



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6343-TDI/595

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUBSÍDIO
AO ZONEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E A INUNDAÇÕES**

Rosana Okida

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo
Dr. Paulo Veneziani, aprovada em dezembro de 1995

INPE
São José dos Campos
1996

528.711.7:551.311.2

OKIDA, R.

Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações / R. Okida. - São José dos Campos: INPE, 1996.

147p. - (INPE-6343-TDI/595)

1. Deslizamentos de terra. 2. Inundações. 3. Processamento de imagens digitais. 4. Caraguatatuba (SP). 5. Mapeadores temáticos (Landsat). 5. Fotointerpretação. I. Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. Paulo Veneziani


Orientador/Presidente

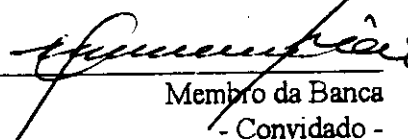
Dr. Juércio Tavares de Mattos


Membro da Banca

Dra. Teresa Gallotti Florenzano


Membro da Banca

Dr. Alberto Pio Fiori


Membro da Banca
- Convidado -

Candidata: Rosana Okida

São José dos Campos, 14 de dezembro de 1995

*Dedico este trabalho
aos meus pais, meus grandes companheiros.*

AGRADECIMENTOS

A autora gostaria de expressar seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que colaboraram de alguma forma para a conclusão desta dissertação, em especial:

Ao Dr. Paulo Veneziani, pela confiança depositada em minha pessoa desde o princípio. Pelas palavras de estímulo nos momentos de "renúncia", palavras essas que sempre me fizeram "erguer a cabeça, sorrir e tentar novamente". Por me fazer enxergar a capacidade de meus conhecimentos, mas principalmente pela grande amizade. Muito obrigada!

Ao Dr. Juércio Tavares de Mattos e à Dra. Teresa Gallotti Florenzano, pelas observações e críticas sempre valiosas que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho, além do grande estímulo, confiança e amizade.

Ao Dr. Célio Eustáquio dos Anjos, pelas sugestões e conversas sempre amigas que tornaram o dia-a-dia mais alegre.

Ao Dr. João Roberto dos Santos e à Maria Etelvina Renó Dias Arbex (Etel), pela prestatividade.

Aos desenhistas Joaquim Godoy Filho (Quim) e Sílvio Pereira Coimbra, pelos desenhos.

Ao pessoal do desenho (SEMA), nas pessoas de Renea Pavanelli Borges e Ana Lúcia, pela ajuda com os desenhos.

À Iris de Marcelhos e Souza, Valéria Abrão Pelodon Esteves e Alberto de Paula Silva do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID), pela ajuda nos tratamentos das imagens digitais.

Ao fotógrafo Celso Luiz de Faria (Celsinho), pelas fotografias das imagens tratadas no LTID.

Aos colegas Paulo Ricardo B. Pereira e Samara Vicente Cazzoli do Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente (IG/SMA), pelos dados pluviométricos, referências bibliográficas e amizade.

À Prefeitura Municipal de Caraguatatuba, nas pessoas do vereador Henrique Tremante de Castro e do arquiteto José Ricardo Berti, pelo empréstimo das fotografias aéreas para a realização desta dissertação e atenção dispensada.

Aos meus irmãos (Marcio e Eliane), ombros amigos que sempre me estimularam.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de efetuar esta dissertação.

À CAPES, pela bolsa de estudo.

RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, baseada na interpretação de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens TM-LANDSAT-5) e em técnicas de tratamento de imagens digitais. Como área-teste foi escolhida a região de Caraguatatuba, situada no Litoral Norte do Estado de São Paulo. Foram elaborados diversos mapas temáticos na escala de 1:100.000, como os de: traços de foliações, traços de fraturas, frequência de traços de fraturas, lineamentos estruturais, morfoestrutural, domínios estruturais, unidades de relevo e litotipos. Esses mapas subsidiaram a delimitação e a caracterização das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa. Foram feitas análises multiespectral e multitemporal com as imagens de janeiro e julho, referentes aos períodos de maior e menor precipitação na área de estudo. Utilizou-se de técnicas de tratamento de imagens digitais, como realce e registro imagem x imagem para delimitar as áreas sujeitas a inundações. Os dados obtidos a partir das imagens interpretadas, complementados com trabalhos de campo possibilitaram verificar que os escorregamentos são condicionados por estruturas geológicas. Esse controle é exercido principalmente por estruturas disjuntivas não coesivas (como fraturas e falhas). As estruturas não coesivas quando analisadas juntamente com estruturas coesivas (como foliações) definem quatro domínios estruturais para a área de estudo (I - Cedro, II - Alto da Serra, III - Santo Antônio e IV - Marisco), que apresentam potenciais distintos à ocorrência dos movimentos coletivos de massa. De acordo com o zoneamento elaborado para a área, foram delimitadas seis classes potenciais ou atuais à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa. Dentre as seis classes potenciais ou atuais, a de mais alto grau situa-se nas escarpas da Serra do Mar (parte sul do Domínio II), seguida das porções pertencentes aos Domínios II (parte norte) e IV (parte oeste) com grau intermediário, e das porções pertencentes aos Domínios I e IV (parte centro-leste), com grau mais baixo. As áreas sujeitas a inundações foram analisadas a partir de composições coloridas, 4R/5G/3B e 4R/5G/7B de janeiro e julho e, 4R(julho)/4G(janeiro), além de dados de campo e pluviometria. As principais áreas inundáveis da região estudada encontram-se no limite entre as regiões planáltica e serrana (Rio Pardo - Represa de Paraibuna) e na planície costeira (baixo curso do Rio Juqueriquerê).

TECHNIQUES OF REMOTE SENSING TO SUBSIDY IN THE LANDSLIDES AND FLOODS AREAS ZONATION

ABSTRACT

The purpose this work is suggest a methodology to subsidy the landslides and floods areas zonation using remote sensing products and techniques. The study area is Caraguatatuba region, in the Coast North from São Paulo State. Were made by photography images several thematics maps in the scale of 1:100.000 (for example: foliations lines, fractures lines, frequency of fractures lines, structures lineaments, morphostructural, structural groups, units of relief and litotypes) to subsidy in the landslides zonation. Multispectral and multitemporal analysis were made over images of january and july, concerning to larger and smaller periods rain fall in the area. Techniques of digital image processing as linear contrast enhancement and image to image registration were use to floods areas zonation. The data of interpretation complete with field data possibility to observe that landslides are conditioned by geologic structures. This control is made by non cohesives structures (fractures and faults). These structures analysed with cohesives one (foliations) determined four structural groups to the area (I - Cedro, II - Alto da Serra, III - Santo Antônio and IV - Marisco). These groups presented differents potenciales of the occurrence of landslides. So the zonation delimited six class potencial or actual to occurrence of landslides. The class of high, medium and low potencial situaed in the Serra do Mar (Group II), Groups II and IV and, Groups I and IV, respectively. The floods areas were analysed by colors compositions, 4R/5G/3B and 4R/5G/7B (january and july) and, 4R(july)/4G(january), field data and rain fall data. The main floods areas are in the Pardo River (Paraibuna Dam) and in the Juqueriquerê Basin.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Apresentação	1
1.2 - Objetivo geral.....	2
1.3 - Objetivos específicos	2
CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDO	3
2.1 - Localização da área de estudo	3
2.2 - Características fisiográficas.....	4
2.3 - Geologia regional	6
2.3.1 - Contexto tectono-estrutural.....	7
2.3.2 - Unidades geológicas	8
2.3.2.1 - A Formação Cananéia e os sedimentos continentais indiferenciados e marinhos, mistos.....	8
2.3.2.2 - Granitóides sin-tectônicos.....	12
2.3.2.3 - Complexo Costeiro.....	12
2.3.3 - Evolução tectônica	14
2.3.4 - Geologia estrutural.....	15
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROPOSTA METODOLÓGICA.....	21
3.1 - Materiais e equipamentos utilizados.....	21
3.2 - Proposta metodológica	21
3.2.1 - Áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa	26
3.2.2 - Áreas sujeitas a inundações.....	35
3.3 - Trabalhos de campo	39

