Hasui et alii (1978c) considerava-se, como pertinente ao Grupo Paraíba, todo o leste paulista e oeste fluminense, em acordo com Ebert (1967). Esses autores, partindo de análises que tinham por base os elementos estruturais, enquadraram tais rochas no Grupo Açunguã, afirmando que esse grupo, "tal como foi caracterizado nos arredores da capital paulista, abrange quase toda a extensão leste do Estado de São Paulo".

Conforme informações verbais fornecidas por Hasui (1980), esta denominação deverá ser alterada no "Mapa Geológico do Brasil", em elaboração pelo DNPM, para Complexo Embu. Deste modo, esta unidade definida por Hasui e Sadowski (1976) é estendida para o leste paulista e mesmo para além dele, até terras do Estado do Espírito Santo.

Na área estudada, o Grupo Açunguá forma todo o embasamento Pré-cambriano ao sul do Rio Paraíba do Sul, e parte restrita dos terrenos das adjacências ao norte desse rio.

Sua litologia é composta basicamente por migmatitos simples, dobrados e ocasionalmente ptigmáticos. São estromatitos, caracterizados por alternância entre bandas claras de neossoma quartzo feldspático e escuras de paleossoma biotítico, eventualmente feldspático (Figura 3.4).

O incremento na migmatização é responsável pela formação de contatos transicionais, indistintos quando não falhados, numa sequência que se inicia com micaxistos (estritos na área), passando por estromatitos heterogêneos e homogêneos e embrechitos, até atingir o máximo dos núcleos granitoides.

É comum que se encontrem enclaves de uma litologia em áreas de predomínio de outra (Hasui et alii, 1978c).

São encontrados ainda outros tipos de migmatitos, não individualizáveis como corpos independentes; é o caso dos agmatitos e didisitos. Os migmatitos nebulíticos e anatexíticos, juntamente com os embrechitos, foram mapeados por Hasui et alii (1978c).

Os xistos representam um termo litológico bastante escasso nesta parte do Grupo Açunguá, formando faixas localizadas e relacionadas a lineamentos fotogeológicos. Estes exibem quantidade variável de quartzo, e suas micas mais frequentes são a muscovita e a biotita, ou apenas uma delas. Hasui et alii (1978c), citam como acessórios a clorita, a granada e o plagioclásio, entre outros, afirmando que a presença de clorita e de saussuritização do plagioclásio são indicativos de retrometamorfismo, na passagem da fácies anfíbolito para a fácies xistos-verdes.



Fig. 3.4 - Migmatitos estromatíticos do Grupo Açunguã.

Ao sul da cidade de Queluz são encontradas expressivas lentes de quartzito sacaróide, o qual é portador de escassa muscovita. Apresentam-se notavelmente cisalhadas e brechadas, evidenciando sua proximidade com zonas de falhamento.

Os estromatitos heterogêneos têm paleossoma xistoso, composto essencialmente por quartzo e biotita, portanto como acessórios epidoto, apatita, opacos, clorita, turmalina, granada, zircão, hornblenda, sillimanita, alanita e muscovita. A xistosidade é sempre acentuada, exibindo ocasionalmente crenulação e microdobras (Hasui et alii, 1978c).

Os estromatitos homogêneos são os mais abundantes e seu paleossoma é gnáissico oftalmítico, com variável intensidade de feldspatização. A composição é a mesma dos estromatitos heterogêneos, exceto pela maior quantidade de feldspato, principalmente microclínio (Hasui et alii, 1978c). É facilmente perceptível o paralelismo entre a foliação do paleossoma e as injeções de migmatização, sendo que, eventualmente, a xistosidade se dispõe em posição plano-axial nos ápices das dobras, evidenciando a presença de duas fases de deformação.

A oeste da cidade de São José do Barreiro, são observados migmatitos cortados por veios quartzo-feldspáticos que se entrecruzam, formando uma estrutura diadisiítica. Esses veios são, provavelmente gerados pelo preenchimento de fraturas, através de material oriundo de corpos granitoides próximos.

Os embrechitos são bastante escassos, aparecendo sempre nas vizinhanças de núcleos granitoides e mostram aspecto oftalmítico; sua composição pode ser gnáissico-granítica, granodiorítica ou adamelítica, apresentando, como minerais essenciais: quartzo, microclínio e plagioclásio. Como minerais acessórios aparecem: biotita, muscovita, apatita, zircão, opacos, titanita e alanita e mais raramente: sericita, epidoto, clorita e carbonatos (Hasui et alii, 1978c).

No extremo leste da área estudada, em domínios do Grupo Açunguã, foram encontradas ocorrências muito restritas de augen-gnaisses, que podem representar enclaves de rochas do Grupo Paraíba.

### 3) Rochas Granitoides

As escassas datações disponíveis (Cordani et alii, 1973; Wernick et alii, 1976), indicam, para os corpos granitoides inseridos nos grupos Paraíba e Açunguã, idades sin-tectônicas e pós-tectônicas de 620 e 540 m.a., respectivamente. Quatro desses corpos foram mapeados na área deste projeto, três dos quais em terrenos do Grupo Paraíba: um ao sul da cidade de Mauã, outro a leste de Itamonte e um terceiro a nordeste de Alagoa. O quarto desses corpos está inserido em estromatitos do Grupo Açunguã, a oeste da cidade de São José do Barreiro.

O granitóide ao sul de Mauã é o responsável pela sustentação da Serra da Pedra Selada. Trata-se de uma rocha em geral cinzenta, de granulação média e localmente oftalmítica. Apresenta-se eventualmente cortada por faixas migmatizadas e por xistos provavelmente diaforéticos. O quartzo e o feldspato são abundantes, sendo que a biotita se apresenta em quantidade bastante variada, e a muscovita é menos frequente.

Este granitóide exibe pouca ou nenhuma orientação de seus componentes minerais, exceto em pontos isolados, onde a maior quantidade de biotita lhe confere foliação mais acentuada.

A leste de Itamonte ocorre um corpo granitóide de aspecto embrechítico, com granulação fina e tênue orientação de seus minerais. Estes são principalmente o quartzo e o feldspato, aparecendo em menor proporção a muscovita e a turmalina negra. O material emanado deste granitóide migmatiza os gnaisses adjacentes. Os contatos desse granitóide, ao norte e ao sul, são marcados por lineamentos fotogeológicos não totalmente conspícuos.

A nordeste de Alagoa, o granitóide assume aspecto mais grosseiro, enquanto que a orientação dos seus minerais torna-se inexistente. O quartzo e o feldspato são os componentes mais facilmente observáveis em amostras manuais, secundados pela biotita, muscovita, hornblenda e turmalina negra, além de rara turmalina rósea. Seus contactos ao sul são feitos com gnaisses, por falhamento marcado, em campo, pela presença de uma faixa de xistos diaforéticos.

No extremo sudeste da área, a leste da cidade de São José do Barreiro, é encontrado um corpo de rochas granitóides, limitado a NW e a SE por falhamentos transcorrentes de direção NE. Estes granitóides foram definidos por Hasui et alii (1978b) como sin-tectônico de fácies Cantareira. Seus componentes principais são o quartzo e os feldspatos porfiroblásticos, principalmente, o microclínio e o plagioclásio. Seu aspecto é o de um embrechito grosseiro, com minerais tenuamente orientados.

Esses corpos granitóides, sem exceção, geraram apêndices de caráter pegmatítico, ricos em turmalina negra, que se insinuam tanto pelos gnaisses e migmatitos encaixantes, quanto pelos próprios granitóides.



Outras ocorrências desta litologia são encontradas na área, sem que se possa individualizá-las em mapa, quer pela disseminação dos seus afloramentos, quer pela similaridade de seu relevo em relação ao das encaixantes, impedindo sua definição a partir de imagens LANDSAT. É o caso, por exemplo, do granitóide localizado ao norte da cidade de Silveiras, e cujos afloramentos são facilmente identificados nas estradas entre Queluz e Areias e entre esta e Silveiras.

#### 4) Rochas Cataclásticas

Encontra-se na área estudada algumas rochas especificamente relacionadas a processos cataclásticos. Associam-se, em geral, aos grandes falhamentos da Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975), e não podem ser considerados como uma unidade estratigráfica à parte, uma vez que significam apenas o resultado de uma atividade tectônica sobre rochas mais antigas.

As brechas observadas são ocasionalmente poli-litológicas, podendo conter clastos de milonitos mais antigos, a exemplo do que se verifica na estrada que liga a cidade de Mauá à Via Dutra, e ao norte da cidade de Lavrinhas. Estas duas ocorrências relacionam-se com as falhas de Queluz e Cruzeiro, respectivamente.

Entre os milonitos grosseiros, que com frequência gradam lateralmente a quartzo-xistos, merece especial destaque a ocorrência localizada na estrada entre Resende e Pedra Selada e cuja espessura é maior que uma centena de metros. Entretanto, apesar de sua imponência, não é possível estabelecer, em imagens de radar ou do LANDSAT, seu relacionamento com lineamentos fotogeológicos de expressão compatível com sua exuberância.

Milonitos finos são menos frequentes, constituindo, quando presentes, faixas de modesta espessura.

As ocorrências de rochas cataclásticas não puderam ser individualizadas no mapa geológico, por não formarem áreas com extensão suficiente e por não corresponderem, em imagens LANDSAT, senão a lineamentos fotogeológicos, conspicuos ou não.

A presença de fragmentos miloníticos nas brechas e de gradação lateral dos milonitos grosseiros a quartzo-xistos parece indicar reincidência de processos tectônicos sobre falhamentos mais antigos.

#### 5) Rochas Alcalinas

Encaixados em gnaisses do Grupo Paraíba, sobressaem-se na topografia da Serra da Mantiqueira os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, responsáveis pela sustentação de notáveis altitudes, tais como o Pico das Agulhas Negras (2.787 m) e o Pico da Pedra da Mina (2.770 m).

Ribeiro Filho e Penalva (1965), em seus trabalhos na região deste complexo alcalino, definiram áreas de 110 e 220 Km<sup>2</sup> para os maciços de Passa Quatro e Itatiaia, respectivamente.

Durante a execução deste trabalho, verificou-se, pelo mapeamento desses maciços com imagens LANDSAT, áreas diferentes para cada um deles: 191 Km<sup>2</sup> para o maciço de Itatiaia e 212 Km<sup>2</sup> para o de Passa Quatro. Assim, pode-se afirmar que o maciço de Passa Quatro, a despeito de ser o menos conhecido dos dois, é na realidade o maior.

A respeito do maciço de Itatiaia cabe destacar que a primeira referência é de Derby (Ribeiro Filho, 1967), que fez citação à presença de foiaitos, sienitos e fonólitos nessa área.

A partir de então, vários autores se mostraram preocupados com a investigação do maciço. Entre eles Lamego (1936) que descreveu sua petrografia, relatou ligados à sua gênese e publicou o primeiro mapa geológico da área, indicando para o complexo alcalino Itatiaia/Passa

Quatro uma área superestimada em 1.224 Km<sup>2</sup>.

O relacionamento entre as intrusões alcalinas e o tectonismo regional foi enfocado preliminarmente por Freitas (1944, 1947, 1951 e 1956).

Também os aspectos morfo-estruturais de Itatiaia foram largamente estudados por autores como Silveira (1942), Domingues (1952), Ab'Saber e Bernardes (1958), e Ebert (1960), entre outros, que mostraram evidências de atividade glacial, na área, durante o Pleistoceno.

Quatro grupos litológicos foram definidos por Ribeiro Filho (1967), englobando todos os espécimes do maciço de Itatiaia: sienitos e nefelina-sienitos, foiaitos, quartzo-sienitos e brechas magmáticas.

Os sienitos e nefelina-sienitos exibem notável variação horizontal, tanto em seus aspectos texturais macroscópicos, quanto em sua composição petrográfica. Assim, num mesmo afloramento e numa extensão de poucos metros, podem ser observadas variedades que vão desde a textura criptocristalina até a pegmatóide. Mineralogicamente, as variações se dão devido aos minerais acessórios, cuja abundância eventual facultou sua inclusão no nome do espécime litológico. Entre esses acessórios, os mais frequentes são a sodalita, nefelina, hornblenda, biotita, hastingsita, aegirina, aegirinaugita e leucita. Mais raramente observa-se a presença de titanita, apatita, magnetita e zircão. A este grupo pertencem os sienitos, nefelina-sienitos, tinguaitos e pulaskitos (Ribeiro Filho, 1967).

O grupo dos foiaitos engloba as rochas de mineralogia semelhante à dos nefelina-sienitos, porém com textura traquitóide. Seus minerais mais abundantes são a hornblenda, riebeckita, aegirinaugita, biotita, nefelina e micropertita. Entre os acessórios destacam-se a titanita, magnetita, apatita e, mais raramente, a sodalita (Ribeiro Filho, 1967).

Os quartzo-sienitos constituem a porção central do maciço de Itatiaia e são os responsáveis pela instalação de importantes feições morfológicas, tais como as Agulhas Negras e as Prateleiras; são formados a partir dos sienitos adjacentes por progressivo enriquecimento em quartzo, numa sequência que se inicia com sienitos pobres em quartzo, passando por quartzo-sienitos e nordmarkitos, e terminando com os granitos alcalinos da parte mais central do maciço. A mineralogia dos quartzo-sienitos é qualitativamente semelhante à dos sienitos (Ribeiro Filho, 1967).

Um elemento de grande importância no contexto litológico de Itatiaia são as brechas magmáticas, intimamente associadas às alcalinas de granulação mais finas. Os primeiros autores a se referirem a estas brechas consideraram-na de origem eruptiva. Penalva (1962) descreveu-as em minúcias, citando vários fatores que indicam sua classificação como de origem magmática. Entre esses fatores merecem destaque a ausência de material eruptivo na região e a presença de fragmentos com corrosão magmática nas suas bordas. A ocorrência dessas brechas se faz sob forma de dois corpos, geograficamente separados, mas de composição totalmente semelhante, que perfazem, em conjunto, uma área de cerca de 10 Km<sup>2</sup>. A passagem das brechas típicas para suas encaixantes é feita de forma gradual e, em alguns casos, ao longo de menos de 1 m. Os fragmentos são representados, sem exceção, por variedades de traquito e tinguaito, e apresentam tamanho variado (predominância entre 1 e 5 cm de diâmetro) e, em geral, forma arredondada, principalmente entre os fragmentos menores (Penalva, 1962). A matriz de tais brechas exhibe pequena variação quanto à granulometria. Em cerca de 30% das ocorrências, seus constituintes são visíveis a olho-nu e, em 5%, adquire aspecto vítreo. Um elemento importante dessa matriz é o caráter fluidal que se observa ao microscópio, provocado pela orientação das ripas de feldspato. Este fato vem confirmar a hipótese de sua origem magmática. Este aspecto apenas raramente pode ser observado macroscopicamente, como por exemplo nos traquitos cloríticos, onde os nódulos alongados de clorita se dispõem concordantemente em relação à orientação das ripas feldspáticas. A composição da matriz das brechas de Itatiaia pode ser representada básica

mente por uma massa afanítica feldspática, a qual se somam clorita, pi  
rita, magnetita, calcita, siderita, apatita, biotita e sericita e, em  
casos eventuais, quartzo microcristalino (Ribeiro Filho, 1967).

As rochas alcalinas de Itatiaia apresentam-se cortadas por  
um bom número de diques, na maioria das vezes tinguaíticos, cuja espes  
sura situa-se frequentemente abaixo dos 4 m. Outros, mais possantes,  
mostram-se aproximadamente circulares e concêntricos, centrados nas pro  
ximidades do Abrigo Rebouças, a oeste das Agulhas Negras; são os "ring-  
-dikes" de composição tinguaítica, descritos pela primeira vez por Tei  
xeira (1961), aos quais se condicionam os traçados dos rios que descem  
do planalto, chegando a formar "soleiras" à sua passagem. Penalva (1967)  
discordou em parte de que todas as estruturas arqueadas do planalto se  
jam diques anelares, afirmando que, em alguns casos, elas podem repre  
sentar áreas de intenso diaclasamento.

Os diques anelares de Itatiaia apresentam-se de forma bas  
tante nítida no mosaico de radar, devido à sua presença refletir-se po  
sitivamente no relevo. O chamado "grande anel externo" exhibe grande  
realce em relação à topografia do planalto e sua forma é marcadamente  
circular. Seu extremo SW é cortado por um lineamento muito pronunciado,  
com direção N60W, ao sul do qual o relevo do dique se inverte, passan  
do a constituir vales, em geral profundos. (Figura 3.5).