3.4 - Cartografia final - Áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa	39
3.4.1 - Zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa na escala de 1:50.000.....	39
3.4.2 - Zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa na escala de 1:8.000.....	40
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	43
4.1 - Mapas temáticos elaborados para o zoneamento e caracterização dos movimentos gravitacionais de massa	43
4.1.1 - Mapa de traços de foliação	43
4.1.2 - Mapa de traços de fraturas	45
4.1.3 - Mapa de frequência de traços de fraturas.....	47
4.1.4 - Mapa de lineamentos estruturais.....	50
4.1.5 - Mapa de domínios estruturais.....	53
4.1.6 - Mapa de unidades de relevo.....	61
4.1.7 - Mapa morfoestrutural.....	63
4.1.8 - Mapa de litotipos.....	65
4.2 - Controle estrutural dos movimentos gravitacionais de massa	69
4.3 - Zoneamento e caracterização de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa na escala de 1:50.000.....	85
4.4 - Zoneamento e caracterização das áreas sujeitas a inundações.....	89
4.4.1 - Mapa de inundação.....	93
4.4.2 - Mapa de áreas inundáveis.....	99
4.5 - Zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações na escala de 1:8.000	103
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
APÊNDICE A - MAPA DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E A INUNDAÇÕES (ZONEAMENTO NA ESCALA DE 1:8.000)	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Mapa de localização da área de estudo	3
2.2 - Mapa geológico da área de estudo.....	10
2.3 - Principais conjuntos de zonas de juntas paralelos às direções do modelo de Riedel (1929) adaptado por Sadowski (1983)	18
2.4 - Mapa morfoestrutural das Quadrículas de Natividade da Serra e Caraguatuba (S.P.).....	19
3.1 - Diagrama de fluxo de trabalho	25
3.2 - Zonas de juntas e conjunto de zonas de juntas	30
3.3 - Perfis típicos de encostas	32
3.4 - Avaliação das assimetrias de relevo e de drenagem através das propriedades das formas.....	34
3.5 - Exemplo de interpretação de altos e baixos estruturais pela assimetria da rede de drenagem	34
3.6 - Divisão da área de estudo	38
4.1 - Mapa de traços de foliações.....	44
4.2 - Mapa de zonas de traços de fraturas	47
4.3 - Mapa de frequência de traços de fraturas	49
4.4 - Mapa de lineamentos estruturais	51
4.5 - Mapa de domínios estruturais	54
4.6 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio I	55
4.7 - Diagramas de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral (L) do Domínio I.....	55
4.8 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio II.....	57
4.9 - Diagramas de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral e de estiramento (L) do Domínio II	57
4.10 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio III.....	58
4.11 - Diagramas de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral (L) do Domínio III.....	58
4.12 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio IV	60
4.13 - Diagramas de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral e de estiramento (L) do Domínio IV.....	60

4.14 - Mapa de unidades de relevo.....	62
4.15 - Mapa morfoestrutural.....	64
4.16 - Mapa de litotipos.....	68
4.17 - Gnaiss localmente granitizado e intensamente foliado (foliação cataclástica-milonítica, N50E/40SE paralela ao fraturamento). Detalhe para a casa sobre o afloramento. BR-101, sentido São Sebastião-Caraguatatuba	70
4.18 - Afloramento de gnaiss localmente granitizado, fraturado segundo três direções uma paralela ao corte de estrada (E-W) e à foliação, uma perpendicular à primeira (N-S) e uma subhorizontal (E-W). O sistema de fraturas formam diedros que geram queda de blocos. BR-101, entre os kms 116 e 117.....	71
4.19 - Queda de blocos em afloramento de granito gnaiss com diques de diabásio e anfibolito paralelos à foliação cataclástica- milonítica N60-70E/subvertical. Fraturas subhorizontal (N60-70E) e subvertical (N20-30E) juntamente com a foliação formam os diedros. BR-101, Posto Hudson, sentido Caraguatatuba-Ubatuba.....	72
4.20 - Bloco diagrama mostrando o controle das estruturas (foliação N40E/35NW, fraturas N60W/vert. e N10E/vert.) no processo de escorregamento “latu sensu”. Afloramento situado na SP-99, km 74.....	73
4.21 - Escorregamentos de solo do tipo translacional. O escorregamento ocorreu segundo a direção da foliação (N50E/vertical) que é paralela ao corte de estrada (paralela à prancheta). BR-101, sentido Caraguatatuba-Ubatuba.	74
4.22 - Escorregamento translacional de solo segundo à direção N60E. Detalhe para a casa sobre o corpo de tálus. Afloramento atrás da rodoviária da cidade de Caraguatatuba	75
4.23 - Desenvolvimento de concavidades controladas por estruturas na rocha (A). Formação de canal e desenvolvimento inicial de uma concavidade suspensa em relação ao fundo do vale adjacente (B). Fase de aprofundamento e recuo de encostas (C). Desenvolvimento de subunidades côncavas na intersecção de duas famílias de fraturas (D)	76
4.24 - Exemplo de concavidade formada por fraturas N70E/vert. e N30W/40SW. Afloramento da SP-99, km 69	77
4.25 - Leque de detritos provenientes de escorregamento controlado por estruturas disjuntivas N60-70E/60-70NW (paralela à foliação cataclástica-milonítica) e N60-70W/70SW. Bairro do Engenho.....	78

4.26 - Escorregamento de solo e blocos. Detalhe para o buraco abaixo da cobertura vegetal provocado pelo escorregamento. Estruturação de raízes do tipo "D", de acordo com Tsukamoto e Kusakabe (apud Greenway, 1987, citado por Andrade et al., 1992). Estrada para o Bairro do Cedro, sentido Tamoios-Bairro do Cedro	81
4.27 - Mapa de sismicidade de parte da Província Costeira. Detalhe da Zona Sísmica de Cunha	82
4.28 - Mapa das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa (zoneamento na escala de 1:50.000).....	88
4.29 - Composição colorida 4R/5G/3B (julho de 1992).....	90
4.30 - Composição colorida 4R/5G/3B (janeiro de 1987).....	91
4.31 - Corpo d'água. Composição colorida 4R(julho)/4G(janeiro).....	93
4.32 - Mapa de inundação.....	95
4.33 - Vista parcial do canal do Rio Juqueriquerê após período de intensa chuva (fevereiro de 1995)	98
4.34 - Mapa de áreas inundáveis	100
4.35 - Vista de uma área sujeita à inundação na planície costeira. Detalhe para a placa de loteamento no lado direito da foto. Lado esquerdo da BR-101, sentido São Sebastião-Caraguatatuba	101
4.36 - Mapa de drenagem	102
4.37 - Vista parcial do Rio Pardo após período intenso de chuvas (fevereiro de 1995).....	103
4.38 - Visão parcial do vale do Rio Santo Antônio em fevereiro de 1995. Detalhe para o canal fluvial e as residências instaladas na planície aluvial (área sujeita a escorregamentos e a inundações).....	107

LISTA DE TABELAS

	Pág.
3.1 - Imagens TM-Landsat-5 utilizadas	21
3.2 - Formas de topos e encostas x grau de alterabilidade/tipo de material/espessura do manto de alteração	33
4.1 - Relações de máximos 1 e 2 de traços de foliações.....	45
4.2 - Relações de máximos 1 e 2 de traços de fraturas.....	46
4.3 - Correlação dos lineamentos com as direções do modelo adotado	52
4.4 - Relações entre as denominações adotadas no mapa de domínios estruturais e no mapa de Pires Neto (1991)	59
4.5 - Atributos das unidades de relevo	61
4.6 - Matriz de precisão do registro I x I.....	89
4.7 - Dados pluviométricos de janeiro (1987).....	96
4.8 - Dados pluviométricos de julho (1992)	97
4.9 - Estabelecimento das classes favoráveis à ocorrência de movimentos de massa e a inundações.....	105

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas, os acidentes causados por movimentos gravitacionais de massa e inundações vêm preocupando a sociedade e os meios científicos devido à sua grande incidência nos centros urbanos.

Os movimentos de massa e as inundações, que ocorrem “naturalmente” e são deflagrados e intensificados por processos antrópicos, provocam vários danos materiais, bem como a perda de vidas humanas. Assim, metodologias de previsão, prevenção e mitigação de acidentes (caso do PPDC - Plano Preventivo de Defesa Civil) vêm sendo desenvolvidas e aplicadas sistematicamente em todo o litoral paulista. No entanto, antes de qualquer tipo de previsão, prevenção e mitigação é necessário saber quais são as causas condicionantes dos acidentes, sendo assim preciso uma caracterização e um zoneamento das áreas sujeitas a tais fenômenos por meio de estudos multidisciplinares.

Desta forma, o presente trabalho contribui com uma metodologia que permite fazer o zoneamento de áreas potenciais ou atuais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações, baseada na interpretação de produtos de sensoriamento remoto (SR) e técnicas de tratamento de imagens digitais. Esse zoneamento tem como intuito dar subsídios ao planejamento e à harmonização do meio físico.

O presente trabalho também vai de encontro com a proposta da Organização das Nações Unidas (ONU - Resolução 44/23) para a década de 90, declarada a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (DIRDN).

Os produtos e as técnicas de SR foram aqui selecionados por serem menos onerosos que os métodos convencionais de zoneamento de áreas sujeitas a movimentos de massa e a inundações, que se utilizam de exaustivos trabalhos de campo, cadastramentos e algumas vezes de ensaios “in situ” e/ou laboratoriais. Os produtos de SR permitem além da redução dos custos, uma visão integrada dos dados (convergência de evidências).

Foi escolhida a região de Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo, como área de estudo devido essa apresentar inúmeras ocorrências de movimentos gravitacionais de massa, ser classificada de acordo com a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1980) como área prioritária para confecção de mapas geotécnicos e apresentar dados auxiliares essenciais para a complementação deste trabalho (cartas de declividade, geomorfológica, hipsométrica e de energia do relevo na escala de 1:50.000).

1.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é verificar a potencialidade dos produtos e das técnicas de sensoriamento remoto para a elaboração de uma metodologia como subsídio ao zoneamento e à caracterização de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações.

1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- 1) Caracterizar tectonica-estruturalmente a área de estudo;
- 2) Caracterizar o controle das estruturas (disjuntivas e coesivas) em relação aos movimentos gravitacionais de massa.

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

2.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende parte dos municípios de Paraibuna, Caraguatatuba e São Sebastião, Estado de São Paulo, perfazendo um total de 360 km² (Figura 2.1). Essa área encontra-se delimitada de acordo com as coordenadas 23°34'00" a 23°44'30" de latitude sul e 45°23'30" a 45°34'00" de longitude oeste.

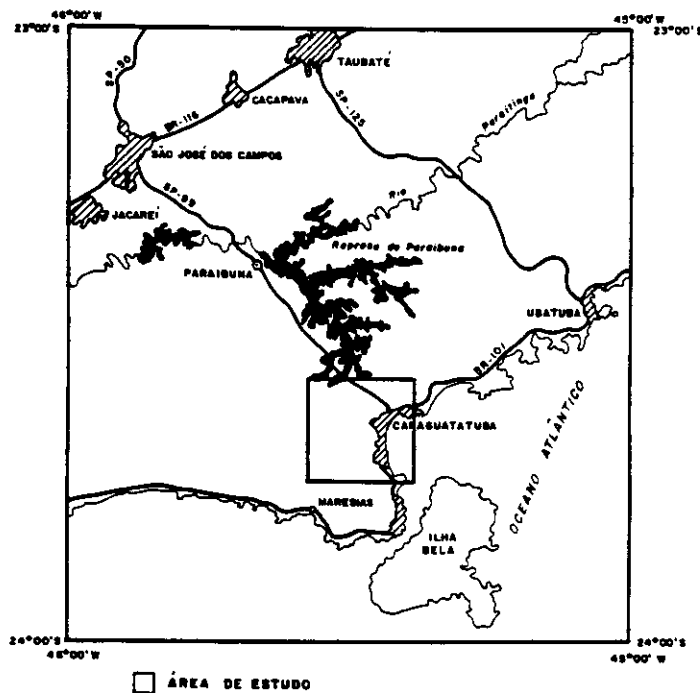


Fig. 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.

O acesso à área pode ser efetuado por duas estradas principais, a SP-99 (Rodovia dos Tamoios) interligando o planalto, a partir de São José dos Campos, à cidade de Caraguatatuba, e a BR-101 (Rodovia Rio-Santos), ligando o litoral paulista ao Estado do Rio de Janeiro. Há também uma estrada vicinal interligando a cidade de Salesópolis ao distrito de Porto Novo (SP-88).

Segundo Silva e Fornasari Filho (1988), a área de estudo faz parte de várias unidades de conservação ambiental e áreas correlatas: Estância Balneária, Parque Estadual da Serra do Mar (Núcleo Caraguatatuba) e Área Natural Tombada - Serra do Mar.

2.2 - CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS

O Estado de São Paulo apresenta várias divisões geomorfológicas, no entanto foi adotada neste trabalho a divisão de Almeida (1964), complementada pela de Ponçano et al. (1981).

De acordo com o mapa geomorfológico de Almeida (op. cit.), a área de estudo encontra-se inserida em duas províncias geomorfológicas denominadas Província Costeira e Planalto Atlântico. Segundo esse autor, a Província Costeira apresenta-se dividida em três zonas, sendo que somente duas delas, Serrania Costeira e Baixadas Litorâneas, estão presentes na área de estudo. No caso da Serrania Costeira essa é representada na área-teste pela Subzona Serra do Mar, unidade geomorfológica de maior expressão areal da área de estudo.

A Serra do Mar possui escarpas abruptas, ora festonadas ora em espigões, onde se desenvolvem sucessivos anfiteatros. Todas essas feições são controladas pelas estruturas geológicas. Apresenta altitudes entre 800 e 1.200 m, com largura que varia de 3 a 5 km. Possui encostas do tipo côncavo-convexo e declividades superiores a 20%.

De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente (1992), a vegetação da Serra do Mar é composta basicamente por três formações florestais pertencentes à mata atlântica: mata de planície litorânea, mata de encosta (com árvores altas e copas formando um dossel descontínuo) e mata de altitude (ocorre acima de 1.100 m, onde a vegetação é arbórea e mais baixa que da mata de encosta). A mata atlântica é uma floresta latifoliada alta, tropical subúmida a superúmida que cobre preferencialmente a região costeira, interpenetrando nas planícies litorâneas com a vegetação de restinga e no planalto com a mata mesófila. De acordo com Prandini et al. (1976), a cobertura vegetal constitui-se como o principal elemento de estabilização das encostas em relação aos escorregamentos "latu sensu".

As Baixadas Litorâneas são descontínuas, configurando reentrâncias nas escarpas da serra. Devido à sua largura variável, apresenta-se dividida em dois setores: Litoral Sul e Litoral Norte. No Litoral Norte (Serra do Parati a Serra do Juqueriquerê) os espigões avançam planície adentro, formando em alguns locais os promontórios. Esses espigões são orientados segundo as estruturas regionais de direção geral NE-SW.

Fúlfaro et al. (1974) dividem as Baixadas Litorâneas em três blocos, sendo o bloco situado entre a Planície de Caraguatatuba e a divisa do Estado do Rio de Janeiro denominado de Compartimento Caraguatatuba. Esse compartimento é caracterizado por uma linha de costa (linha estrutural denominada de "Falha" de Camburu) com pequenas enseadas e praias de bolso, possuindo características de uma costa de submersão. Nesse compartimento, a enseada de Caraguatatuba, com 12 km de comprimento por 7 km de largura, é considerada uma exceção dentre as planícies costeiras do Litoral Norte, devido à sua grande dimensão.