O Maciço de Passa Quatro ainda não foi estudado com maior  
detalhamento, em virtude da extrema dificuldade de acesso a seus aflora  
mentos, quer pela hostilidade de seu relevo, quer pela exuberância de  
sua vegetação.

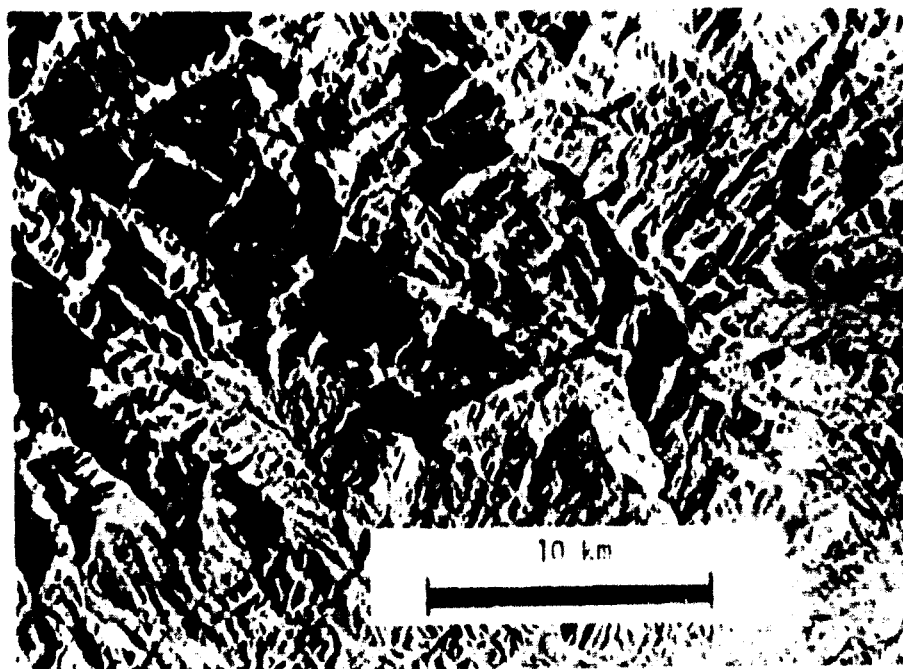


Fig. 3.5 - Diques anelares do Maciço de Itatiaia.

- Notar o destaque topográfico dos diques no centro da foto, obtida a partir do mosaico de radar.

Segundo Ribeiro Filho (1967), os tipos litológicos encontrados nesse maciço são semelhantes aos de Itatiaia, com pequenas variações relativas à coloração e à concentração dos minerais acessórios. Resaltou que, pela deficiente amostragem que realizou, nem todos os espécimes ou grupos litológicos de Itatiaia foram encontrados. Por outro lado, fez referência à presença de um nefelina-sienito glomerular, com cristais ripiformes e idiomórfos, não observado em Itatiaia. Essa semelhança litológica permite, conforme o mesmo autor, a afirmativa de que os dois maciços são contemporâneos, e que a faixa pré-cambriana que os separa pode representar um "roof pendant" ou mesmo um simples septo.

#### 6) Bacias Sedimentares

Intimamente relacionadas ao abatimento do Graben do Paraíba, acontecido durante o Terciário Médio, depositaram-se as bacias sedimentares de Taubatê, a oeste, e de Resende, mais a leste, separadas en

trazida pela Soleira de Queluz, situada nas proximidades ao sul do complexo alcalino de Itatiaia. Tratar-se-á de cada uma dessas bacias individualmente.

a) Bacia de Taubaté

A Bacia de Taubaté representa o maior depósito de sedimentos terciários do leste paulista. Aí são encontradas camadas de argilitos, folhelhos, siltitos, arenitos e conglomerados, em geral sob forma lenticular e tanto mais persistentes quanto menor for sua granulação, podendo atingir 10 km de extensão (Hasui et alii, 1978c).

Estes sedimentos foram descritos pela primeira vez por Pissinatti (Hasui et alii, 1978c), que por essa época enquadrou-os no Terciário. Derby (Suguio, 1969) esboçou o primeiro mapa geológico da bacia sem incluir a distinção entre suas unidades. Esta situação persistiu por muitos anos, embora Washburne (1930) já houvesse identificado uma unidade inferior, lacustre e pelítica, e outra mais nova, fluvial e heterogênea, no pacote sedimentar denominado por Florence e Pacheco (Mezzalana, 1961) "Camadas do Paraíba". Moraes Rego (1933b), chamou "Camadas de São Paulo" ao membro superior, correlacionando-o aos sedimentos homônimos da Bacia de São Paulo. Almeida (1952) propôs a denominação Formação Tremembé para a unidade inferior, mantendo a denominação dada por Moraes Rego (1933b) para o membro superior. Carneiro et alii (1976) consideraram que a Formação São Paulo deveria estar restrita à bacia de mesmo nome, sugerindo a denominação de Formação Caçapava para esta unidade. Hasui et alii (1978c), consideraram razoáveis as proposições de Mezzalana (Suguio, 1969) e Almeida (1952) de denominar por Grupo Taubaté o pacote sedimentar e por Formação Tremembé o seu membro inferior, aceitando a modificação proposta por Carneiro et alii (1976) quanto ao nome da unidade superior e publicando o primeiro mapa geológico a conter a subdivisão estratigráfica do pacote sedimentar.

Conforme referido anteriormente, Pissis (Hasui et alii, 1978c) já havia considerado os sedimentos do Grupo Taubaté como de origem terciária. Moraes Rego (1932) fixou a idade desses sedimentos como sendo pliocênica, até que estudos paleontológicos conduziram à polêmica idéia de se datarem como pleistocênicos os sedimentos da Formação Tremembé, a única fossilífera do grupo. A discussão se estendeu até que Mezzalana e Couto (1971) descobriram fósseis de mamíferos do Oligocênio ou, no máximo, do Mioceno Inferior. Assim, embora não se definam com rigidez os seus limites, parece viável a fixação da idade do Grupo Taubaté como sendo paleogênica ou, no máximo, neogênica.

No mais completo dos trabalhos sobre a Bacia de Taubaté, Suguio (1969) citou a presença de abundantes estruturas sedimentares. Entre as mais frequentes estão: estratificação cruzada, estratificação gradacional, pelotas de argila em arenitos, estruturas de corte e preenchimento, marcas de onda, laminação cruzada, diques clásticos e estruturas de deslizamento.

A Formação Tremembé é a unidade inferior do Grupo Taubaté, sendo constituída principalmente por folhelhos betuminosos fossilíferos, característicos de ambiente lacustrino. Ocasionalmente, dão-se intercalações de lentes de argilitos e, mais raramente, de arenitos. Em geral, esses folhelhos são esverdeados e durante algum tempo foram alvo de interesse por parte da PETROBRÁS S.A., devido ao razoável teor de óleo em alguns de seus níveis. Seus afloramentos restringem-se à porção central da bacia, fora da área deste projeto.

Recobrando os pelitos da Formação Tremembé, na maior extensão da área da bacia, são encontrados sedimentos fluviais, não-fossilíferos, que compõem a Formação Caçapava. Estes, são camadas areno-argilosas, com níveis conglomeráticos e alternadas por leitões argilosos (Brandalise et alii, 1976). Nas bordas da bacia são encontrados termos rudáceos, constituídos por brechas e conglomerados imaturos, cuja matriz apresenta-se frequentemente caulínica (Hasui et alii, 1978c).



Conforme Suguio (1969), a estratificação cruzada, comum nos arenitos da Formação Caçapava, indica transporte de rumo geral N50E. Outro aspecto realçado por esse autor é o de que, na realidade, cerca de 1/3 dos arenitos analisados representam arcósios, cujo teor de feldspato torna-se mais acentuado nas bordas da bacia, indicando grande oferta de sedimentos pelas serranias próximas.

Washburne (1930) e Maul (1930) foram os primeiros autores a indicar que a Bacia de Taubaté é o preenchimento de uma depressão tectônica, posteriormente denominada Graben do Paraíba. Esta idéia foi aceita pela maioria dos autores, tendo sido encontradas provas suficientes da presença de falhamentos normais em seus limites. Rich (1953) afirmou que a não ocorrência de clastos grosseiros na Formação Tremembé sugere sua deposição em tempos posteriores aos do abatimento do graben, ao contrário das idéias de Washburne (1930) e Maul (1930). Suguio (1969), entretanto, ratificou a teoria destes autores, incluindo no esquema outros falhamentos transversais à bacia e que afetam inclusive os sedimentos da Formação Caçapava. Uma breve observação das imagens MSS-LANDSAT e de radar é suficiente para a verificação da presença de extensos falhamentos nas bordas na bacia, principalmente ao norte, e que condicionam sua forma alongada. São falhas normais, de direção aproximada ENE, geradas pela reativação de antigas falhas transcorrentes durante a Reativação Wealdeniana, acontecida a partir do Jurássico Superior (Almeida, 1967).

Assim, a história geológica da Bacia de Taubaté é contada a partir do Oligoceno, quando o arqueamento regional da Superfície de Erosão Japi provocou o abatimento do Graben do Paraíba por meio de extensos falhamentos normais (Almeida, 1967). O represamento da drenagem provocou a deposição dos sedimentos lacustres da Formação Tremembé, seguidos dos sedimentos mais grosseiros da Formação Caçapava. A atividade dos falhamentos estendeu-se a tempos posteriores à deposição, havendo claros indícios de que tenham afetado o membro superior do Grupo Taubaté.

b) Bacia de Resende

As primeiras citações a respeito desta bacia são devidas a Derby (Suguio, 1969); desde então muito pouco se pesquisou e sempre de forma limitada, até que Bjornberg et alii (Brandalise et alii, 1976) publicou um trabalho que abrangia seus aspectos tectônicos, litológicos e sedimentológicos. Mais recentemente, Amador (Brandalise et alii, 1976), em sua tese de doutorado, propôs a primeira divisão lito-estratigráfica da bacia e uma síntese de sua evolução, com base em estudos texturais, mineralógicos e estruturais.

Este depósito ocupa pequena parte do oeste fluminense, com cerca de 15 km de comprimento a 8 km de largura, contendo em sua porção central a cidade que lhe cede o nome. Seus limites fisiográficos são a Serra da Mantiqueira a NW e a Serra do Mar a SE.

Por correlação com as unidades do Grupo Taubatê, considera-se de idade miocênica-pliocênica a unidade inferior e pleistocênica a superior, denominadas por Amador (Brandalise et alii, 1976) como formações Resende e Floriano, respectivamente.

A Formação Resende é formada principalmente por uma sequência de leitos tabulares de arenitos arcóseos, médios a grosseiros e não-consolidados, que exibem frequentes canais soterrados por material mais grosseiro e não menos frequente estratificação cruzada. Os caracteres texturais desta unidade permitem classificá-la como de origem fluvial. Em suas bordas mais próximas ao maciço de Itatiaia, esta formação apresenta um membro rudáceo, composto por seixos e matacões alcalinos, quase sem matriz e interdigitados com os leitos arenosos acima citados (Brandalise et alii, 1976).

A Formação Floriano, sobrejacente à anterior, é constituída por uma sequência irregular de leitos sub-horizontais ou lenticulares de arenitos argilosos, associados a leitos silto-argilosos. As frequentes estruturas "cut-and-fill" indicam alternância entre fases de erosão

e sedimentação. Depósitos fanglomeráticos, formados por seixos e matas alcalinas, envolvidos em abundante matriz areno-argilosa, constituem o membro rudáceo desta unidade segundo Amador (Brandalise et alii, 1976). O estudo das estruturas sedimentares desta formação indica uma origem fortemente apoiada na ação de movimentos de massa, com pequeno retrabalhamento por atividade da drenagem.

Sobre o pacote de sedimentos terciários de Resende são encontrados depósitos recentes de turfa, cuja espessura nunca ultrapassa os 2 m, e cujo poder calorífico oscila por volta das 3960 calorias (Lamego, 1936).

A origem da Bacia de Resende vincula-se aos mesmos eventos tectônicos que geraram sua correlata de Taubaté, ou seja, o abatimento do Graben do Paraíba, iniciado durante o Oligoceno (Almeida, 1976). Bjornberg et alii (Brandalise et alii, 1976) concluíram que os falhamentos são normais com direção geral N70E. A exemplo do que ocorre na Bacia de Taubaté, os falhamentos da borda norte da Bacia de Resende mostram-se bastante nítidos em imagens MSS-LANDSAT e de radar, o mesmo não acontecendo com os de sua borda sul.

#### 7) Talus Terciários

Ao sul do maciço de Itatiaia, encontram-se três grandes morros, formados por material alcalino coluvial e citados como de idade Quaternária nos trabalhos de Ribeiro Filho e Penalva (1965) e Brandalise et alii (1976). Sua origem vincula-se ao curso pretérito do rio Campo Belo e aos primeiros tempos da evolução das encostas alcalinas. Sua idade será aqui considerada como terciária superior, pelos três fatores nar rados a seguir.

- Esses morros mostram-se muito salientes, topograficamente, em relação aos terrenos adjacentes, com tal desnível entre o topo e a base e de tal forma isolados das encostas, que parece inviável sua formação senão em tempos pré-pleistocênicos (Figura 3.6).

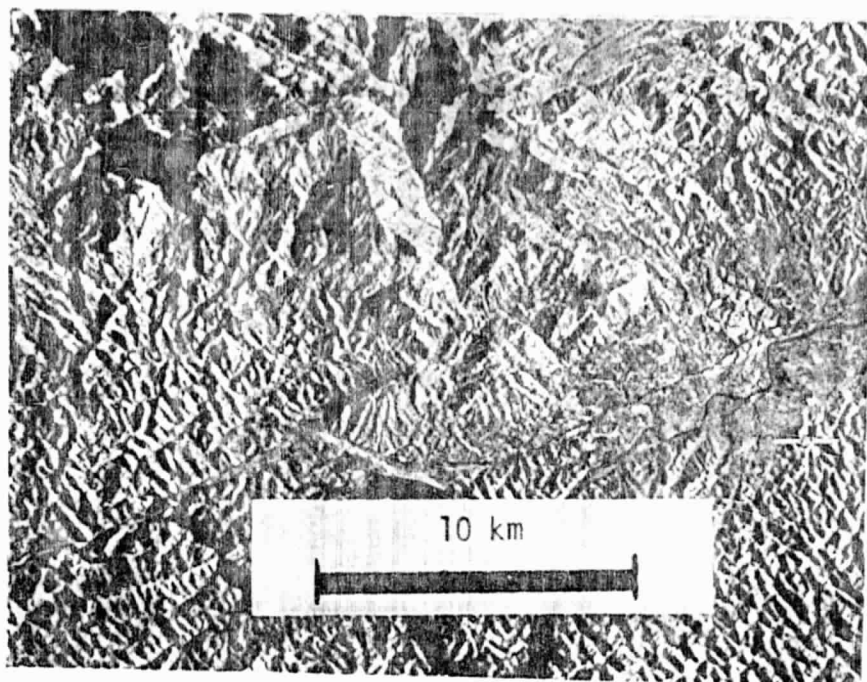


Fig. 3.6 - Aspecto dos tálus ao sul do Maciço de Itatiaia.

- Notar seu destaque no relevo e seu isolamento em relação às encostas alcalinas. Foto obtida a partir de mosaico de radar.

- Amador (Brandalise et alii, 1976) refere-se a interdigitações entre material desses depósitos e os leitos arenosos da Formação Resende, provavelmente de idade pliocênica.

- Os dois morros mais externos desse conjunto coluvial apresentam-se nitidamente afetados pela Falha de Queluz. Esta falha, de caráter gravitacional, foi gerada durante a Reativação Wealdiana (Almeida, 1967), não havendo indícios de sua atividade em tempos mais modernos que o Plioceno.

#### 8) Depósitos Quaternários

Por toda a área estudada são encontrados depósitos quaternários de variável expressão e assentados tanto sobre rochas pré-cambrianas, quanto sobre outras mais recentes (maciços alcalinos e bacias sedimentares). Tais depósitos são de dois tipos: o primeiro é representado

essencialmente por aluviões, ciliares ou de várzea, e o outro, pelos coluviões que se acumulam no sopê das encostas mais expressivas.