Suguiu e Martin (1978) propõem outra divisão para o litoral paulista. Esses autores separam o litoral em duas porções e definem quatro unidades cujos limites são pontões de rochas pertencentes ao embasamento pré-cambriano. De acordo com essa divisão, a área de estudo situa-se na Unidade Ilha de São Sebastião - Serra do Parati.

O Planalto Atlântico, denominação de Monbeig (1949 citado por Almeida, 1964), é representado na área estudada pelos Planaltos do Juqueriquerê e do Paraitinga, de acordo com a divisão geomorfológica de Ponçano et al. (1981).

O Planalto do Juqueriquerê ou Planalto de São Sebastião, de acordo com denominação de Cruz (1974), apresenta reduzida extensão geográfica. Seus limites com a Zona Serrania Costeira (Província Costeira) são configurados pela porção superior das escarpas da Serra do Mar, enquanto os limites com os planaltos adjacentes (Planalto do Paraitinga e Planalto Paulistano) são representados por divisores de água. Apresenta relevo montanhoso com elevações de 1.100 a 1.200 m, cujas cristas encontram-se alongadas segundo NE-SW e com caimento para NW. Ocorrem também morros com altitudes entre 650 e 700 m.

O Planalto do Paraitinga apresenta estruturação complexa, é maturamente dissecado com relevo de "mar de morros" ¹ e longas serras longitudinais. Sua altitude máxima é de 1.300 m. Ponçano et al. (1981) dividem o planalto em dois compartimentos: Morraria do Paraitinga e Morraria do Paraibuna. A Morraria do Paraibuna, compartimento pertencente à área de estudo, apresenta rios encaixados com direção NW-SE, padrão treliça e sem planície aluvionar. Seu relevo é do tipo morros paralelos exceto nas proximidades de Paraibuna e junto às bordas do Planalto do Paraitinga, onde o relevo é de "mar de morros".

A área de estudo é drenada pela bacia do Rio Juqueriquerê, que é dividida em dois setores: Bacia do Camburu (a norte) e Bacia do Rio Claro (a sul).

De acordo com o Projeto RADAMBRASIL (1983), os solos da área de estudo são: podzólico vermelho-amarelo na região planáltica, cambissolo álico nas Serras do Juqueriquerê (quadrante sudoeste da área de estudo) e de São Sebastião (quadrante sudeste), e podzol hidromórfico na planície costeira.

O solo é destinado, predominantemente, à lavoura, silvicultura e pastagens naturais e plantadas (Kurkdjian et al., 1992), estando essas localizadas nas regiões planáltica e planície costeira.

Há extração de areia (portos de areia de pequeno porte) na região costeira (Rio Guaxinduba - próximo à BR-101, sentido Caraguatatuba-Ubatuba), assim como a exploração de saibro na base das escarpas da Serra do Mar e nos morros isolados da planície costeira (SP-99, nas proximidades da rodoviária da cidade de Caraguatatuba).

2.3 - GEOLOGIA REGIONAL

A partir do levantamento bibliográfico efetuado para a área de estudo, verificou-se que os mapeamentos geológicos existentes na região são descontínuos e apresentam diferenças quanto aos objetivos e escala de trabalho (todos em nível regional). Esses trabalhos abordam informações de forma generalizada, além de tecerem considerações tectono-estruturais que não são adequadas para um cinturão de cisalhamento,

¹ Caracteriza-se pela presença de formas mamelonares e planícies aluviais restritas. Apresenta altitudes que variam de 700 a 930 m, amplitudes altimétricas de 80 a 200 m e declividades dominantes de 10 a 20% e de 20 a 40% (Ponçano et al., 1981).

contexto no qual a citada região está inserida. Hasui et al. (1994) abordam de forma sucinta as modificações sucessivas na concepção geológica do litoral paulista.

Desta forma, foram utilizados neste capítulo dados de trabalhos clássicos (na maior parte coletâneas) que englobam a área de estudo, casos dos mapeamentos elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT.) e outras instituições. Todos esses trabalhos foram elaborados entre as décadas de 70 e 80. Utilizou-se também de trabalhos mais recentes, tais como os de Veneziani et al. (1992, 1993), Rocio (1993), Anjos e Veneziani (1993), Okida et al. (1994), Veneziani e Okida (1995), Beisl et al. (1995) e Oliveira et al. (1995), que abordam a região sobre um contexto tectono-estrutural mais moderno (cinturões de cisalhamento).

2.3.1 - CONTEXTO TECTONO-ESTRUTURAL

A área de estudo insere-se na Região de Dobramentos Sudeste (Almeida et al., 1976), mais especificamente no Conjunto Costeiro de Hasui e Sadowski (1976) ou Compartimento Litorâneo de Hasui et al. (1978b).

A região encontra-se cortada pela Faixa de Cisalhamento São Paulo ou Zona de Transcorrência São Paulo, conforme denominação de Hasui et al. (1975).

A Faixa de Cisalhamento São Paulo, de deslocamento dextral (Veneziani et al., 1992) da ordem de 300 km (Hasui et al., 1975), correspondente ao “feixe de falhas transcorrentes” mais expressivo da Região de Dobramentos Sudeste e engloba unidades do Ciclo Brasileiro e complexos litológicos arqueanos que foram retrabalhados em ciclos termo-tectônicos Pré e Sin-Brasileiros (Hasui et al., 1984). As unidades anteriormente mencionadas encontram-se dispostas segundo a direção geral NE-SW, correspondente à direção do “feixe de falhas transcorrentes”. As “falhas” do leste paulista foram descritas por Hasui et al. (1977) e Melo e Pires Neto (1977).

Segundo Hasui et al. (1984), a área apresenta uma estruturação bastante complexa relativa a uma evolução policíclica e polimetamórfica.

Estudos mais recentes, como os de Veneziani et al. (1992, 1993), Rocio (1993), Anjos e Veneziani (1993), Okida et al. (1994), Veneziani e Okida (1995), Beisl et al. (1995) e Oliveira et al. (1995) mostram que a região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo apresenta uma evolução progressiva compatível com aquela que ocorre em zonas de cisalhamento dúcteis a dúcteis-rúpteis não coaxiais, com fortes componentes direcionais.

2.3.2 - UNIDADES GEOLÓGICAS

Neste trabalho adotou-se a descrição de Bistrichi et al. (1981) para as unidades geológicas (Figura 2.2).

2.3.2.1 - A FORMAÇÃO CANANÉIA E OS SEDIMENTOS CONTINENTAIS INDIFERENCIADOS, MARINHOS E MISTOS

A Formação Cananéia e os sedimentos continentais indiferenciados, marinhos e mistos podem ser caracterizados da seguinte forma:

- 1) Formação Cananéia (Grupo Mar Pequeno - Qc): descrita por Suguio e Petri (1973, citado por Ponçano, 1981), essa formação é composta por areias inconsolidadas de extrema uniformidade granulométrica (80% dos grãos estão no intervalo entre areia fina a muito fina) e frequentemente impregnadas com matéria orgânica e leitos de argila. As areias apresentam estratificação plano-paralela de grande persistência lateral e algumas laminações destacadas por minerais pesados. Ocorrem também estratificações cruzadas de pequeno porte (métricas), estratificações acanaladas e laminações cruzadas de marcas onduladas. Atualmente a concepção mais aceita para essa unidade é a de Suguio e Martin (1978; 1994). De acordo com esses autores, a formação é composta por depósitos marinhos ou lagunares ligados às transgressões Cananéia e Santos de idade Quaternária (Pleistoceno Superior e Holoceno, respectivamente). Os depósitos relativos à transgressão Cananéia são representados por terraços marinhos com 7 a 8 m de altitude. Esses terraços encontram-se muito dissecados pela erosão e dispostos principalmente na parte norte da Planície de Caraguatatuba. Os depósitos da transgressão Santos são formados por duas gerações de cordões litorâneos como atestado por Cruz (1974), cujas depres-

sões(inter-cordões) apresentam depósitos argilosos. Os terraços dessa transgressão encontram-se a 5 m do nível do mar.

Essa formação é fossilífera e apresenta espessura média de 30 metros na região de Caraguatatuba.