Os depósitos aluvionares são em grande parte arenosos, com eventuais intercalações de silte, argila e cascalho. Suas mais notáveis ocorrências estão relacionadas às planícies do Rio Paraíba do Sul, principalmente nos trechos onde ele corta as bacias sedimentares de Taubatê e Resende. Seus limites com esses sedimentos são frequentemente assinalados por uma linha de seixos, marcando um episódio de soerguimento temporário do Graben do Paraíba. Com a cessação do levantamento, termina a deposição dos seixos e inicia o gradativo afinamento da sedimentação, concluindo com o predomínio das argilas no topo da coluna, a exemplo do que ocorre durante a atual fase de calmia tectônica (Brandalise et alii, 1976).

Os colúvios são os mais importantes depósitos quaternários da região, formando os tálus observados sobretudo junto às encostas dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro.

A composição desses tálus é dada essencialmente por blocos de rochas alcalinas, de tamanho extremamente variado, desde poucos decímetros até vários metros de diâmetro. A presença de pequenos matacões gnáissicos, localizados principalmente nas partes mais baixas das encostas, foi citada por Penalva (1967).

A bauxitização é fenômeno bastante frequente sobre os tálus de rochas alcalinas. É comum a presença de blocos revestidos por bauxita, cuja formação gera um processo de esfoliação sobre os matacões. Em vários pontos é verificado que a inclemência localizada da atividade de alteração dessas rochas chega a constituir verdadeiras jazidas desse mineral, algumas delas, inclusive, em exploração.

Ao longo da estrada que une a Fazenda da Catadupa ao vilarejo de Formoso, no extremo SE da área, são encontrados depósitos coluvionares formados por matacões embrechíticos originados nas escarpas a leste.

### 3.2 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

Por toda a área de estudo são encontradas estruturas geológicas, em geral abundantes, com número, tipo e tamanho bastante variados. Muitas dessas estruturas representam importantes elementos da evolução geológica e geomórfica da região, e cujos reflexos se observam inclusive sobre os aspectos fisiográficos. Assim, são encontradas estruturas sedimentares, reliquiárias, foliações, lineações, dobras, juntas e falhas.

#### 3.2.1 - ESTRUTURAS SEDIMENTARES

As mais importantes destas estruturas estão relacionadas aos sedimentos das bacias de Taubatê e Resende.

Os sedimentos do Grupo Taubatê, conforme dito durante a descrição de sua estratigrafia, exibem frequentemente estratificação cruzada, estratificação gradacional, pelotas de argila, estruturas "cut-and-fill", marcas de onda, laminação cruzada, diques clásticos e estruturas de deslizamento, sendo que, à execução das duas últimas, todas indicam ambiente fluvial de deposição (Hasui et alii, 1978c).

Segundo Brandalise et alii (1976), as mais expressivas estruturas sedimentares da Bacia de Resende são a estratificação cruzada e as estruturas "cut-and-fill", que indicam uma evidência da origem fluvial desses sedimentos. A interdigitação de cada uma das formações desta bacia, com seus membros rudáceos, representa uma estrutura também notável, ainda que pouco frequente, e indica a interferência dos movimentos de massa no processo deposicional, além de confirmar a contemporaneidade entre a sedimentação fluvial e a formação dos primeiros depósitos coluviais do sopê das encostas alcalinas.

### 3.2.2 - ESTRUTURAS RELIQUIARES

Estas são relativamente escassas na área, em virtude da potência dos processos de deformação, que provocou a destruição de grande parte das estruturas dos antigos sedimentos.

A mais importante das estruturas reliquiaes é a estratificação reliquiar, observável principalmente em xistos e quartzitos. A grande intensidade dos processos tectônicos na região causaram distúrbios consideráveis na distribuição espacial das camadas originais, comprometendo sua utilização em análises estratigráficas, principalmente por sua apresentação extremamente fragmentária. Ainda assim, Hasui et alii (1978c) consideraram que a estratificação reliquiar é um dos elementos que permitem a reconstituição dos padrões de dobramento da região.

Na análise das rochas metassedimentares pré-cambrianas do leste paulista, migmatizadas ou não, Hasui et alii (1978c) afirmam que "os corpos e sua distribuição sugerem que derivam de sedimentos essencialmente pelíticos, com intercalações lenticulares de quartzitos, calcários, margas e congolmerados, acumulados em ambiente geossinclinal".

### 3.2.3 - FOLIAÇÃO

De acordo com o exposto por Hasui et alii (1978c), enquadrar-se-á entre as estruturas foliares o bandamento, a xistosidade e a clivagem das rochas.

Entre as rochas pré-cambrianas, o bandamento é a estrutura foliar mais notável, ocorrendo na quase totalidade da extensão dos grupos Paraíba e Açunguã. Nos migmatitos estromatíticos do Grupo Açunguã, o bandamento é representado pela alternância entre bandas neossômicas e paleossômicas, aquelas com composição quartzo-feldspática e estas, gnáissicas ou xistosas. O mesmo ocorre com os gnaisses bandados do Grupo Paraíba. Entre os embrechitos do Grupo Açunguã e os augen-gnaisses do Paraíba, o bandamento é definido pela orientação dos cristais de quartzo e feldspato.

Em todos estes casos nota-se claramente que o bandamento exibe constância em seu direcionamento, com pequenas variações entre NE e ENE, com mergulhos quase sempre para SE. Perturbações ocasionais são devido à proximidade de falhamentos mais expressivos.

A xistosidade, excluída a do paleossoma dos estromatitos heterogêneos, foi observada de forma muito localizada em restritos enclaves de xistos, provavelmente retrometamórficos, e relacionados a zonas de falhamentos. As ocorrências de tais xistos estão marcadas nas imagens MSS-LANDSAT e de radar pela presença de lineamentos fotogeológicos, caracterizados pelo alinhamento de vales de profundidade variada.

As clivagens de rocha são encontradas sobretudo nas zonas de falhas transcorrentes. Nos casos de maior sollicitação tectônica, o cisalhamento do material original torna-se mais intenso, chegando a acontecer o esmigalhamento e esmagamento dos cristais, o que pode gerar faixas miloníticas, cuja clivagem é sempre concordante com a direção do falhamento. A clivagem de rocha é fenômeno bastante frequente também nos quartzitos. Ao sul das cidades de Queluz e Resende ocorrem quartzitos muito cisalhados que, embora não cheguem a estar milonitizados, exibem nítido esmagamento dos cristais nos planos de ruptura, com eventual recristalização. Assim como ocorre com os xistos, as ocorrências de rochas clivadas associam-se de forma notável aos lineamentos fotogeológicos, em geral conspícuos.

#### 3.2.4 - LINEAÇÕES

As lineações mais facilmente observáveis dizem respeito às estrias em planos de falha e refletem a movimentação entre os blocos adjacentes. São relativamente abundantes na área, aparecendo em situações da mais variada importância tectônica. Assim, tais estruturas se encontram tanto sobre zonas de falhamentos de porte, quanto sobre pequenas falhas com rejeito não mais que métrico.



Outros tipos de lineações estão citados em Hasui et alii (1978c). Entre eles merecem destaque a intersecção xistosidade/estratificação reliquiar, observável em alguns ápices de dobras, e a rugosidade linear impressa nos planos de xistosidade, relacionadas aos deslizamentos das lâminas durante os dobramentos ou a intersecção entre a xistosidade e a clivagem das rochas.

### 3.2.5 - DOBRAS

Os dobramentos mesoscópicos são, segundo Hasui et alii (1978c), um importante elemento de diferenciação entre os grupos Paraíba e Açunguã. Esses autores referem-se a duas gerações de dobramentos para o Grupo Açunguã. A primeira geração forma dobras intrafoliais, anisópacas e quase recumbentes, com eventual transposição. São dobras definidas pela estratificação reliquiar e pelo bandamento, geradas em nível estrutural profundo, e seus eixos não obedecem a um direcionamento preferencial. A xistosidade encontra-se normalmente em posição plano-parallel, podendo ocorrer em posição plano-axial no ápice de algumas dessas dobras. As dobras de segunda geração são na maioria das vezes isópacas e de nível estrutural menos profundo; seus eixos apresentam apenas pequenos desvios em torno de uma direção preferencial NE, sendo que os planos axiais são subverticais ou se inclinam fortemente para NW ou SE. Estas dobras de segunda geração afetam a foliação, anteriormente desenvolvida, e a lineação definida pelos minerais preexistentes, colocando-os obliquamente aos eixos do dobramento.

Os migmatitos complexos do Grupo Paraíba, ausentes na área, mostram-se mais dobrados que os do Grupo Açunguã, exibindo pelo menos mais uma geração de dobramentos e transposição. Entre os gnaisses do Grupo Paraíba não se observam dobras em escala de afloramento, com exceção de tênues e amplas flexões ocasionais, principalmente nos augen-gnaisses. Quando migmatizados, esses gnaisses passam a exibir um grande número de pequenas dobras, assumindo aspecto, em tudo semelhante ao dos estromatitos homogêneos do Grupo Açunguã.

Os sedimentos terciários das bacias de Taubatê e Resende mostram suaves ondulações, devidas, provavelmente, à compactação diferencial. Nas proximidades de falhas de rejeito métrico, podem ser observadas flexões mais acentuadas (Hasui et alii, 1978c).

### 3.2.6 - JUNTAS

A escassez de bons afloramentos, por praticamente toda a área estudada, impede uma quantificação adequada dos sistemas de juntas da região.

Com base na bibliografia consultada (Brandalise et alii, 1976; Hasui et alii, 1978c), pode-se afirmar que dois são os sistemas dominantes de juntas, obedecendo as direções preferenciais de WNW e ENE, com mergulhos verticais. Esses autores citam que esses sistemas de juntas truncam todas as unidades pré-cambrianas, bem como as zonas de falhas, revelando sua posteridade em relação a tais eventos. Portanto, representam a última manifestação estrutural do Ciclo Brasileiro. Sistemas de juntas não-verticais se associam com frequência aos acima citados, sendo em grande parte gerados por alívio de carga em tempos mais recentes.

Existe uma grande coincidência entre os sistemas de juntas dominantes e os lineamentos fotogeológicos, excetuando-se os maiores destes, que correspondem a falhamentos (Hasui et alii, 1978c). Considerando-se que os lineamentos são definidos pelo alinhamento de vales e cristas, cabe destacar que os sistemas de juntas exercem grande influência no condicionamento dos elementos que compõem o relevo da área.

### 3.2.7 - FALHAS

As falhas encontradas são de dois tipos: transcorrentes e normais.

Os falhamentos transcorrentes são os mais antigos (fim do Pré-cambriano ao Cambro-ordoviciano) e pertencem à Faixa Rúptil Paraíba (Braun, 1972), ou à Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975). Estes falhamentos estão representados, na área estudada, pelas falhas do Rio Bonito e do Alto da Fartura, sendo esta a mais importante das duas, por formar o limite entre os compartimentos tectônicos Paraíba do Sul e Quebra-Cangalha. Por compartimento tectônico entende-se cada um dos blocos separados por falhamentos expressivos, em uma região qualquer, e que apresentam características litológicas, estratigráficas e estruturais próprias (Hasui et alii, 1978c).

A Falha do Alto da Fartura estende-se por todo o extremo leste paulista, desde as proximidades orientais da cidade de São Paulo, onde se desmembra do falhamento de Taxaquara, seguindo em direção aproximada de N45E, até desaparecer sob os sedimentos da bacia de Resende, já em terras fluminenses. Esta falha não apresenta reflexos marcantes na morfologia dos terrenos que corta, aparecendo nas imagens LANDSAT de forma segmentária e não totalmente conspícua.

A Falha do Rio Bonito está contida no compartimento tectônico Quebra-Cangalha; desmembra-se da Falha de Taxaquara, à altura do paralelo 23°S, cortando a área em seu extremo SE com direção aproximada de N45E e penetrando em terras fluminenses, onde sua continuidade precisa ser investigada.

Entre as falhas normais, nascidas da reativação de antigos falhamentos transcorrentes, a partir do Paleoceno, merecem destaque as de Cachoeira Paulista, Santa Cabeça, Pinheiros, Cruzeiro e Queluz. Estas falhas, de abatimento escalonado e pequeno rejeito individual, são as que formam, em conjunto com outras, ausentes na área estudada, o Graben do Paraíba.

A Falha de Cachoeira Paulita inicia-se sob os sedimentos da Bacia de Taubatê; segue para leste, com direção aproximada de N45E, até o sul da cidade de Lavrinhas, onde sofre inflexão para N60E, mantendo esta altitude até desaparecer sob os sedimentos da Bacia de Resende, nas proximidades da cidade de Itatiaia. Deste modo, observa-se que esta falha principia e termina dentro da área estudada, percorrendo-a numa extensão de pouco mais de 75 km. Em imagens orbitais, este falhamento aparece de forma bastante fragmentária, marcada pela presença de vales e cristas alinhados de forma descontínua. A sudeste da cidade de Queluz uma possante lente quartzítica aparece perfeitamente alinhada com esta falha, refletindo seus efeitos através de intenso cataclasamento (Figura 3.7).

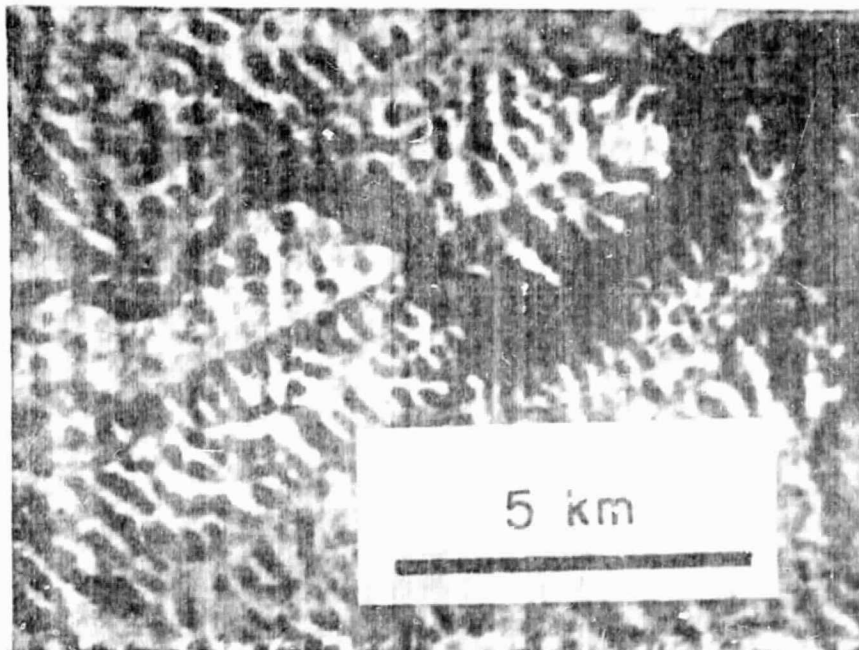


Fig. 3.7 - Lente de quartzito alinhada sobre a Falha de Queluz, a sudeste dessa cidade.

- Fotoobtida a partir do canal 6 do MSS-LANDSAT.

A Falha da Santa Cabeça, de importância secundária, inicia-se também sob os sedimentos da Bacia de Taubatê e segue paralela ao falhamento de Cachoeira Paulista; estende-se por uma distância da ordem de 50 km, vindo a terminar um pouco antes de atingir as margens da represa do Funil. Seu aspecto em imagens orbitais é semelhante ao da Falha de Cachoeira Paulista, estando marcada no relevo por um alinhamento fragmentário de cristas e, principalmente de vales.

Os falhamentos de Pinheiros, Cruzeiro e Queluz formam os limites entre os Grupos Paraíba e Açunguã, nesta área. Estes limites passam de uma para outra dessas falhas, de forma escalonada e não muito clara, conforme pode ser observado no mapa geológico (Apêndice A).

A Falha de Pinheiros corre, a grosso modo, pelo sopé da Serra da Mantiqueira, sendo marcada, em campo, pela presença de brechas ocasionais e poli-litológicas, que contêm fragmentos de micaxistos, migmatitos, granitoides e, mais raramente, sienitos. Este falhamento surge por desmembramento a partir da Falha do Buquira, alguns quilômetros a oeste da área estudada, compondo, no início de seu traçado, parte da borda setentrional da Bacia de Taubatê. Em imagens LANDSAT e de radar, é claramente observável sua continuidade por terras fluminenses, mesmo após sua interceptação pela intrusão alcalina de Itatiaia. Seu direcionamento sofre pequenas flexões em torno de N70E, aproximadamente.