Apesar de não estar presente no mapa de Bistrichi et al. (1981), a Formação Pariquera-Açú (Grupo Mar Pequeno) é mencionada por I.P.T. (1974 citado por Melo e Pires Neto, 1977) como presente na Planície de Caraguatatuba. Essa formação, situada sob os sedimentos das Formações Cananéia e Ilha Comprida, é composta basicamente por siltitos arenosos-argilosos e areias arcoseanas de origem fluvial com intercalações de cascalho. Esses sedimentos estão sobre pedimentos e terraços, sendo que os detritos mais grosseiros estão na periferia e na calha de vales (Ponçano, 1981).

- 2) Sedimentos continentais indiferenciados (Qi): depósitos elúvio-coluvionares de idade Holocênica, natureza areno-argilosa e dispostos nos sopés da Serra do Mar.
- 3) Sedimentos marinhos e mistos (Qm): atuais e sub-atuais com poucos metros de espessura (Ponçano, 1981). Apresentam termos arenosos de praia, depósitos marinhos localmente retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica e termos areno-siltico-argilosos de origem flúvio-marinho-lacustre e depósitos de manguesais.

Os sedimentos arenosos apresentam estruturas de cordões de regressão e são frequentemente impregnados por material húmico e ferruginoso que formam leitos de arenitos consolidados de cor café, eventualmente capeados por dunas.

Os aluviões antigos são formados por areias imaturas, lentes de argila e cascalhos, com estratificação cruzada e dispostos em terraços fluviais de 7 a 8 m acima dos leitos dos rios.

Os manguesais constituem-se de sedimentos lamosos, com biodetritos e material fino proveniente das oscilações do nível do mar.

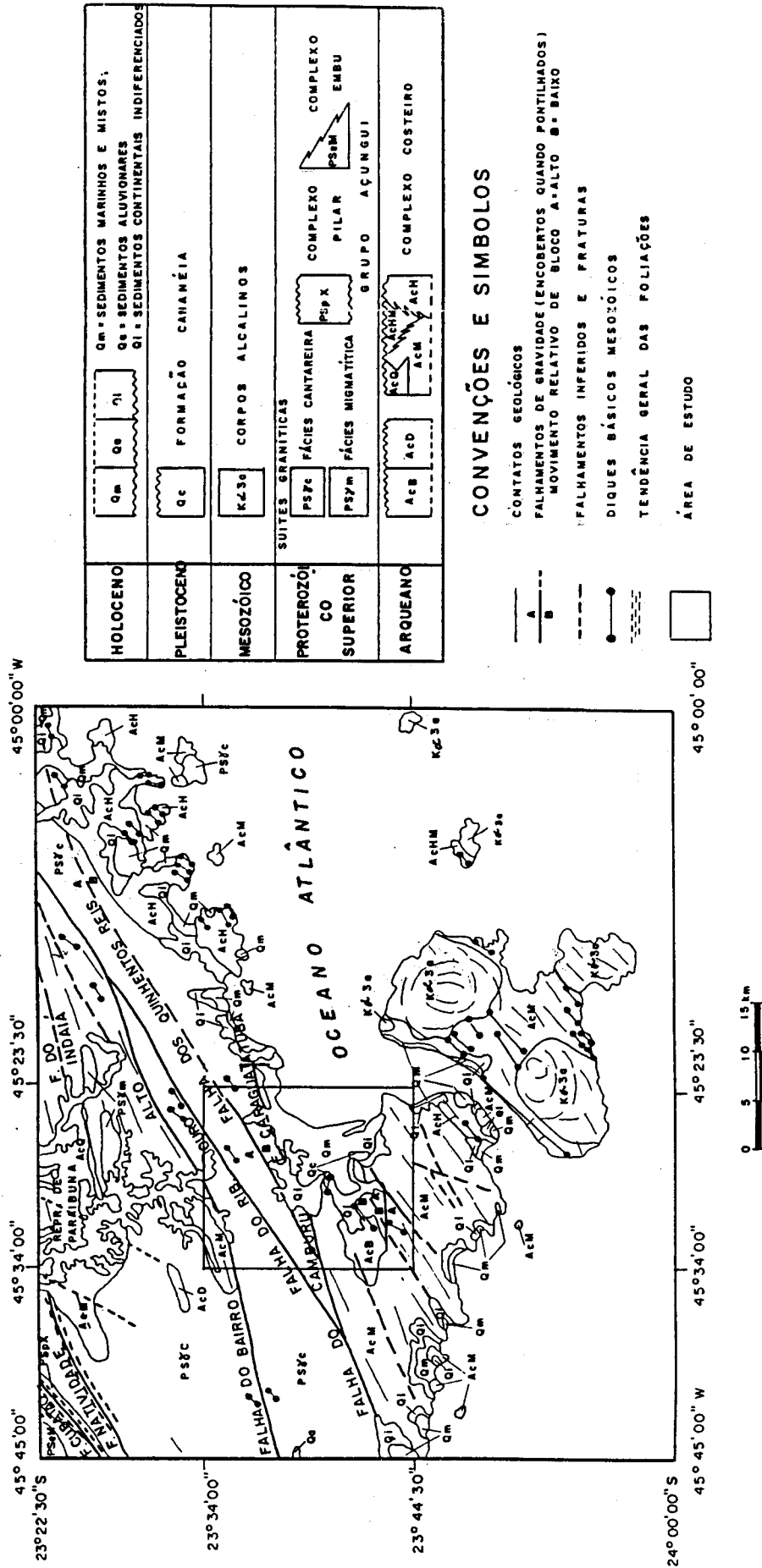


Fig. 2.2 - Mapa geológico da área de estudo
 FONTE: Bistrichi et al. (1981), v.2

Legenda das unidades geológicas do mapa geológico de Bistrichi et al. (1981):

- Qm: sedimentos arenosos praias, depósitos marinhos, termos areno-siltico-argilosos e depósitos de mangue.
- Qa: aluviões incluindo areias inconsolidadas, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente.
- Qi: sedimentos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa.
- Qc: areias marinhas finas inconsolidadas, freqüentemente limonitizadas, com leitos argilosos.
- K α 3a: nefelina sienitos, pulaskitos, teralitos, essexitos, nordmarkitos, tinguaitos e álcali-sienitos com diques de micro-sienitos, traquitos, lamprófiros, fonólitos, tinguaitos, nordmarkitos e teschenitos.
- PS γ c: corpos parautóctones e alóctones de composição granodiorítica a granítica.
- PS γ m: corpos autóctones incluindo anatexitos, nebulitos e ofalmitos de composição tonalítica a granodiorítica.
- PSpX: quartzo-micaxistos, biotita-quartzo xistos, moscovita-quartzo xistos, granada-biotita xistos, xistos grafitosos, clorita xistos, sericita-biotita xistos, talco xistos, magnetita xistos e calcoxistos com intercalações de filitos, quartzitos, mármore, calcossilicáticas e metassilitos.
- PSeM: migmatitos homogêneos com estruturas variadas de paleossoma xistoso, gnáissico ou anfibolítico; migmatitos homogêneos variados predominando os homofânicos, oftálmicos e facoidais.
- AcB: metagabros, metadioritos, quartzo dioritos.
- AcD: micaxistos, magnetita xistos, xistos magnesianos e intercalações quartzíticas, calcossilicáticas e filitosas.
- AcM: migmatitos metatexíticos e migmatitos policíclicos complexos de paleossoma xistoso e/ou gnáissico
- AcQ: quartzitos, magnetita quartzitos e quartzitos calcossilicáticos.
- AcHM: charnoquitos, kinzigitos e rochas granito-gnáissicas a hiperstênio.
- AcH: piroxênios granulitos, granulitos quartzo-feldspáticos, kinzigitos, charnoquitos e rochas granito-gnáissicas a hiperstênio, inclui anfibolitos e serpentinitos.

2.3.2.2 - GRANITÓIDES SIN-TECTÔNICOS

Entre as suítes graníticas sin-tectônicas (650 +/- 30 m.a., Wernick, 1979) do Pré-Cambriano paulista, a Fácies Cantareira (PS_{7c}) é a mais expressiva, tanto pelo número de corpos, como pela expressão areal. Essa fácies é representada por batólitos e “stocks” de composição granodiorítica a granítica, afetados por “falhas transcorrentes”. Aparece em anticlinórios do Ciclo Brasileiro. Possui origem mesozonal a catazonal, com caráter alóctone a parautóctone, foliação cataclástica-milonítica, granulação fina a média, textura porfirítica e feições de contato tanto transicionais quanto discordantes, desenvolvendo auréolas de contato quando intrudidos em metamorfitos de baixo grau.

Esses granitóides apresentam diversificação tanto estrutural, quanto textural e mineralógica (Hasui et al., 1978a), sendo o tipo mais comum o granito-gnaiss com foliação concordante ao *trend* regional. Esse granito-gnaiss possui granulação fina a média, megacristais de feldspato potássico (FK) oriundos de metassomatose tardia, que conferem à rocha um caráter porfiróide.

2.3.2.3 - COMPLEXO COSTEIRO

Essa unidade arqueana definida por Hasui et al. (Schobbenhaus, 1981, citado por Hasui et al., 1981), distribui-se na zona costeira do Estado de São Paulo e é limitada a norte com o Grupo Açungui através da Falha de Cubatão e no extremo leste do estado pelo Lineamento de Além-Paraíba. Sua maior expressão é na região de Caraguatatuba.

O Complexo Costeiro é bastante heterogêneo, sendo composto por rochas granitizadas e migmatizadas, de fácies granulito e anfibolito, que sofreram remobilização no proterozóico, acarretando modificações metamórficas, estruturais e rejuvenescimento isotópico. As relações entre tais litologias encontram-se não esclarecidas.

As rochas migmatíticas (AcM) são os litotipos predominantes dessa unidade. Tais rochas estendem-se por toda a área do Complexo Costeiro e são representados por metatexitos de estruturas variadas, predominando as estromáticas e diatexitos com termos oftálmicos, facoidais e homofânicos, cujo paleossoma apresenta natureza variada (xistoso, anfibolítico, gnáissico, quartzítico e calcossilicático). Os mais comuns são os migmatitos de estrutura complexa e paleossoma gnáissico.

Hasui e Sadowski (1976) dividem os migmatitos dessa unidade em três tipos: 1) estromáticos com neossoma calco-alcálico que sofreram feldspatização alcalina e geraram o tipo 2, ou fusão parcial e geraram o tipo 3; 2) porfiroblásticos com porfiroblastos de microclíneo róseo e 3) anatexíticos e diatexíticos restritos à zona beira-mar.

Rochas granulíticas são observadas nas proximidades de Caraguatatuba (fora da área de estudo - porção nordeste e sul-sudeste) sob forma de uma extensa faixa. São representadas por piroxênio granulitos, granulitos quartzo-feldspáticos, kinzigitos, charnoquitos e rochas granito-gnáissicas a hiperstênio, localmente migmatizadas e associadas a anfibolitos e serpentinitos.

Ocorrem também rochas básicas (metagabros, "metahornblenditos", anfibolitos, metadioritos, quartzo gabros e quartzo dioritos) nas proximidades do Reservatório de Paraibuna e no Bairro do Marisco (Complexo Bairro do Marisco descrito por Silva et al., 1977).

De acordo com Damasceno (1966 citado por Garda e Schorscher, 1994), diques máficos e ultramáficos de idade Cretácica pertencentes à Faixa Peruíbe - Rio de Janeiro cortam o Complexo Costeiro na região entre São Sebastião e Ubatuba. Esses diques são classificados como rochas de composição basáltica e rochas de afinidade lamprofirítica. As rochas de afinidade lamprofirítica situam-se mais frequentemente entre São Sebastião e Caraguatatuba e apresentam duas hipóteses de geração, ambas relacionadas à abertura do Oceano Atlântico:

- 1) relacionadas às rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião de idade de 80 m.a. (datado pelo método K-Ar);
- 2) associadas às manifestações carbonáticas de Jacupiranga e Juquiá de idade de 130 m.a.;

Tais idades corroboram com dados de Almeida (1986).

2.3.3 - EVOLUÇÃO TECTÔNICA

De acordo com Hasui et al. (1981), apesar da grande quantidade de datações no Pré-Cambriano paulista, não há uma definição exata do quadro evolutivo da região de estudo, em virtude da ocorrência de vários eventos superimpostos e da falta de evidências.

No entanto, é possível tecer a seguinte seqüência de eventos principais:

- 1) Ciclo Jequié: deslocamentos crustais de leste para oeste no Complexo Costeiro;
- 2) Ciclo Transamazônico: provável geração das supracrustais do Complexo Costeiro, com posterior metamorfismo regional, deformações, blastomilonitização e rejuvenescimento isotópico dessa unidade;
- 3) Ciclo Brasileiro: ocorrência de falhamentos transcorrentes com direção geral NE-SW do tipo dextral, desenvolvendo a Faixa de Cisalhamento São Paulo e formação de corpos granitóides sin-tectônicos;
- 4) Pós-Cambro-Ordoviciano: processo tectono-magmático denominado Reativação Wealdeniana. Nesse processo diastrófico foram reativadas antigas estruturas, originando diversas intrusões básicas e alcalinas;
- 5) Cretácio Inferior a Terciário Médio: fase de grande calma tectônica que desenvolveu extensa superfície de aplainamento (Superfície Japi de Almeida, 1964) durante o Ciclo Sul-Americano (King, 1956). Essa superfície corresponde as cimeiras no Planalto Atlântico que foram desniveladas entre si por basculamentos Oligocênicos, gerando as bacias tafrogênicas (*grabens*) e as Serras do Mar e da Mantiqueira (*horsts*);
- 6) Quaternário: ascensão epirogênica Pós-Pliocênica da Província Costeira somada as oscilações glácio-eustáticas Quaternárias controlaram a deposição dos depósitos relativos ao Grupo Mar Pequeno.

Os fenômenos deformacionais desenvolvidos durante esses ciclos são responsáveis pela complexidade tectono-estrutural da área. Assim, verifica-se a ocorrência de foliações desenvolvidas em diferentes “fases” da deformação progressiva, de forma que a foliação “So” e a xistosidade-bandamento frequentemente estão obliterados por transposição e superposição, tornando difícil o reconhecimento das estruturas originais (“So” e xistosidade). Por outro lado, as estruturas rúpteis regionais, juntas e falhas, com exceção daquelas relativas ao dobramento, parecem estar exclusivamente ligadas aos fenômenos de reativação Pós-Pré-Cambriano, pois cortam indistintamente todas as unidades estratigráficas.

Desta forma, o quadro cinemático da região é muito complexo e tentativas de identificação dos movimentos ora compressivos ora distensivos, que desenvolveram as estruturas dúcteis e rúpteis, passam pelo reconhecimento detalhado de feições diagnósticas observáveis em produtos de sensoriamento remoto e no campo, em nível de afloramento.

2.3.4 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

Segundo Hasui et al. (1981), as principais estruturas existentes na região são “falhas transcorrentes” Tardi-Brasilianas, de direção geral NE-SW e sem sentido de movimento definido. Essas “falhas” formam feixes de caráter anastomosado e apresentam natureza dúctil, rúptil-dúctil e rúptil. Tal natureza confere aos feixes extensas faixas cataclasadas (maior ou igual a 1.500 m) e milonitizadas (protomilonitos a ultramilonitos) com minerais recristalizados (quartzo e mica).

A área possui outras estruturas, como o sinclínório entre Paraibuna e Caraguatatuba (Santos et al., 1978; Hasui et al., 1981). O eixo desse sinclínório passa próximo à borda do Planalto Atlântico, junto a Serra do Mar. Nos flancos dessa estrutura foram descritos núcleos granulíticos mais ou menos migmatizados e injetados de granitóides.

De acordo com Hasui et al. (1984), ocorrem na área de estudo sistemas de fraturamentos transversais à direção dos feixes de falhas transcorrentes, formando um complexo mosaico de blocos.