O falhamento de Cruzeiro principia sob os sedimentos da Bacia de Taubatê, ao norte da cidade de Lavrinhas, estendendo-se paralelamente ao falhamento de Pinheiros, cerca de 50 km e desaparecendo ao ser interceptado pelo maciço de Itatiaia. Em imagens orbitais, a Falha de Cruzeiro corresponde a um lineamento não muito claro, formado pelo alinhamento, ora sutil ora um pouco mais nítido, dos pequenos morros que compõem o relevo desse trecho.

A Falha de Queluz tem também seu extremo ocidental recoberto pelos sedimentos da Bacia de Taubatê, seguindo paralelamente aos falhamentos de Cruzeiro e de Pinheiros e, a exemplo desta, estende-se

por território fluminense, para além dos limites orientais da área estudada. Ao sul do Maciço de Itatiaia, a Falha de Queluz é recoberta por depósitos coluvionares, relacionados aos primeiros tempos da evolução das encostas alcalinas. Esses depósitos mostram-se nitidamente afetados pela presença do falhamento, indicando que são, na realidade, mais antigos que o citado na literatura. Após transpor as áreas de talus, esta falha torna-se responsável pelo condicionamento de parte da borda norte da Bacia de Resende. Em imagens LANDSAT e de radar, a Falha de Queluz é marcada pela presença de um lineamento fotogeológico muito claro e contínuo, ao qual está condicionado o curso do rio Paraíba do Sul, desde as proximidades de Lavrinhas até o leste de Queluz.

Todos os falhamentos descritos, tanto os transcorrentes quanto os normais, apresentam mergulhos invariavelmente verticais ou subverticais. Em campo, salvo raras exceções, suas presenças não são acusadas senão por inexpressivas faixas cataclásticas ou por esparsos espelhos de falha. Quando observadas em imagens orbitais, correspondem a lineamentos com variável nitidez e continuidade.

As falhas transcorrentes são as mais antigas (fim do Pré-cambriano ao Cambro-ordoviciano) e as normais são resultantes de sua reativação (Terciário), formando sequências de grabens e horsts. Aparentemente, alguns dos falhamentos normais tiveram atividade até tempos mais recentes, havendo indícios de sua contemporaneidade com a sedimentação pliocênica. Esta afirmativa é corroborada pelas abruptas alterações na espessura da Formação Caçapava do Grupo Taubaté, provocadas pela atividade de falhamentos (Sugio, 1969).

No mapa geológico (Apêndice A) foram assinalados muitos outros falhamentos, entre prováveis e observados, que em imagens orbitais e de radar estão marcados por lineamentos fotogeológicos, em geral conspícuos, extensos e contínuos; relacionam-se em campo à presença, mais ou menos constante, de faixas de xistos ou de rochas intensamente diaclasadas. Ocorrências cataclásticas são bem mais raras e, quando ocorrem, não apresentam, na maioria das vezes, espessura superior a alguns centímetros.

Percebe-se nas imagens LANDSAT um lineamento dos mais conspícuos, causado pelo alinhamento bastante contínuo de vales extensos e retilíneos, que passa pela cidade de Passa Quatro, com direção aproximada de N70E. Em direção ao sul, este lineamento, que quase tangencia o maciço alcalino de Passa Quatro, é interrompido ao seccionar a Falha de Pinheiros, reaparecendo após ultrapassar os domínios dos falhamentos normais, já fora da área estudada, e estendendo-se até as proximidades de Caraguatatuba, no litoral norte do Estado de São Paulo. Ao norte do Vale do Paraíba este lineamento forma, em conjunto com vários outros mais ocidentais e fora da área estudada, um sistema de lineamentos radiais. Correspondem, provavelmente, a falhamentos anteriores à implantação de transcorrência ENE do sudeste brasileiro.

### 3.3 - TECTÔNICA

Na região do Complexo Alcalino de Itatiaia estão representadas três importantes unidades do contexto tectônico do sudeste brasileiro: Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul (Almeida et alii, 1973), Região de Dobramentos Sudeste (Hasui et alii, 1978a) e as feições rupeturais componentes da Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975).

Ebert (1957, 1968) considerou uma faixa de dobramentos, meridional ao Craton São Francisco, composta pelos grupos Paraíba, Andrelândia e São João del Rei, que representariam suas zonas interna, intermediária e externa, respectivamente, e cujo metamorfismo seria de crescente nesse sentido. Almeida et alii (1973), com base em datações geocronológicas, preferiram enquadrar o Grupo Paraíba na Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul, colocando o Grupo Andrelândia como extensão do Grupo Araxá, e o Grupo São João del Rei como um prolongamento da Faixa de Dobramento Brasília.

Mais ao sul da Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul assentam-se os domínios da Região de Dobramentos Sudeste, outrora denominada Faixa de Dobramentos Ribeira (Hasui et alii, 1975), de idade brasi

liana, representada no leste paulista pelo Grupo Açunguã, do Sistema de Dobramentos Apiaí.

Almeida et alii (Hasui et alii, 1978d) elaboraram o esquema das províncias estruturais. Na região ao sul do Craton São Francisco dá-se o encontro de duas dessas províncias: a Tocantins, ausente na área deste projeto, e a Mantiqueira, subdividida por Hasui et alii (1978d) nas subprovíncias Serra do Mar e Rio Doce.

A subprovíncia Rio Doce é formada pelos grupos Paraíba e Barbacena, este último ausente na área aqui estudada, e pelas rochas graníticas a eles associadas. O Grupo Paraíba tem idade em torno dos 2000 m.a (Ciclo Transamazônico), tendo sido afetado polifásica e mesmo policíclicamente por eventos de deformação, migmatização e granitização durante o Ciclo Brasileiro. Os granitóides sin-tectônicos se formaram por volta de 620 m.a., enquanto os granitos intrusivos e pegmatitos apresentam idades de 540 a 460 m.a., respectivamente (Hasui et alii, 1978d).

A subprovíncia Serra do Mar é constituída pelos grupos Açunguã e São Roque e pelo Maciço Mediano de Joinvile, dos quais apenas o primeiro é de interesse neste trabalho. O Grupo Açunguã é formado por rochas brasileiras afetadas por intensivos dobramentos, gerados em pelo menos duas fases de deformação, e cuja vergência não se define com clareza (Hasui et alii, 1978c). O magmatismo associado aos grupos Açunguã e São Roque, pré-tectônico e de caráter básico, foi bastante pobre; sin-tectônica e pós-tectonicamente (600 e 540 m.a., respectivamente) ocorreram eventos magmáticos ácidos, sendo os sin-tectônicos os únicos de potência considerável (Hasui et alii, 1978d).



Hasui et alii (1969) insistiram na importância da estrutura em blocos, gerada pelas extensas falhas transcorrentes do leste paulista. Estas falhas, datadas do Pré-cambriano ao Cambro-ordoviciano, são pertinentes à Faixa Rúptil Paraíba (Braun, 1972) ou Zona de Transcórrencia São Paulo (Hasui et alii, 1975). Embora algumas delas sejam muito antigas, vieram a ter grande atividade no final do Pré-cambriano, truncando as rochas brasileiras recém-constituídas (Hasui et alii, 1978d). Esses falhamentos são consideravelmente profundos e seus movimentos, por não terem sido perfeitamente horizontais, provocaram desnivelamento dos blocos. Este fato, aliado ao atual nível da erosão, causa grandes dificuldades em correlações estratigráficas (Hasui et alii, 1978c).

A partir do Jurássico Superior iniciou-se a Reativação Wealdeniara (Almeida, 1967), marcada por considerável atividade de soerguimento. As primeiras manifestações magmáticas desse tempo tiveram caráter ultrabásico a intermediário, desenvolvendo-se do Jurássico Superior ao Eo-cretáceo. Do Cretáceo Superior ao Paleoceno, ocorreram os eventos magmáticos alcalinos, primeiramente no litoral, migrando a seguir para o interior. Todas as atividades magmáticas citadas estão aparentemente relacionadas a falhamentos normais, a maioria dos quais gerados pela reativação de falhas transcorrentes mais antigas (Hasui et alii, 1978c). A partir do Oligoceno toda a região esteve sujeita ao arqueamento da Superfície de Erosão Japi (Almeida, 1976), anteriormente instalada. No eixo desse arqueamento abateram-se, por falhamentos normais, os blocos que formaram o Graben do Paraíba, entre o Horst da Serra do Mar e o Hemi-horst da Mantiqueira, e sobre o qual iniciou-se a deposição dos sedimentos terciários das bacias de Taubatê e de Resende.

Resumindo, a evolução geológica da área estudada pode ser apresentada conforma mostra a Tabela 3.1.

TABELA 3.1

ESQUEMA DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

EVENTO	IDADE	CICLO	CARACTERÍSTICAS
METAMORFISMO DO GRUPO PARAÍBA	PRÉ-CAMBRIANO MÉDIO	TRANSAMAZÔNICO	METAMORFISMO E MAGMATISMO POLIFÁSICOS
EROSÃO	PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR		PROFUNDA
SUBSIÊNCIA	PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR		
METAMORFISMO DO GRUPO AÇUGUI	PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR	BRASILIANO	METAMORFISMO POLIFÁSICO
ZONA DE TRANSCORRÊNCIA SÃO PAULO	FIN DO PRÉ-CAMBRIANO /CAMBRO-ORDOVICIANO		FALHAMENTOS TRANSCORRENTES PROFUNDOS DE DIREÇÃO ENE
CONSOLIDAÇÃO	CAMBRO-ORDOVICIANO		
MAGMATISMO ULTRABÁSICO A INTERMEDIÁRIO	JURÁSSICO SUPERIOR /CRETÁCEO INFERIOR	REATIVAÇÃO WEALDENIANA	ASSOCIAÇÃO COM FALHAS ANTIGAS
MAGMATISMO ALCALINO	CRETÁCEO SUPERIOR PALEOCENO	REATIVAÇÃO WEALDENIANA	ASSOCIAÇÃO COM FALHAS ANTIGAS
ARQUEAMENTO DA SUPERFÍCIE DE EROSAO JAPI	OLIGOCENO	REATIVAÇÃO WEALDENIANA	
FALHAMENTOS NORMAIS	OLIGOCENO	REATIVAÇÃO WEALDENIANA	GERAM O GRABEN DO PARAÍBA, O HORST DA SERRA DO MAR, O HEM-HORST DA MANTIQUEIRA E DEFINEM A MORFOGÊNESE

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 - GENERALIDADES

Neste capítulo, sintetiza-se os resultados alcançados durante o desenrolar desta pesquisa, incluindo uma descrição das características fotogeológicas de cada uma das unidades estratigráficas mapeadas, quando observadas em imagens LANDSAT e de radar.

Entre os resultados, incluem-se não somente os relacionados com os aspectos geológicos em si, mas também com aqueles afetos aos trabalhos de processamento automático e com os fisiográficos em geral.

#### 4.2 - CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DA ÁREA

Entre os aspectos fisiográficos, os grandes domínios geomorfológicos são os que se expressam com maior clareza nas imagens. A distinção entre esses domínios é nítida, podendo-se notar um acentuado desnível entre o Planalto Sul de Minas e o Vale do Paraíba, topograficamente mais baixo, sendo que entre eles se localiza a Serra da Mantiqueira.

O Vale do Paraíba mostra uma textura mais fina e homogênea, em comparação com o Planalto Sul de Minas, ao qual o entalhamento mais acentuado do relevo confere uma textura bastante grosseira.

A Serra da Mantiqueira, por sua vez, é marcada pela presença de acentuadas escarpas, sobre as quais se instala exuberante vegetação, conferindo-lhe, no canal 5 do MSS-LANDSAT, uma tonalidade fotográfica cinza-escura, contrastante com a das áreas adjacentes.

A contribuição mais significativa desta pesquisa, contudo, diz respeito ao mapeamento geológico, efetuado por fotointerpretação de imagens MSS-LANDSAT e de radar, apoiada em informações bibliográficas e, principalmente, em dados obtidos em campo.

Os resultados conseguidos neste mapeamento foram considerados satisfatórios, inclusive no âmbito estrutural, tendo sido identificado grande número de estruturas lineares. Algumas delas mostraram-se total ou parcialmente coincidentes com estruturas citadas na bibliografia consultada, enquanto outras, principalmente no sul de Minas Gerais, não apresentaram correspondência com a literatura.

Sobre os domínios do Grupo Acunguã, foram detectados dois sistemas principais de lineamento. O mais possante deles, de direção geral ENE, relaciona-se com os falhamentos normais ou transcorrentes que constituem o arcabouço tectônico do leste paulista. O outro sistema tem direções em torno de NNW e relaciona-se à ocorrência de juntas. Sobre o Grupo Paraíba esta situação se altera totalmente, não se observando qualquer direcionamento preferencial para os lineamentos, conforme pode-se observar no Mapa Geológico (Apêndice A).

Entre as estruturas lineares identificadas e não relacionadas na literatura anterior, merecem destaque os dois falhamentos de direção NNE que cortam as rochas do Grupo Paraíba, um que passa pela cidade de Passa Quatro e outro que passa pelas proximidades de Maromba. Estes falhamentos, marcados em campo pela presença de xistos e cataclastos, delimitam a grosso modo a área que contém os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro e a soleira de Queluz, e parecem condicionar um possível alto estrutural. Ao atingir a Zona de Transcorrência São Paulo, estas falhas perdem sua continuidade, passando a ter um aspecto fragmentário, fato este que evidencia maior antiguidade em relação aos falhamentos da zona de transcorrência.

Pode ser observada ainda, com bastante clareza, a afetação exercida pela Falha de Queluz sobre os depósitos coluviais ao sul do Maciço Alcalino de Itatiaia, fenômeno este não referido na literatura.

Em termos de individualização das unidades estratigráficas que ocorrem na área, pode-se afirmar que a maioria delas foi prontamente identificada por fotointerpretação, e seus contactos demarcados com grande precisão. Nos casos em que os limites entre as unidades mostraram-se indistintos nas imagens, os dados obtidos durante os trabalhos de campo foram suficientes para resolver os problemas de cartografia dessas unidades. Este foi o caso dos limites entre os grupos Paraíba e Açunguã, cujos contactos, na área estudada, estão profundamente mascarados pelo tectonismo que gerou acentuado escarpamento da Serra da Mantiqueira e pelo modelado do relevo instalado posteriormente. Contudo, dados de campo esclarecem que tais contatos se condicionam pelos falhamentos normais de Pinheiros, Cruzeiro e Queluz, bastante nítidos em imagens MSS-LANDSAT e de radar.

Dentro da área desta pesquisa, pode ser observado nas imagens e comprovado em campo que os domínios do Grupo Açunguã estendem-se por toda a porção meridional do quadrilátero estudado, incluindo terras do Estado do Rio de Janeiro. Os vários perfis executados em campo (Rodrigues, 1980) evidenciam a presença de migmatitos simples, em geral estromatíticos, semelhantes aos que constituem o Grupo Açunguã nas proximidades da cidade de São José dos Campos (Hassui et alii, 1978c). Em imagens MSS-LANDSAT e de radar, a persistência de tal unidade para além dos limites do Estado de São Paulo é sugerida pela similaridade que se observa em relação ao padrão textural desses terrenos, sobre os quais é marcante o condicionamento das feições do relevo às estruturas, tais como falhas e sistemas de juntas.

Entre as rochas granitoides, foram identificados quatro corpos, um dos quais referido na bibliografia consultada. Em geral seus contatos mostraram-se de difícil mapeamento, tendo sido necessária a

utilização de informações de campo para se conseguir sua individualização. Ocasionalmente esses contados se fazem condicionados a falhamentos, marcados em campo pela presença de xistos e relacionados em imagens a lineamentos fotogeológicos conspícuos.

Os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, por suas características morfológicas próprias, puderam ser cartografados com bastante precisão. Contudo, os grupos litológicos que compõem esses corpos (Ribeiro Filho, 1967) não se individualizam nas imagens, mesmo com apoio de verdade terrestre. O mapeamento efetuado revelou, para os maciços, áreas distintas daquelas referenciadas na bibliografia. Assim, o Maciço de Passa Quatro, com 212 km<sup>2</sup>, revelou-se maior, em área, que o de Itatiaia (191 km<sup>2</sup>), apesar deste ser o mais estudado dos dois. Alguns falhamentos do embasamento pré-cambriano tiveram sua continuidade observada sobre os corpos alcalinos, indicando que eles tiveram atividade em tempos mais recentes, ou seja, após a instalação do maciço.

As características fotogeológicas próprias dos depósitos sedimentares, principalmente o aspecto de seu relevo e sua textura, tornam bastante simplificada a sua individualização em imagens MSS-LANDSAT e de radar.

Assim, os limites das bacias sedimentares de Taubaté e Resende foram assinalados com clareza e mostraram-se, em grande parte de sua extensão, coincidentes com os dados bibliográficos disponíveis. A presença de falhamentos condicionando a borda norte dessas bacias é facilmente observável nas imagens; são as falhas de Cruzeiro e Queluz, formando, respectivamente, as bordas setentrionais das bacias de Taubaté e de Resende.

Ao sopé das encostas alcalinas foram identificadas grandes áreas de depósitos coluviais, interessantes para a pesquisa de infiltrações bauxíticas. Embora esses depósitos ocupem quase todo o perímetro dos maciços, só é possível o mapeamento dos mais possantes deles, uma vez que os demais constituem pequenas formações, não-individualizáveis na escala deste trabalho.

O maior desses depósitos de tálus situa-se ao sul do Maciço Alcalino de Itatiaia e tem sido considerado de idade quaternária na literatura. Neste trabalho, contudo, a idade de tal depósito foi antecipada para o terciário, por motivos citados no item 7 da Seção 3.1.2.

#### 4.3 - COMPORTAMENTO FOTOGEOLOGICO DAS UNIDADES

Dentro da área de estudo, as unidades estratigráficas são tão marcadas por uma profunda diferenciação fotogeológica quanto aos seus padrões texturais e estruturais, posicionamento topográfico e formas de relevo.

A drenagem, embora diretamente afeta aos aspectos do relevo, não reflete esse condicionamento de forma a permitir sua utilização como um critério de fotointerpretação. A observação do mapa de drenagem mostra que as mudanças de comportamento são localizadas e não características de toda uma unidade estratigráfica.

A tonalidade fotográfica apresenta-se comprometida pela alteração exercida por atividades agro-pastoris sobre a vegetação original. Assim, a tonalidade não deve ser encarada senão de maneira sinótica, quando constituir reflexo de condições morfológicas.

Deste modo, pode-se afirmar que, pela importância dos vários critérios fotointerpretativos, os canais 6 e 7 do MSS-LANDSAT e o mosaico de radar foram os mais informativos para esta área.

##### 4.3.1 - GRUPO PARAÍBA

Este grupo destaca-se nas imagens LANDSAT e no mosaico de radar por sua textura mais grosseira que a do restante da área estudada e por ocupar um posicionamento topográfico de nível mais elevado.

Seus vales mostram extrema variação de comprimento, apresentando-se com frequência curvos e aprofundados, e formando extensas depressões, no fundo das quais instala-se uma vegetação mais densa, em

contraste com o restante da área. As cristas, a exemplo dos vales, têm extensão muito variada e direcionamento caótico, não refletindo qualquer condicionamento com sistemas de juntas.

Quanto aos lineamento fotogeológicos instalados sobre esta unidade, percebe-se com clareza que não obedecem a padrões preferenciais, distribuindo-se caoticamente por toda sua extensão dentro da área estudada.

Com respeito à tonalidade fotográfica, aqui considerada de forma apenas sinótica, pode-se afirmar que ela se apresenta com predominância dos tons cinza-claro, no canal 6 do MSS-LANDSAT. Este fato se deve às grandes amplitudes das encostas, as quais expõem em maior extensão as encostas iluminadas (Figura 4.1).

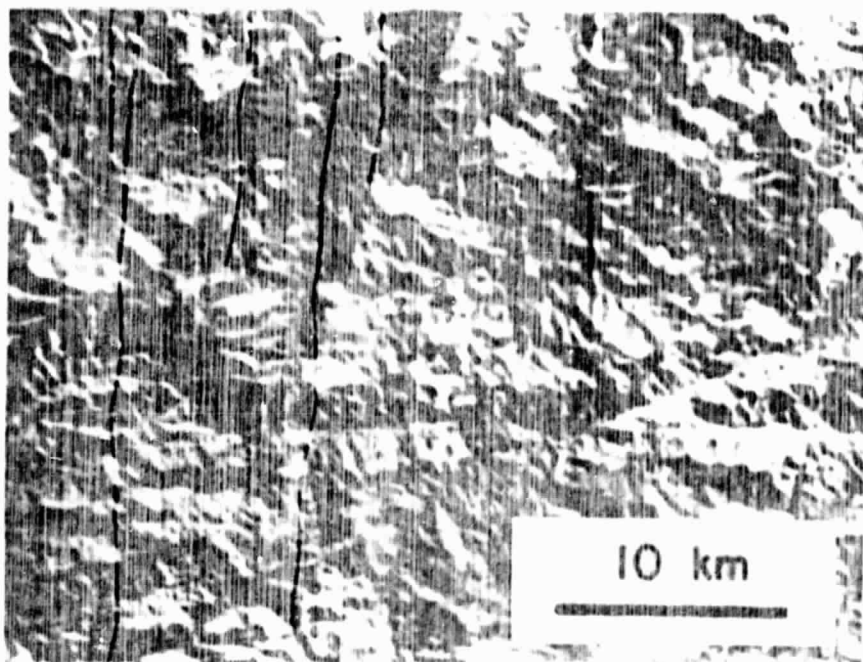


Fig. 4.1 - Aspecto tonal e textural dos domínios do Grupo Paraíba, no canal 6 do MSS-LANDSAT.



#### 4.3.2 - GRUPO AÇUNGUÍ

Se comparada ao Grupo Paraíba, esta unidade apresenta uma textura mais fina e mais homogênea, e um nível topográfico inferior, constituindo a base do Vale do Paraíba, ao sul das escarpas da Serra da Mantiqueira.

Seus vales e cristas são pouco destacados e obedecem a orientações nítidas, segundo duas direções preferenciais. Os mais longos orientam-se para NE e os mais curtos para NW. Uma de suas características é a notável homogeneidade no comprimento dos vales e cristas orientadas para NW, o que confere ao conjunto uma textura mosqueada.

Sob o ponto de vista estrutural, o Grupo Açunguá exibe grande regularidade no direcionamento de seus lineamentos fotogeológicos, mostrando acentuada tendência às direções ENE, com sistemas menores e menos expressivos dirigidos para NW.

A pequena amplitude das cristas impede a exposição de grandes extensões de encostas iluminadas, imprimindo ao Grupo Açunguá uma tonalidade fotográfica cinza-médio, no canal 6 do MSS-LANDSAT (Figura 4.2).

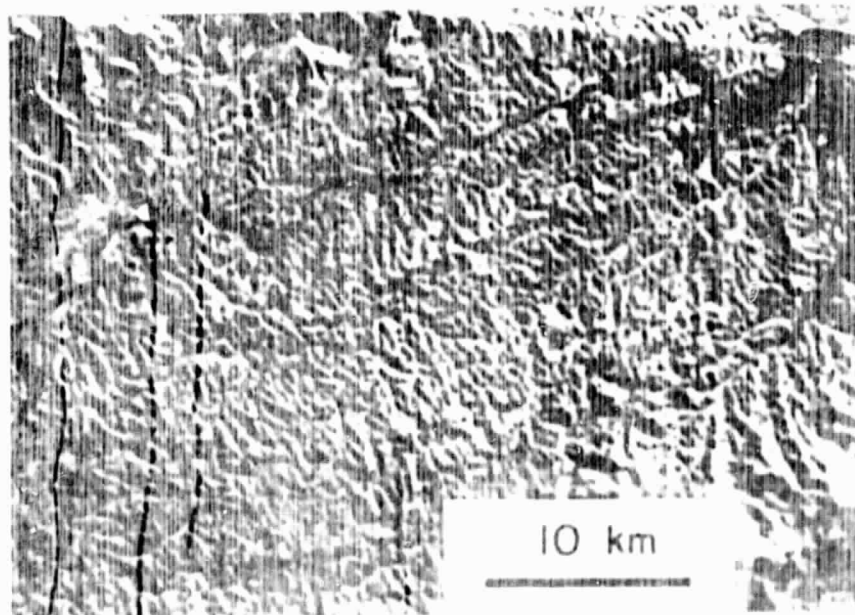


Fig. 4.2 - Aspecto tonal e textural do Grupo Açunguá no canal 6 do MSS-LANDSAT.

#### 4.3.3 - ROCHAS GRANITÓIDES

Estas rochas mostram grande similaridade fotogeológica com suas encaixantes, não sendo viável a fixação de critérios específicos para sua definição. Fatores como um tênue realce topográfico ou um suave arredondamento de suas cartas tiveram de ser utilizados, apesar de serem eventuais, não muito claros e de certa forma subjetivos.

#### 4.3.4 - ROCHAS ALCALINAS

Os corpos alcalinos aparecem com muito destaque em imagens LANDSAT e de radar, tendo como principal característica o seu realce topográfico, que os coloca em nível consideravelmente superior a dos terrenos adjacentes (Figura 4.3).

O maciço de Passa Quatro é marcado por sua forma nitidamente circular, com bordas muito escarpadas, condicionando uma drenagem grosseiramente radial.

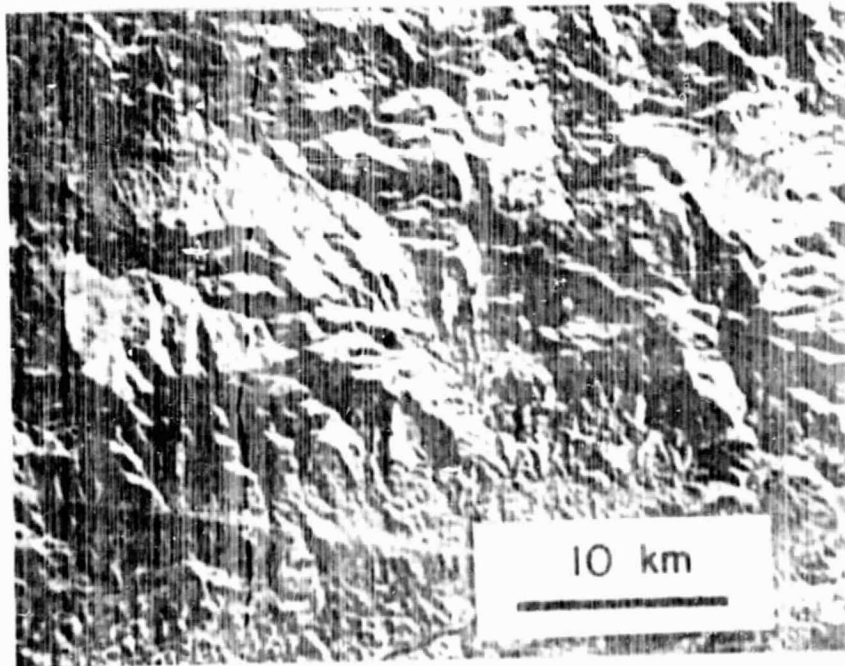


Fig. 4.3 - Aspecto fotogeológico dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro.

- Notar seu escarpamento e seu destaque acentuado na topografia. Foto obtida a partir do canal 6 do MSS-LANDSAT.

O corpo de Itatiaia apresenta-se em forma de elipse alongada segundo NW, com bordas também abruptas. A drenagem instalada sobre este maciço mostra um padrão grosseiramente radial, com tendências ocasionais ao anelar, sendo resultado do condicionamento dos cursos d'água pelos diques anelares de seu topo.

A tonalidade fotográfica das rochas alcalinas se confunde com a do Grupo Paraíba, por ser em ambos os casos gerada pela exposição de amplas áreas de encostas iluminadas. Embora a vegetação seja densa e primitiva sobre os maciços alcalinos, seu reflexo na tonalidade fotográfica não deve ser levado em conta como critério de fotointerpretação. Isto porque essas matas extrapolam os limites dos corpos alcalinos, estendendo-se a domínios de outras litologias.

#### 4.3.5 - BACIAS SEDIMENTARES

Nas imagens dos canais 6 e 7 do MSS-LANDSAT e no mosaico de radar, as bacias sedimentares de Taubaté e Resende apresentam-se de forma bastante nítida, sendo o aspecto de seu relevo a sua característica mais acentuada.

Nos canais 6 e 7 do LANDSAT esses terrenos exibem textura lisa, em contraste com as das regiões pré-cambrianas das adjacências. No mosaico de radar, percebe-se, pela melhor resolução do sistema, que essa textura é um pouco mais rugosa que a mostrada pelos sensores do LANDSAT, em virtude do raso entalhamento provocado pela drenagem.

O relevo das bacias sedimentares, conforme observado no mosaico de radar, é bastante plano, entrecortado por vales estreitos, sinuosos e rásos. As saliências resultantes desse entalhe formam, em geral, morros amplos e arredondados. (Figura 4.4).

Nos trechos onde ocorre sobre estas bacias, o Rio Paraíba do Sul, cumpre um traçado mais sinuoso do que sobre as rochas do Grupo Acunguã. Este fato é devido ao condicionamento do rio aos elementos estruturais das rochas pré-cambrianas, principalmente as falhas e os sistemas de juntas.

Uma característica importante dessas bacias é a total ausência de lineamentos fotogeológicos instalados sobre elas e que possam ser observados em imagens orbitais ou de radar.

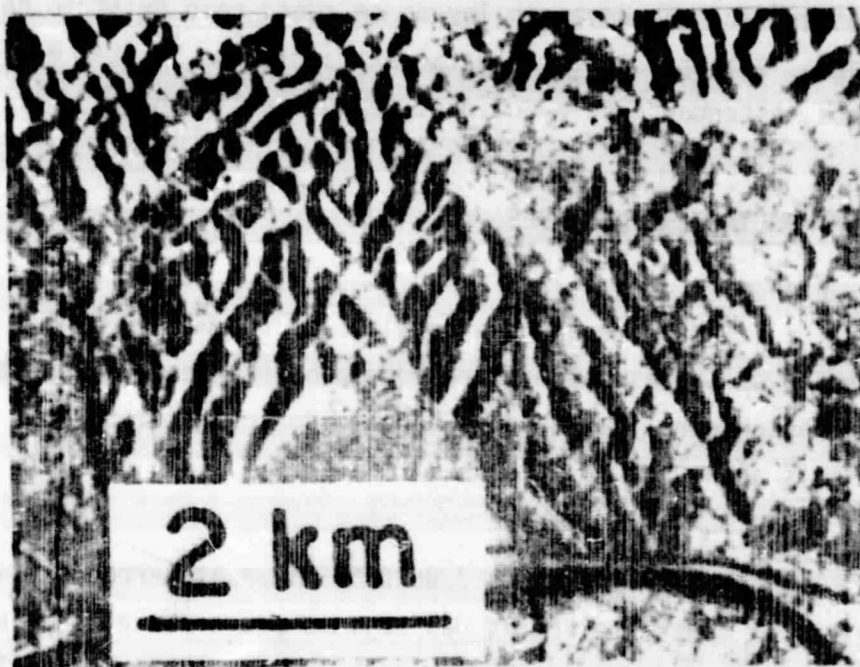


Fig. 4.4 - Padrão do relevo das bacias sedimentares de Taubaté e Resende.

- Foto obtida a partir do mosaico de radar.

#### 4.3.6 - TÁLUS TERCIÁRIOS

Os aspectos fotogeológicos mais marcantes destes depósitos dizem respeito à sua forma e ao seu destaque topográfico.

Situados ao sul do maciço alcalino de Itatiaia, os tálus terciários forma três grande morros arredondados em forma de cúpulas, salientes em relação à sua circunvizinhança. Sua superfície apresenta-se radialmente entalhada pela evolução do ravinamento, assumindo uma textura média, observável sobretudo no mosaico de radar (Figura 4.5).

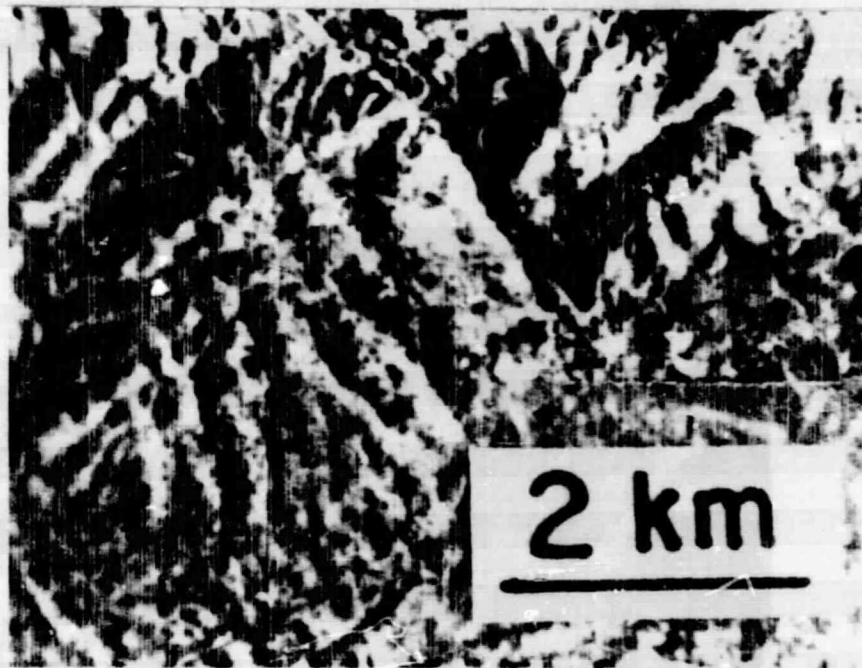


Fig. 4.5 - Textura dos depósitos de tálus ao sul do maciço de Itatiaia.