Trabalhos de Veneziani et al. (1992, 1993), Rocio (1993), Anjos e Veneziani (1993), Okida et al. (1994), Veneziani e Okida (1995), Beisl et al. (1995) e Oliveira et al. (1995) mostram que no Proterozóico as deformações na área foram compatíveis as de uma zona de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil (deformação progressiva não coaxial), desenvolvendo foliações cataclástica-miloníticas e verticalização de estratos.

Esses autores observaram em macro escala (imagens de satélite) a presença de feições diagnósticas de uma movimentação destal para o *trend* principal (N50-60E e N60-70E). Tais feições são: arrastos de foliações, falhas anastomosadas, dobras com eixos verticais e movimentos tangenciais (empurrões/falhas inversas). Já *trends* secundários, como N80W a E-W e N10W a N-S, apresentam movimentos sintéticos e antitéticos, respectivamente. Dados de afloramentos, como estruturas S-C, dobras intrafoliais disruptas com eixos verticalizados, sombras de pressão, rotação de minerais e lineações de estiramento, confirmam os movimentos anteriormente descritos.

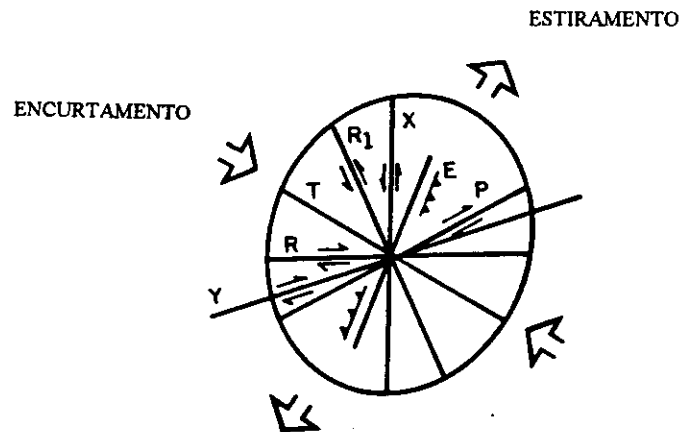
Em trabalho de campo realizado nas proximidades do município de Ubaituba (Okida et al., 1994) foram observadas rochas granulíticas com direção de foliação N50-60E e movimento oposto ao *trend* regional, isto é, movimento sinistral. Tal fato foi interpretado pelos autores como um provável vestígio de uma deformação de idade Arqueana.

De acordo com os autores anteriormente citados, as direções N40-50E e N10-20W, interpretadas a partir das imagens orbitais e observadas em campo, correspondem a falhas de empurrão, xistosidade de fluxo (N40-50E) e foliação cataclástica-milonítica (N10-20E - rampas oblíquas), todas com ângulos baixos de mergulho. A primeira direção resulta do movimento tangencial (rampa frontal) que desenvolveu à xistosidade de fluxo. Essa xistosidade, encontra-se dobrada isoclinalmente com vergência para noroeste. Com a deformação progressiva, a xistosidade de fluxo foi sendo rotacionada e verticalizada, principalmente ao longo das direções N50-60E a N60-70E e N80W a E-W. Com a evolução dos movimentos transcorrentes ao longo dessas últimas direções, a xistosidade foi transposta-superposta por foliações cataclástica-milonítica que por sua vez foram dobradas dando origem a dobras assimétricas, disruptas, com eixos verticais. A direção N10-20W corresponde a rampas oblíquas com movimento inverso/sinistral.

Todas as direções acima mencionadas, correspondem a linhas de fraqueza que são ativas desde os tempos arqueanos e apresentaram durante o transcorrer do tempo geológico, movimentos ora compressivos, ora distensivos, inclusive exercendo controles paleogeográficos, sedimentológicos e tectônicos.

Veneziani et al. (1992, 1993), Rocio (1993), Anjos e Veneziani (1993), Okida et al. (1994), Veneziani e Okida (1995), Beisl et al. (1995) e Oliveira et al. (1995) também mencionam quatro conjuntos de zonas de juntas principais para a área de estudo (N50-60E a N60-70E, N80W a E-W, N40-50W e N10W a N-S) que se dispõem paralelamente às direções Y, R, T e X do modelo teórico-empírico de Riedel (1929) adaptado por Sadowski (1983 - Figura 2.3). Esses conjuntos representam estruturas não coesivas Pós-Pré-Cambrianas, interpretadas como reativações das antigas linhas de fraqueza crustal.

Nesses últimos trabalhos também foram observadas drenagens com padrões circulares (anelares e elípticas), que foram interpretados como reflexos da superposição de dobras flexurais com eixos de direção geral N-S e E-W (Figura 2.4), originadas pela movimentação vertical de blocos (principalmente ao longo dessas direções), ocorrida a partir do final do Pré-Cambriano, com picos no Mesozóico e Terciário (Melo e Pires Neto, 1977; Asmus e Ferrari, 1978; Hasui et al., 1980 citado por Hasui et al., 1984; Hasui et al., 1981). Tais dobras flexurais deram origem a altos (antiformes) e baixos (sinformes). A reativação mencionada com movimentos essencialmente verticais, flexurou todas as unidades litoestratigráficas presentes na área, como se essas constituíssem um único conjunto.



As direções da zona de cisalhamento, fraturas e eixos de dobras podem apresentar uma variação de até 15° .

Fig. 2.3 - Principais conjuntos de zonas de juntas paralelas às direções do modelo de Riedel (1929) adaptado por Sadowski (1983).