- Foto obtida a partir do mosaico de radar.

#### 4.3.7 - TÁLUS QUATERNÁRIOS

A característica mais notável destes depósitos é o seu posicionamento ao sopé dos declives mais expressivos, já que o seu aspecto apresenta consideráveis variações entre cada uma de suas áreas de ocorrência.

Ao sul do maciço de Passa Quatro, os tálus quaternários exibem relevo plano, recortado pelo ravinamento, adquirindo assim uma textura fina, quando observados em mosaico de radar (Figura 4.6). Sua tonalidade fotográfica no canal 6 do MSS-LANDSAT é cinza-média.

Ao norte e nordeste desse maciço, a textura dos tálus torna-se mais grosseira, sendo resultado do intenso entalhamento pela atividade da erosão.

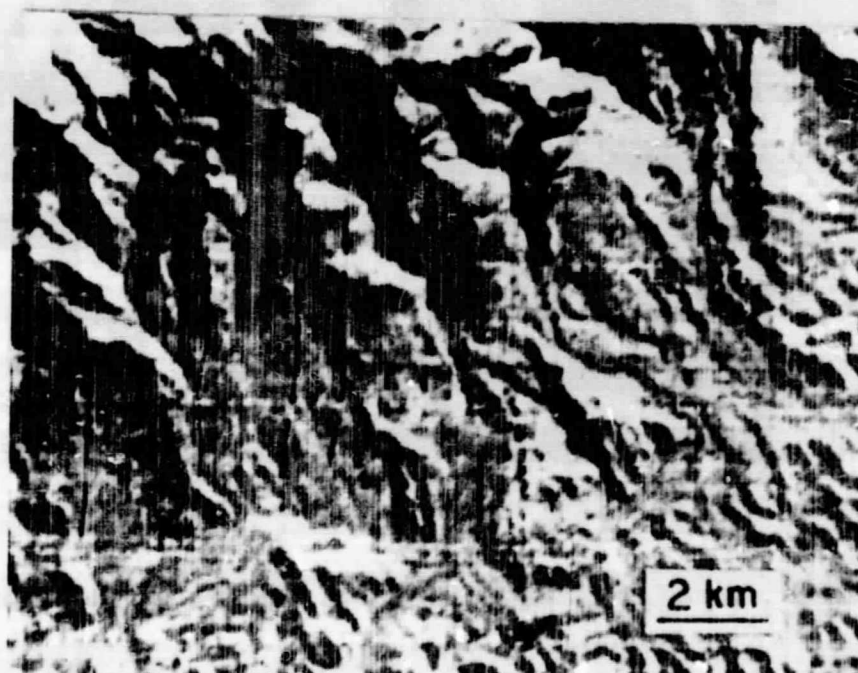


Fig. 4.6 - Aspecto dos depósitos de tálus ao sul do Maciço de Passa Quatro.

- Foto obtida a partir do canal 6 do MSS-LANDSAT.

À volta do Maciço de Itatiaia, os tálus apresentam-se texturalmente semelhantes aos do sul do corpo de Passa Quatro, assumindo, porém, uma tonalidade fotográfica cinza-clara no canal 6 do MSS-LANDSAT.

#### 4.3.8 - ALUVIÕES

Situados ao longo dos rios mais expressivos, os aluviões caracterizam-se por seu relevo totalmente plano e sua textura lisa. Estes são mais facilmente identificáveis no mosaico de radar, onde se destacam das áreas adjacentes, inclusive sedimentares terciárias, que apresentam relevo mais acentuado.

#### 4.4 - PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO

Durante esta etapa de trabalho deu-se enfoque a três pontos principais: pré-processamento, classificação automática e realce dos aspectos visuais da imagem, com o objetivo de testar a eficiência do sistema, quando aplicado a uma região de contexto geológico complexo.

Utilizaram-se os programas específicos para cada caso, tendo sido introduzidas, quando possível, variações em seus parâmetros de processamento, na tentativa de se estabelecerem os melhores valores a serem aplicados.

##### 4.4.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

Considerando-se a diferença de acidez provavelmente alta entre os solos formados sobre os maciços alcalinos e os formados sobre o embasamento pré-cambriano, e a preservação da cobertura vegetal original em alguns pontos dessas áreas, procurou-se inicialmente verificar o condicionamento dessa vegetação às variações da litologia. Este fato, se fosse comprovado positivamente, permitiria, com aplicação de técnicas de classificação automática, definir de modo relativamente preciso os limites dos maciços alcalinos e os seus depósitos coluviais.

Procurou-se, então, promover o realce das área com matas e analisar visualmente os resultados obtidos. Os melhores resultados foram os obtidos através da utilização do SCALING do canal 5, multiplicando-se os tons de cinza por  $2^1$ .

O resultado desse processamento, com os filtros verde e azul, foi lançado numa composição a cores com o canal 6 original sob o filtro vermelho (Figura 4.7). Tornou-se bastante evidente que a vegetação, ainda que primitiva, não se condiciona às variações litológicas, dispensando quaisquer procedimentos posteriores de classificação automática.

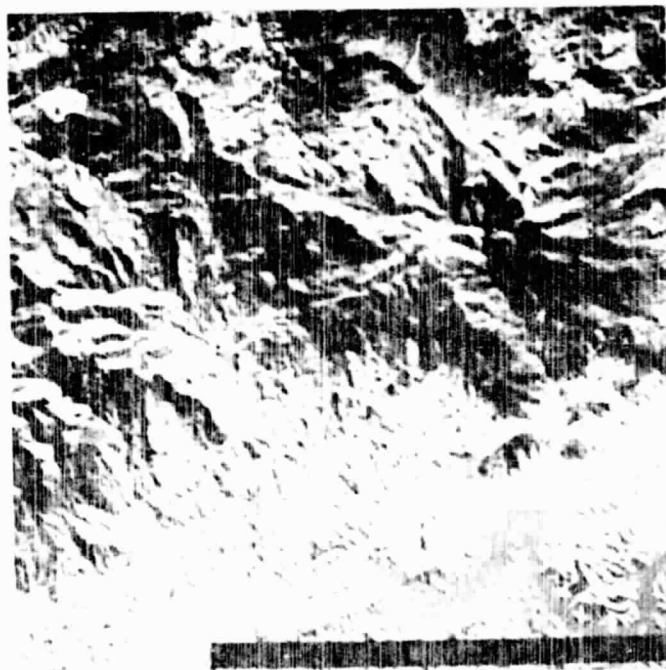


Fig. 4.7 - Composição entre o SCALING do canal 5 ( $\times 2$ ) e o canal 6 original

- Realce da vegetação (vermelho), mostrando seu não-condicionamento litológico.



Um caso em que o uso de pré-processamento mostrou-se útil foi quanto à tentativa de se realçar os depósitos de tálus ao sul do Maciço de Itatiaia, para observação da real afetação desses corpos pela Falha de Queluz. Vários programas foram testados, incluindo filtragens digitais, e o que melhores resultados ofereceu foi CONTRAST STRETCH e suas composições.

Sobre a ampliação da área de interesse para a escala 1:75.000 executou-se o CONTRAST STRETCH dos canais 5 e 7. Fez-se então a composição desses resultados, atribuindo-se filtros verde e azul para o canal 7 e vermelho para o 5. A presença do falhamento sobre os tálus e sua continuidade para ambos os lados desses depósitos mostraram-se bastante realçados em relação à imagem original (Figura 4.8).



Fig. 4.8 - Composição entre os Contrast Stretch's dos canais 5 e 7.

- Notar o realce da falha de Queluz (cortando diagonalmente a cena) e a afetação por ela exercida sobre os depósitos de tálus (no centro da foto).

#### 4.4.2 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

A maior preocupação durante esta etapa de processamento automático esteve voltada para a tentativa de individualizar os depósitos de tálus das encostas alcalinas. Porém concluiu-se que na maior parte das vezes era difícil classificar os depósitos de tálus isoladamente, sendo viável, contudo, sua definição em conjunto com outras unidades sedimentares (bacias sedimentares e aluviões quaternários).

Numa primeira aproximação foi utilizado o programa SLICER sobre uma ampliação de 1:000.000 do canal 7 centralizada sobre o maciço de Passa Quatro. Essa classificação enquadrou os depósitos coluviais em uma das classes geradas, mas os resultados não foram totalmente satisfatórios, uma vez que foram incluídas nessa classe algumas áreas seguramente indesejáveis. (Figura 4.9).



Fig. 4.9 - Composição entre os temas 1, 2, 4 e 5 do Slicer do canal 7 e os canais 5 e 7.

- Em amarelo, os depósitos sedimentares e as áreas classificadas indesejavelmente.

Num segundo passo, o canal 7 foi submetido a uma filtragem digital com MD5FIL (B=2 e C=40). Em seguida, foi novamente aplicado o SLICER e seu resultado lançado, em composição, sobre o canal 7 original. A extensão das áreas indesejadas incluídas na classe dos colúvios mostrou-se bastante diminuída, passando a se concentrar em torno do Maciço de Passa Quatro (Figura 4.10).

Outro programa de classificação automática foi o MAXVER, para o qual foram utilizados os 4 canais do MSS-LANDSAT. Definiram-se 3 classes: Tálus (T), Aluvião (A) e Vegetação (V), sendo criadas inicialmente 3 amostras para cada uma delas. Numa primeira classificação, notou-se que na classe Tálus foram incluídas muitas áreas seguramente indesejadas. Estas áreas foram amostradas, tendo sido criadas classes independentes, T1 e T2, as quais foram subtraídas da classes Tálus. Como resultado, obteve-se uma considerável redução das áreas indesejadas. Algumas dessas áreas mantiveram-se dentro da primeira classificação, o que desaconselha qualquer tentativa adicional de excluir essas áreas da classe Tálus (Figura 4.11).

Tomando-se uma área mais ampla, investigou-se a possibilibilidade de obter, por meio de classificação automática, a individualização dos vários depósitos sedimentares da região, como um conjunto.

Os melhores resultados foram conseguidos por uma composição entre classificações individuais através de SINGLE-CELL e SLICER.

Primeiramente foram filtrados os canais 5 e 7, com MD5FIL, com B = -1 e G = 45. Aplicou-se o programa SINGLE-CELL ao resultado dessa filtragem, tomando-se como área de treinamento uma área composta seguramente por terrenos sedimentares. Foram classificadas neste processo um número acentuado de áreas indesejadas. Sobre essa classificação foi lançado, em composição, o tema 1 do SLICER do canal 7 original. A maior parte das áreas anteriormente classificadas como indesejáveis foi então recoberta pelo tema do SLICER, tendo sido individualizado o conjunto dos depósitos sedimentares (Figura 4.12).

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.10 - Slicer do canal 7 filtrado com MD5FIL, em composição com o canal 7 original.

- Em azul, as áreas sedimentares (com grande erro de inclusão).

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.11 - MAXVER dos 4 canais do MSS-LANDSAT.

- Verde: tãlus; azul: aluviões; rosa + vermelho: ve  
getação. O erro de inclusão está sensivelmente re  
duzido, em relação à Figura 4.10.

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH

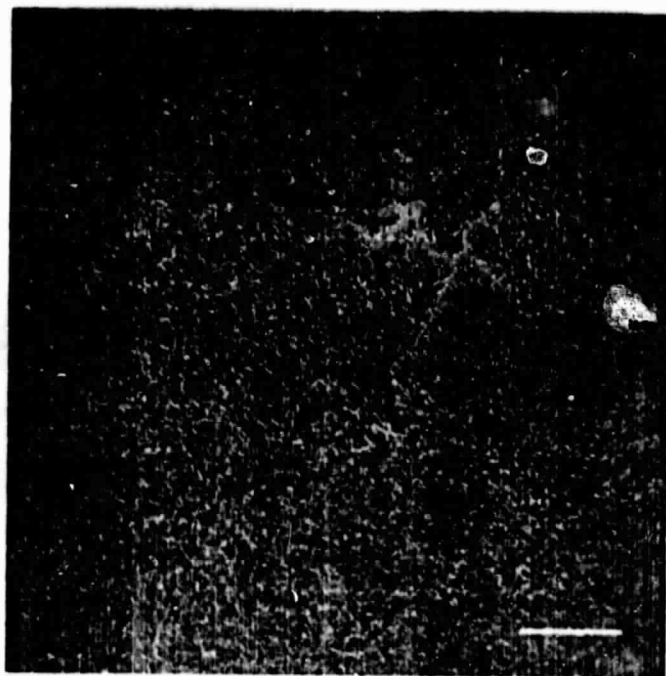


Fig. 4.12 - Composição entre Single-cell dos canais 5 e 7  
e o tema 1 de Slicer do canal 7 original.  
- Em verde, as áreas sedimentares, às quais se  
somam áreas indesejáveis.

#### 4.4.3 - FILTRAGENS DIGITAIS

Em geologia, o principal objetivo das filtrações digitais é gerar realces dos lineamentos fotogeológicos, conforme apresentado na Seção 2.2.3.

Neste trabalho, testou-se a eficiência desse processo, tendo sido utilizados, para tanto, todos os filtros digitais disponíveis atualmente e verificado o efeito da variação dos pesos para cada um deles em particular.

A primeira das filtragens executadas foi como Filtro Mediano sobre o canal 7. Este, embora não seja um filtro específico para realces lineares, favoreceu de modo marcante a visualização de um grande lineamento com direção NS, a oeste da represa do Funil, não detectável com clareza na imagem original (Figura 4.13).

Sobre essa primeira filtragem foram lançados, individualmente, os filtros MD5FIL e do tipo III, este com realce isotrópico. O primeiro filtro teve como pesos mais favoráveis  $B = -1$  e  $C = 30$ , apresentando grande destaque nas estruturas que cortam o maciço de Itatiaia (Figura 4.14); o segundo foi aplicado com pesos  $A = 1$ ,  $B = -2$ ,  $C = 30$  e  $D = 0$ . Deste, resultaram realces de alguns lineamentos com direção NW, situados principalmente ao sul do Rio Paraíba, além do grande lineamento NE que passa pela borda ocidental do Maciço de Passa Quatro. Percebe-se também um pronunciado aumento no contraste tonal entre as áreas sedimentares e o seu embasamento (Figura 4.15).



Fig. 4.13 - Filtro mediano sobre o canal 7.

- Realce do lineamento de direção N-S a oeste da Represa do Funil.

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.14 - Filtro MD5FIL sobre o canal 7 com Filtro Media no.

- Destacadas as estruturas sobre o Maciço de Itatiaia.



ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.15 - Filtro do tipo III sobre o canal 6 com filtro me-  
diano.

- Realce de lineamento NW ao sul do Rio Paraíba e do lineamento NE sobre a cidade de Passa Quatro. Aumento no contraste tonal entre as áreas sedimentares e seu embasamento.

A aplicação do MD5FIL sobre o canal 7 normal apresentou resultados semelhantes aos de sua aplicação acima descrita, mostrando contudo, maior clareza dos detalhes e melhor definição dos lineamentos (Figura 4.16).

Os melhores resultados obtidos no realce dos lineamentos fotogeológicos desta região foram relacionados à aplicação dos filtros digitais dos tipos I e II sobre o canal 6. Em ambos os casos foram tados vários conjuntos de pesos, tendo sido alcançados resultados de qualidade variável. O maior enfoque foi dado à investigação dos lineamentos com direção NW, uma vez que os direcionados para NE já são suficientemente claros na imagem original.



Fig. 4.16 - Filtro MD5FIL sobre o canal 7.

- Maior clareza de detalhes em relação à Figura 4.14.

C-2

O primeiro processamento com filtro do tipo I foi feito com pesos  $A=0$ ,  $B=-1$ ,  $C=15$  e  $D=0$ , resultando em realce de estruturas NW nas imediações da cidade de Cruzeiro, em particular, e ao sul do Rio Paraíba, de um modo geral (Figura 4.17).

A mudança dos pesos dessa filtragem para  $A=0$ ,  $B=-2$ ,  $C=15$  e  $D=0$  causou um realce levemente maior, e permitiu a identificação de outros lineamentos situados ao sul dos maciços alcalinos e a norte e nordeste do Maciço de Passa Quatro (Figura 4.18).

O filtro do tipo II, com pesos de  $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=15$  e  $D=0$  gerou nítido realce das estruturas NW e NE sobre as rochas do grupo Açunguã, na parte sul da área estudada (Figura 4.19).

A alteração desses pesos, para  $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=12$  e  $D=0$  evidenciou, de modo bastante claro, a continuidade, por sobre o maciço de Itatiaia, do falhamento que condiciona a borda norte do depósito de tálus e leste desse maciço (Figura 4.20).

Numa etapa seguinte foi efetuada a superposição de filtragens semelhantes, para que fossem avaliados os efeitos de realce diante de tal procedimento. Na maioria das vezes o resultado conseguido mostrou má qualidade, devido principalmente à saturação no contraste da cena.

Realizaram-se sucessivas filtragens, duplas e até triplos, sendo que as únicas a mostrar bons resultados foram as relativas ao filtro do tipo II sobre o canal 6, com pesos de  $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=15$  e  $D=0$  (realce NS).

A filtragem dupla, neste caso, apresentou um realce maior em relação à filtragem simples, mostrando com nitidez os lineamentos NW e NE, inclusive alguns entre os maciços de Itatiaia e Passa Quatro, que antes não haviam ainda sido localizados (Figura 4.21).

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH

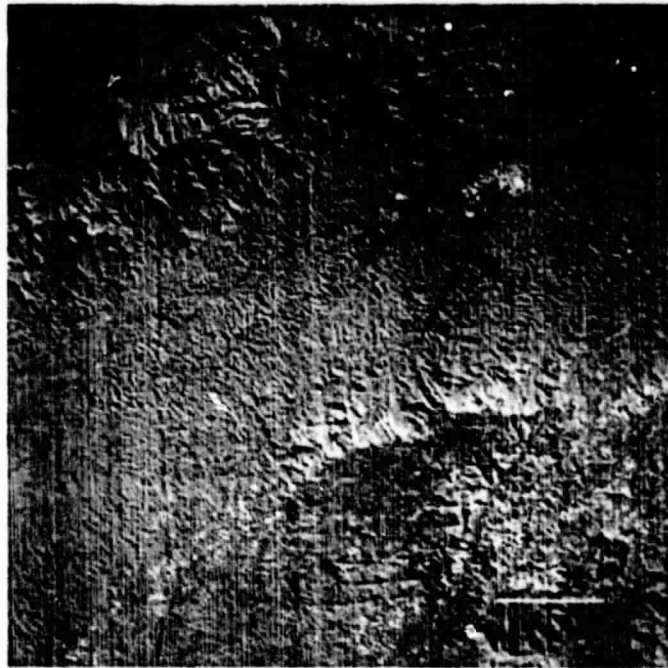


Fig. 4.17 - Filtro do tipo I ( $A=0$ ,  $B=-1$ ,  $C=15$ ,  $D=0$ ) sobre o canal 6.

- Realce de lineamento NW ao sul do Rio Paraíba e nas proximidades da cidade de Cruzeiro.

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.18 - Filtro do tipo I ( $A=0$ ,  $B=-2$ ,  $C=15$  e  $D=20$ ) sobre o canal 6.

- Realce maior em relação à Figura 4.17 e destaque a outros lineamentos, a N e NW do maciço de Passa Quatro.

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH

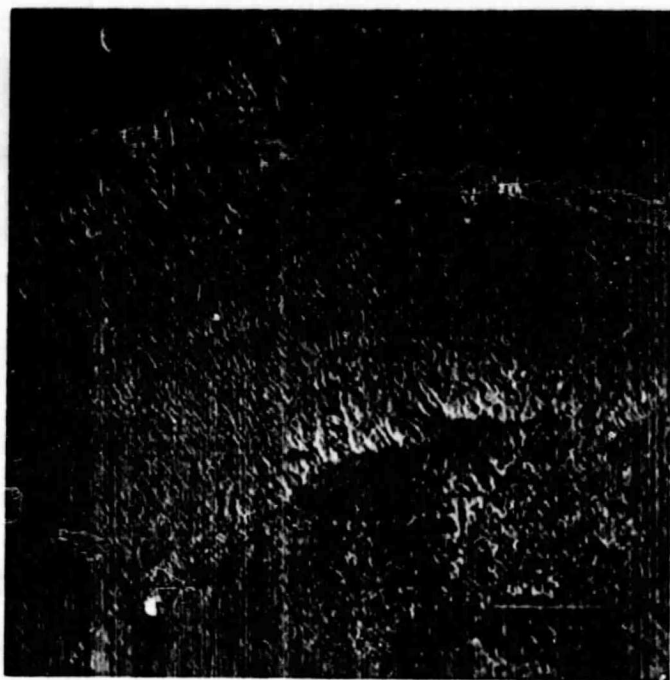


Fig. 4.19 - Filtro do tipo II ( $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=15$  e  $D=0$ ) sobre o canal 6.

- Realçadas as estruturas NWe NE sobre as rochas do Grupo Açunguã (faixa central da cena).

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH



Fig. 4.20 - Filtro do tipo II (A=1, B=-2, C=12 e D=0) sobre o canal 6.

- Notar a continuidade, sobre o Maciço de Itatiaia, do falhamento que condiciona a borda norte do depósito de tálus e leste desse maciço.

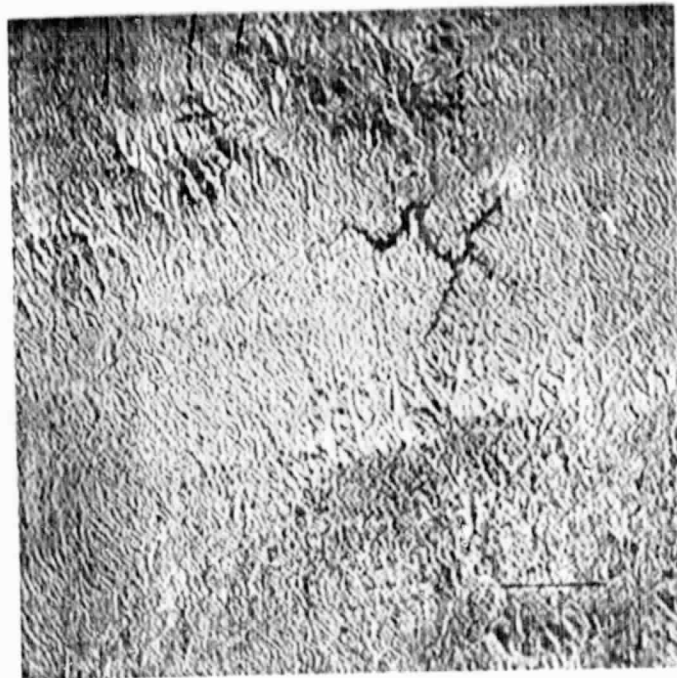


Fig. 4.21 - Dupla filtragem do canal 6, com filtro do tipo II.  
- Maior realce dos lineamentos.

A filtragem tripla, embora tendendo à saturação, exibe grande destaque dos lineamentos NW, relacionados à orientação dos elementos de relevo (cristas e vales), que por sua vez são concordantes com os sistemas dominantes de juntas; os grandes aspectos da morfologia da região perdem quase totalmente sua configuração (Figura 4.22).

O último passo nos trabalhos com filtragens digitais foi executado com vistas à observação do aumento de contraste que provocam entre as áreas sedimentares e seu embasamento (ver Figura 4.15).

O melhor resultado foi conseguido pela composição entre o canal 7 original e sua filtragem com o filtro do tipo III, ao qual se atribuíram pesos  $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=19$  e  $D=2$  (realce isotrópico). As áreas sedimentares, em sua grande maioria, tiveram um nítido destaque (Figura 4.23).



Deste modo, pode-se concluir que as filtragens digitais mostraram-se úteis à pesquisa geológica e estrutural, quer por imprimir notáveis realces a lineamentos fotogeológicos indistintos na cena original, quer por provocar o aumento de contraste entre áreas nas quais essa característica é observada apenas sutilmente.



Fig. 4.22 - Tripla filtragem do canal 6, com filtro do tipo II.  
- Tendência à saturação e atenuação do relevo.

ORIGINAL PAGE  
BLACK AND WHITE PHOTOGRAPH

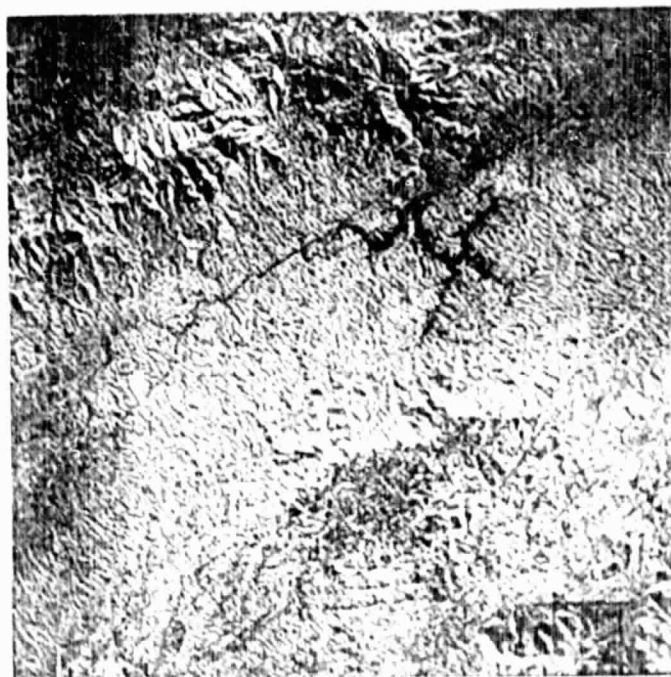


Fig. 4.23 - Composição entre o canal 7 e o produto de sua fil  
tagem com o filtro do tipo III.  
- Nítido destaque das áreas sedimentares (em verde).

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

O aspecto do relevo foi a característica mais apropriada para a individualização das unidades estratigráficas, tanto nos casos onde ele constitui texturas definidas, quanto naqueles em que ele confere destaque topográfico a uma unidade específica. A tonalidade fotográfica, por sua vez, só pode ser encarada de forma sinótica, uma vez que se relaciona menos com as características litológicas do que com as formas do relevo. Deste modo, os canais 6 e 7 do MSS-LANDSAT e o mosaico de radar foram os produtos de maior utilidade para o desenvolvimento desta pesquisa.

Via de regra, os dados fornecidos por um único sensor mostraram-se incompletos e pouco seguros, sendo da maior importância a integração dos resultados conseguidos através da análise das imagens LANDSAT com os do mosaico de radar, obtendo-se, deste modo, um mapeamento mais detalhado e mais confiável, tanto em termos estruturais quanto em termos de definição de contactos.

Em termos estratigráficos, pode-se afirmar que as unidades fanerozóicas puderam ser facilmente identificadas e seus limites assinalados com grande precisão, utilizando-se exclusivamente a análise das imagens. Sobre os terrenos pré-cambrianos, contudo, os aspectos fotogeológicos foram considerados com reservas, uma vez que são insuficientes para a demarcação segura dos contactos. Entretanto, quando utilizados os dados obtidos em campo, como apoio à fotointerpretação, os problemas da cartografia desses contactos puderam ser contornados. As variedades litológicas representativas de cada uma das unidades estratigráficas não puderam ser mapeadas, por não refletirem mudança perceptível no terreno.

Os vários perfis executados em campo (Rodrigues, 1980) mostraram que o Grupo Paraíba está representado, nesta área, por variedades

des de gnaisses na maioria de sua extensão, não se observando a presença dos migmatitos complexos que constituem esse grupo ao norte da cidade de São José dos Campos. O Grupo Açunguã, por sua vez, mostra-se representado, em sua total extensão, pelos migmatitos simples, citados por Hasui et alii (1978c). O maciço alcalino de Itatiaia apresenta exuberante variedade em seus espécimes litológicos, e gradual passagem entre um grupo e outro desses espécimes (Ribeiro Filho, 1967), impossibilitando sua individualização através de imagens LANDSAT ou de radar.

Os lineamentos fotogeológicos puderam ser identificados em abundância permitindo um mapeamento bastante denso. Muitos desses lineamentos não são citados na literatura, principalmente no sul de Minas Gerais, em domínios do Grupo Paraíba.

Prontamente observável em imagens LANDSAT é a presença de falhamentos com direção ENE, formando as bordas setentrionais das bacias de Taubaté e Resende, o mesmo não ocorrendo com as bordas sul desses depósitos. São também falhados os contactos entre os grupos Paraíba e Açunguã, além de partes dos limites dos corpos granitoides inseridos nessas duas unidades.

Em âmbito mais regional, observam-se extensos lineamentos com direção NE, oblíquos ao "trend" geral e que, provavelmente, representam falhamentos não descritos na literatura. Estes falhamentos seriam anteriores à transcorrência ENE, uma vez que mostram-se truncados por tais estruturas. Dentro da área estudada, estes falhamentos definem um bloco que contém os maciços de Itatiaia e Passa-Quatro e a Soleira de Queluz, além da intrusão alcalina de Ilhabela, no litoral paulista.

Quando observado em imagens LANDSAT e de radar, o Graben do Paraíba, apresenta um aspecto de superfície rebaixada em seu extremo norte, reforçado pelo posicionamento das bacias sedimentares em sua porção mais setentrional.

Os trabalhos de processamento automático mostraram a grande utilidade das técnicas de filtragens digitais em pesquisa geológica. Os lineamentos fotogeológicos foram fortemente realçados, tornando cartografáveis muitos deles, os quais se apresentavam quase totalmente indistintos na cena original. Além disso, tais técnicas mostraram-se úteis à ampliação dos contrastes entre terrenos marcados por sutis diferenças tonais.

A classificação automática, na maior parte das vezes, permitiu apenas a separação de duas classes: uma composta pelos depósitos sedimentares, em conjunto, e outra, pelo embasamento cristalino e pelas rochas alcalinas. Com pequena frequência se conseguiu a separação dos depósitos de tálus como uma classe à parte, havendo, nesses casos, constante e considerável erro de inclusão.

Finalmente, sugere-se a continuidade desta pesquisa para o leste da área estudada, além do meridiano dos  $44^{\circ}W$ , e com maior detalhamento em campo, na tentativa de se definir os limites orientais entre os Grupos Paraíba e Açunguã.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N.; BERNARDES, N. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA, 18., Rio de Janeiro, 1958. (Guia da excursão n. 4).
- ALMEIDA, F.F.M. de *Origem e evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1967. ( Boletim, 241).
- \_\_\_\_\_. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48:15-26, 1976. Suplemento.
- \_\_\_\_\_. Vale do Paraíba. Rio de Janeiro, DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1952. p. 90-91. (Relatório Anual do Diretor).
- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. The Precambrian evolution of the South America cratonic margin South of the Amazon River. In: NAIRN, E.M.; STEHLI, F.G. *The ocean basins and margins*. New York, Plenum, 1973. v. 1, p. 411-446.
- AMARAL, G. Aplicações de sensoriamento remoto em geologia. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) *Curso de treinamento: introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações*. São José dos Campos, ago. 1980. (INPE-1869-MD/004).
- \_\_\_\_\_. *Sensores remotos: aplicações em geociências*. São Paulo, USP. Instituto de Geociências, 1975.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 31:117-142, 1967.
- BJORNBERG, A.J.S. Contribuição ao estudo da Bacia de Resende (Rio de Janeiro). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 17(11):65, 74, 1968).
- BRANDALISE, L.A.; RIBEIRO, J.H.; FERRARI, P.G. *Projeto Vale do Paraíba do Sul: relatório final*. Convênio DNPM-CPRM. Belo Horizonte, CPRM, 1976.
- BRAUN, O.P.G. As faixas rúpteis do Brasil. Apresentado no *Congresso Brasileiro de Geologia*, 26., Belém, 1972. Mimeografado.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. v. 4, p. 247-256.

CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. Estudo geocronológico pelo método Rb-Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açunguá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. Anais. v. 1 p. 105-110.

CORDANI, U.G.; DELHAL, J.; LEDENT, D. Orogeneses superposées dans le Precambrian du Brésil Sud-Oriental (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociência*, 3(1):1-22, mar., 1973

DOMINGUES, A.J.P. Maciço de Itatiaia. *Revista Brasileira de Geografia*, 14(4):463-471, out./dez., 1952.

DUTRAL, L.V. *Aplicações de filtros bidimensionais curtos em imagens digitais*. São José dos Campos, INPE, 1980. Inédito.

EBERT, H. Beitrag zur Gliederung des Prakanbriuno in Minas Gerais. *Geologisch Rundschau*, 45,(3):471-521, 1957.

\_\_\_\_ A estrutura precambriana do Sudeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. *Boletim Paranaense de Geociências*, (26):42-45, 1967.

\_\_\_\_ Novas observações sobre a glaciação pleistocênica na Serra do Itatiaia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 32(1):51-73, 1960.

\_\_\_\_ Ocorrências da fácies granulítica no Sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 40:215-229, 1968. Suplemento.

FREITAS, R.O. de Considerações sobre a tectônica e a geologia do Vale do Paraíba. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 24(143): 276 - 283, 1956.

\_\_\_\_ Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, n. 6, 1951.

\_\_\_\_ Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, n. 3, 1947.

- \_\_\_\_ Jazimento das rochas alcalinas no Brasil Meridional. *Mineração e Metalurgia*, 8(43):45-58, 1944.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Geografia do Brasil: Região Sudeste*. Rio de Janeiro, 1977. v. 3.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY (GE). *Image-100; user manual*. Daytona Beach, Fl., 1975.
- HASUI, Y. *Comentários sobre a dissertação de mestrado de José Eduardo Rodrigues*. São José dos Campos, 21.11.1980, INPE. Comunicação pessoal.
- \_\_\_\_ Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul. Tese de Livre-docência em Geologia. São Paulo, USP, 1973.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. Evolução Geológica do pré-Cambriano na Região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 6(3):182-200, set., 1976.
- HASUI, Y.; HAMA, M. Geocronologia do Grupo São Roque pelo método potássio-argônio. *Revista Brasileira de Geociências*, 2(1):18-24, 1972.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; BRITO NEVES, B.B. de As estruturas brasileiras, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978a. Anais. v. 6, p. 2423-2437.
- HASUI, Y.; PENALVA, F.; HENNIES, W.T. Geologia do Grupo São Roque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., Salvador, 1969. Anais. v. 1, p. 101-134.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos estados de São Paulo e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978b. Anais.v.6, p. 2594-2608.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STERN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A. de; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S.de; SANTOS, M. do C.S.R. dos *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 1978c (Publicação IPT, 1106).
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4):257-266, 1975.



- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. A zona marginal Sul do Craton São Francisco. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. *Reunião preparatória para o Simpósio sobre o Craton de São Francisco*. Salvador, dez., 1978d. Anais. p. 205-213. Publicação Especial n. 3.
- HUECK, K. *As florestas da América do Sul*. Brasília, Editora da UnB, 1972.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Curso de treinamento: Introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações*. São José dos Campos, ago., 1980. (INPE-1869-MD/004).
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO (IGG). *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1963.
- \_\_\_\_\_. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1974.
- LAMEGO, A.R. *O Maciço de Itatiaia e regiões circundantes*. Rio de Janeiro, DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1936. (Boletim, 88).
- MARINI, J. O Grupo Açunguã no Estado do Paraná. In: BIGARELLA, J.J. *Geologia do pré-Devoniano e intrusivas subsequentes da porção oriental do Estado do Paraná*. *Boletim Paranaense de Geociências*, 23/25(2):43-103 1967.
- MAULL, O. *Von Itatiaia zum Paraguay ergebnisse eine forschungreise durch Mittel-Brasilien*. Leipzig, s. ed., 1930.
- MEZZALIRA, S. Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. *O IGG*, 15:73-91, 1961.
- MEZZALIRA, S.; COUTO, C. de P. Nova conceituação geocronológica de Tremembé, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43:473-488, 1971. Suplemento.
- MINIOLI, B. Determinação potássio-argônio em rochas localizadas no Litoral Norte do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43(2):443-448, 1971.
- MORAES REGO, L.F. de *Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo*. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico(IAG). 1933a.
- \_\_\_\_\_. *As formações cenozóicas de São Paulo*. *Anuário da Escola Politécnica*, 2:231-267, 1933b.

- \_\_\_\_\_. *Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese.* São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 1932.
- PARADELLA, W.R.; DUTRA, L.V. *Filtragens digitais de imagens LANDSAT como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica.* São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1823-RPE/189).
- PENALVA, F. Brecha magmática no Itatiaia. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(1):117-122, 1962.
- \_\_\_\_\_. Geologia e tectônica da região do Itatiaia. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, n. 22:94-196, 1967.
- RIBEIRO FILHO, E. Geologia e petrologia dos maciços alcalinos do Itatiaia e Passa Quatro. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, n. 22:9-93, 1967.
- RIBEIRO FILHO, E.; PENALVA, F. *Mapa Geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia.* São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, 1965. Escala 1: 50 000.
- RICH, J. Problems in Brazilian geology and geomorphology suggested by reconnaissance in Summer of 1951. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, n. 9, 1953.
- RODRIGUES, J.E. *Trabalho de campo na região dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro.* São José dos Campos, INPE. ago., 1980. (INPE-1860-NTI/141).
- ROSIER, G.F. *A geologia da Serra do mar, entre os picos de Maria Comprida e do Desengano, Estado do Rio de Janeiro.* Rio de Janeiro, DNPM. Divisão de Geologia e Mineralogia, 1957. (Boletim, 166).
- SILVA, A.T.S.F. da; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K.; PINHO FILHO, W.D. de *Projeto Santos-Iguape; Relatório Final-Geologia.* Convênio DNPM-CPRM. São Paulo, CPRM, 1977.
- SILVEIRA, J.D. da Itatiaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, 9., Rio de Janeiro, 1942. Anais. v. 2, p. 607-619.

- SUGUIO, K. *Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté*. Tese de Douto-  
ramento em Geologia. São Paulo, Faculdade de Filosofia. Ciências e  
Letras da Universidade de São Paulo, 1969. Boletim nº especial.
- TEIXEIRA, D. Relevo e padrões de drenagem na chaminé vulcânica do Ita-  
tiaia. *Boletim Paulista de Geografia*, 37:3-12, 1961.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. de *Sistema MAXVER: manual*  
do usuário. São José dos Campos, INPE, jul., 1978. (INPE-1315-NTI/  
110).
- WASHBURNE, C.W. *Petroleum geology of the State of São Paulo, Brazil*.  
São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo, 1930. (Bole-  
tim, 22).
- WERNICK, E.; OLIVEIRA, M.A.F. de; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G.; DELHAL,  
J. Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr em rochas do Bloco Jun-  
diaí e regiões adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências*. 6(2):  
125-135, 1976.

APENDICE A

MAPA GEOLÓGICO

**BOLDOUT FRAME**

**ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY**

# PROJETO COMPLEXO ALCAL



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO  
**INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS**

45°  
00'  
22° 05'



# CALINO DE ITATIAIA

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

OLDOUT FRAME 2

44°  
25'  
22°05'



## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

### QUATERNÁRIO

Qa	Qta	Qtm
----	-----	-----

Qa- Depósitos aluvionares do vale dos rios mais expressivos. Qta- Depósitos de tálus, compostos principalmente por blocos de rochas alcalinas. Qtm- Depósitos de tálus, compostos principalmente por blocos de migmatitos (embrechitos).

### TERCIÁRIO SUPERIOR

Tt	Tr	Ta
----	----	----

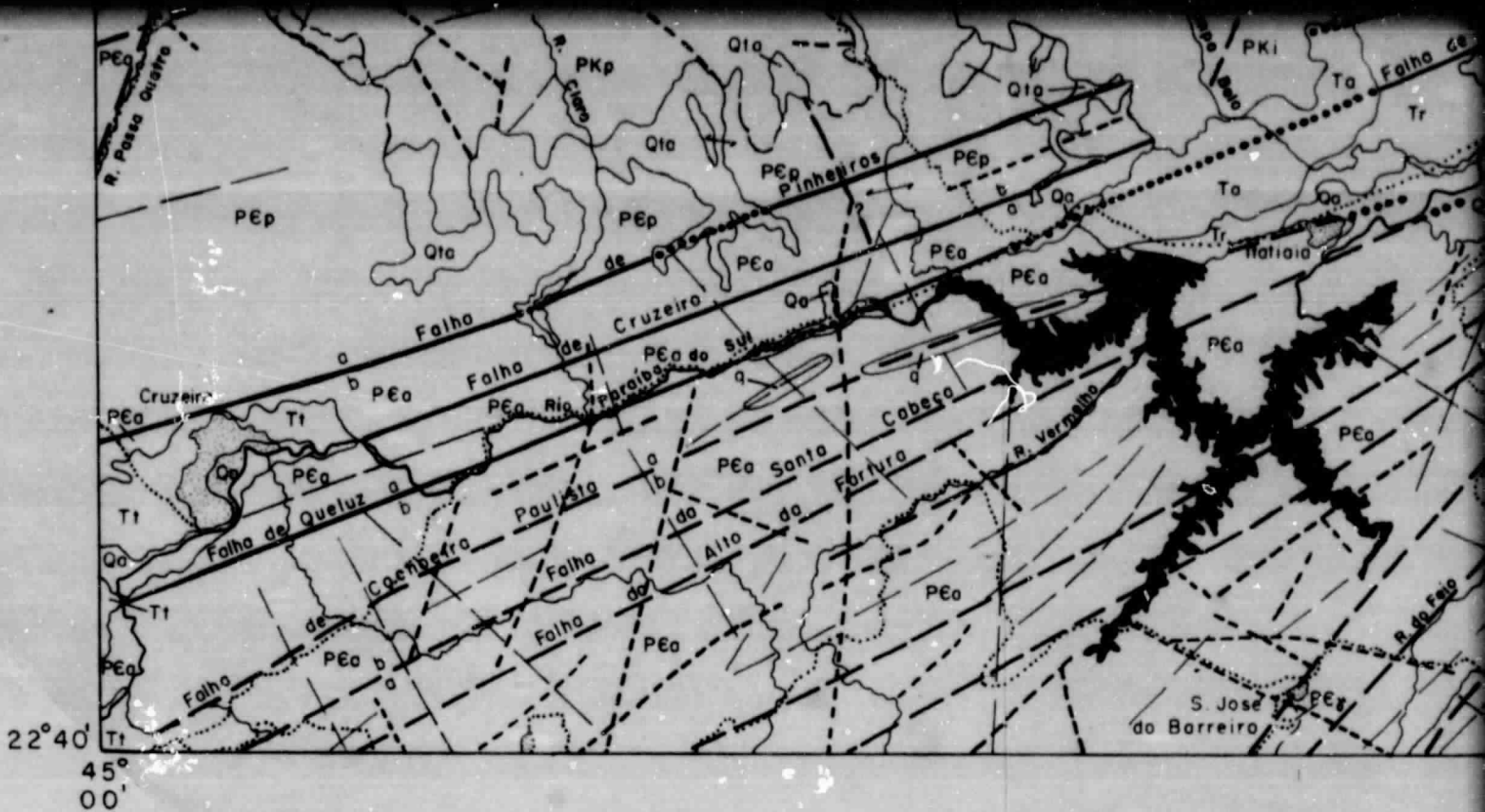
Tt- Sedimentos flúvio-lacustres da Bacia de Taubaté: arenitos e argilitos com níveis conglomeráticos, folhelhos betuminosos, brechas e arcósios. Tr- Sedimentos flúvio-lacustres da Bacia de Resende: arenitos arcasianos, siltitos, argilitos e membros rudaíceos compostos por seixos e matações alcalinos. Ta- Antigos depósitos de tálus.

### PALEOCENO-CRETÁCEO SUPERIOR

PKi	PKp
-----	-----

Rochas alcalinas: sienitos, nefelina-sienitos, foiaitos, quartzo-sienitos, granito alcalino e brechas magmáticas. PKi- Maciço de Itatiaia. PKp- Maciço de Passa Quatro.

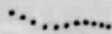
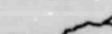


### PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR



Base planimétrica extraída de cartas topográficas em escala 1:50 000, editadas em 1973/74 pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE)

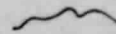
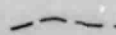
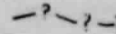
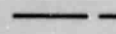
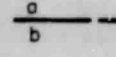

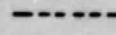
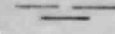
Fotointerpretação de imagens MSS-LANDSAT realizada durante o período 1978/80, por José do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) - Departamento Remoto (DSR) - S. José dos Campos

Convenções planimétricas

-  Rodovias
-  Rios
-  Represo
-  Cidades

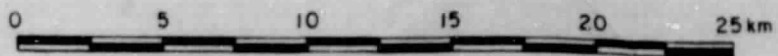
ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

Convenções geológicas

-  Contato observado
-  Contato aproximado
-  Contato inferido
-  Falha transcorrente (inferida)
-  Falha normal (a - subiu, b - onde tracejada)
-  Falha encoberta
-  Fratura
-  Lineamentos estruturais

EOLDOUT FRAME 3

ESCALA 1:250 000





22° 40'  
44°  
25'

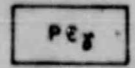
Maço de RADAR  
Ardo Rodrigues  
mento de Senso-

tracejado)  
eu). Inferida

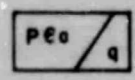
Rochas alcalinas: sienitos, nevelina-sienitos, totalitos, quartzo-sienitos, granito alcalino e brechas magmáticas. PKi - Maciço de Itatiaia. PKp - Maciço de Passa Quatro.

PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR

ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY

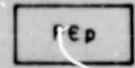


Rochas granitóides inseridas nos domínios dos Grupos Paraíba e Açungui.

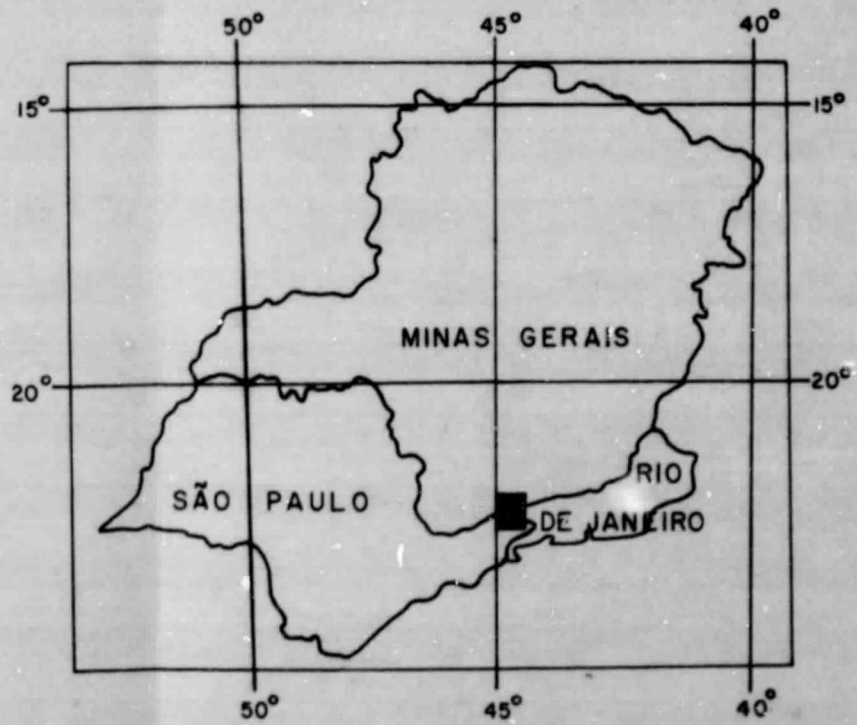


Grupo Açungui: Migmatitos simples, dobrados e ocasionalmente ptigmáticos. Estromatitos homogêneos e heterogêneos, embrechitos, agmatitos, diadistitos, nebulitos, anatexitos e lentes de quartzito (q). Enclaves restritos de xistos.

PRÉ-CAMBRIANO MÉDIO



Grupo Paraíba: Gnaisses bandados, gnaisses finamente bandados, augen-gnaisses e migmatitos estromatíticos, com enclaves restritos de xistos.



Localização da área

FOLDOUT FRAME

3