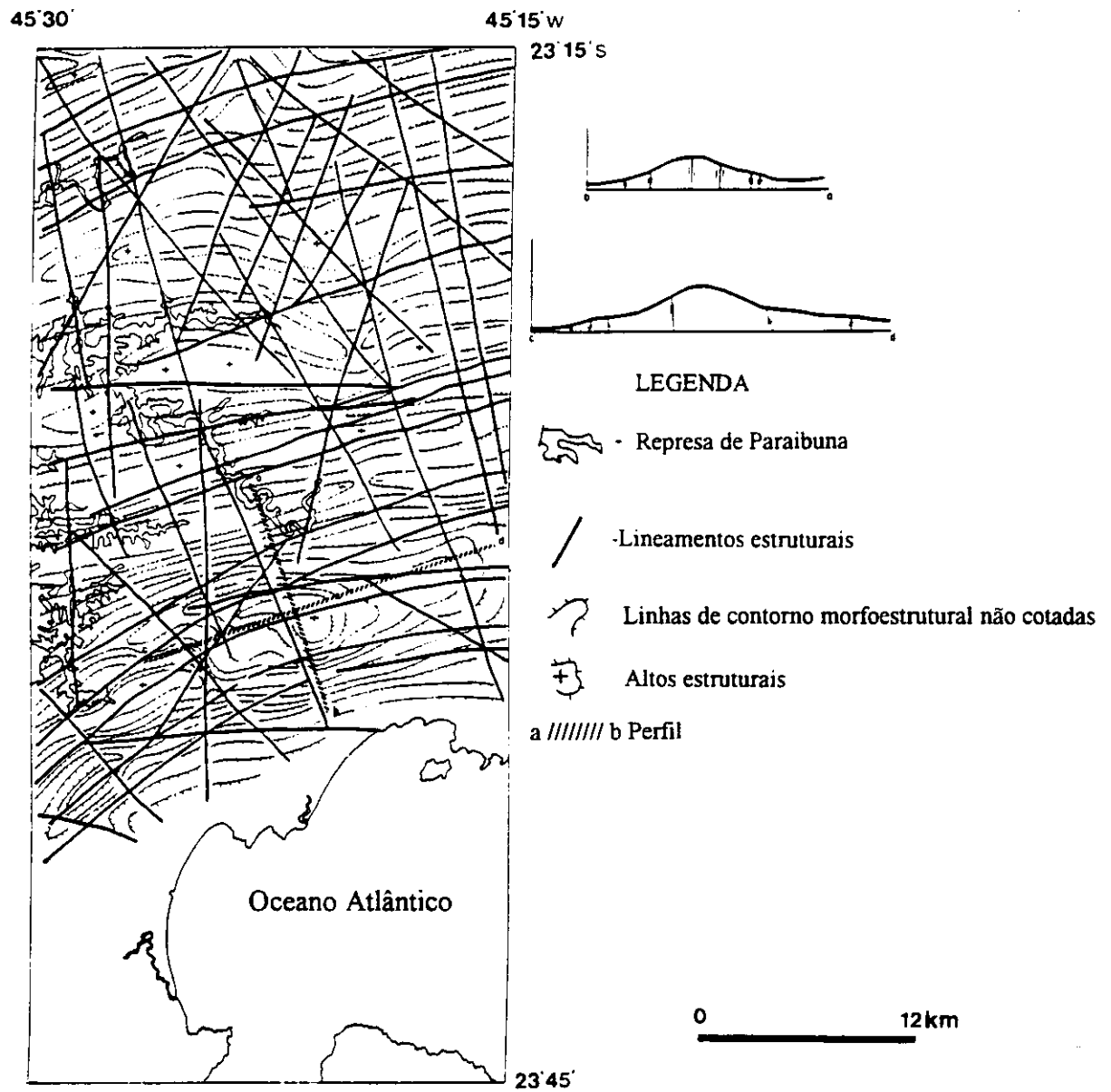


Fig. 2.4 - Mapa morfoestrutural das Quadrículas de Natividade da Serra e Caraguatatuba (S.P.).

FONTE: Okida et al. (1994), p. 450.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROPOSTA METODOLÓGICA

3.1 - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos, a saber:

- 1) Imagens TM-LANDSAT-5 (Tabela 3.1);

TABELA 3.1 - IMAGENS TM-LANDSAT-5 UTILIZADAS

Produtos (formato)	Data	Órbita/Ponto	Bandas
papel (1:100.000)	03/07/1988	218/76C	4
transparência positiva (1:1.000.000)	03/07/1988	218/76	4
digital (CCT ¹)	06/01/1987	218/76C	3,4,5,7
digital (<i>Streamer</i>)	30/07/1992	218/76C	3,4,5,7

A escolha das imagens foi feita a partir dos seguintes critérios:

- a) para o estudo dos movimentos gravitacionais de massa: baixo ângulo de elevação solar, ângulo de azimute solar oblíquo ao *trend* principal da área (N60-70E), baixa cobertura de nuvens (menor ou igual à 10%) e alta visibilidade (maior ou igual à 7);
- b) para o estudo das áreas de inundação: foram utilizados os mesmos critérios que para o estudo dos movimentos de massa, mais a aquisição de imagens nas datas (dia, mês e ano) de alto e baixo índices pluviométricos (meses de janeiro e julho, respectivamente). O último critério não foi atendido rigoro-

¹ Computer Compatible Tape.

samente, visto a não disponibilidade de imagens no Laboratório do INPE de Cachoeira Paulista referentes a todas as datas de alto e baixo índices pluviométricos e ao difícil acesso a tais dados, via outras instituições.

As imagens do satélite francês SPOT não foram utilizadas neste trabalho, porque as imagens disponíveis para a área de estudo apresentam ângulos de elevação solar inadequados (de valores elevados) para uma interpretação geológica ou geomorfológica, como mencionado por Florenzano (1993).

- 2) Fotografias aéreas pancromáticas verticais, na escala de 1:8.000. Fotos: 29-230 a 29-234 e 30-236 a 30-243;
- 3) Fotografias aéreas coloridas oblíquas, na escala de 1:5.000 (1992). Fotos: E-25, F-06, F-07, F-16 a F-19;

Apesar da área de estudo possuir fotografias aéreas em várias datas, foram utilizadas somente as dos anos de 1977 e 1992. O primeiro conjunto foi escolhido por ser o de maior escala e por apresentar a melhor qualidade fotográfica, enquanto o segundo conjunto foi escolhido por ser o mais recente (para checagem de novas cicatrizes de escorregamentos "latu sensu" e para a análise da ocupação e/ou uso do solo no vale do Rio Santo Antônio). As fotos de 1992 não foram escolhidas para interpretação, visto possuírem uma acentuada obliquidade, distorcendo demasiadamente o relevo.

- 4) Cartas topográficas de Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1) e Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2), na escala de 1:50.000 (IBGE, 1974 a, b);
- 5) Sistema de tratamento de imagens digitais (SITIM-150 e 340, INPE);
- 6) Sistema projetor-amplificador (PROCOM-2) da Gregory Geoscience LIMITED;
- 7) Estereoscópios.

3.2 - PROPOSTA METODOLÓGICA

Previamente às considerações sobre a metodologia proposta, serão discutidos alguns termos utilizados neste trabalho, assim como um breve estado da arte sobre os movimentos gravitacionais de massa e as inundações.

Com relação aos trabalhos referentes a movimentos gravitacionais de massa ou escorregamentos "latu sensu", inundações ou outros fenômenos denominados de causa "natural", verifica-se que entre eles há fortes discordâncias quanto às classificações. Esses trabalhos também empregam, freqüentemente, várias termos sem um rigor científico.

Vários são os trabalhos que abordam conceitos, metodologias e classificações de escorregamentos. Como referência, destacam-se os trabalhos de Augusto Filho et al. (1990), Cunha et al. (1991), Ogura et al. (1992) e Cerri (1993). Em contraposição, os trabalhos referentes a inundações são bastante reduzidos.

Assim, sem ter a pretensão de polemizar ainda mais o assunto, são utilizados neste trabalho os termos **ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA** ou **ESCORREGAMENTOS "LATU SENSU"** e **ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES**. Entende-se por esses termos os locais sujeitos à ocorrência de fenômenos causados por processos "naturais", com ou sem indução antrópica. Nesses locais há a possibilidade de serem registrados danos e/ou perdas de vidas e de propriedades, ou seja de acidentes. Essas áreas são o resultado da susceptibilidade e da probabilidade da ocorrência de um evento sobre o meio físico (adaptado de Augusto Filho et al., 1990).

São também adotados os termos **ÁREAS POTENCIAIS** e **ÁREAS ATUAIS** ou **REAIS**. O primeiro termo refere-se às áreas sujeitas à ocorrência de acidentes, sendo essas ainda não ocupadas pelo homem. Para as áreas potenciais não são analisadas a vegetação e a dinâmica ocupacional. O segundo termo refere-se às áreas com residências já instaladas, ou seja associadas à "franja" de ocupação atual (adaptado de Augusto Filho, 1993).

Os movimentos gravitacionais de massa são aqui definidos como os movimentos coletivos que provocam transporte de material superficial (solo e/ou rocha) em encostas pela ação da gravidade e da água. São várias as classificações existentes, no entanto os principais tipos de movimentos citados pela literatura e adotados neste trabalho são: rastejo, escorregamentos, corridas e quedas e tombamentos. Trabalhos como os de Menco (1989), Cunha et al. (1991) e Cerri (1993), entre outros, descrevem as principais características desses movimentos.

De acordo com São Paulo. Secretaria da Ciência e Tecnologia-Secretaria do Meio Ambiente (1987/1988), os escorregamentos "latu sensu" podem ocorrer de forma isolada (escorregamentos esparsos) no tempo e no espaço, ou de forma concentrada (escorregamentos generalizados).

O termo inundação pode ser definido como um tipo particular de cheia ou enchente, onde a vazão supera a capacidade de descarga dos cursos d'água, acarretando o extravasamento das águas para áreas marginais (Ohnuma et al., 1994).

Wolle e Carvalho (1994) fazem um breve histórico sobre os estudos de instabilidade de encostas. Segundo esses autores, os estudos iniciaram-se no final da década de 40, assumindo caráter mais sistemático na década de 50, com os acidentes na cidade de Santos. No entanto, somente nos anos 70 o assunto teve destaque, sendo que na década seguinte os estudos dividiram-se em: 1) ensaios laboratoriais e "in situ" e, 2) estudos regionais, enfocando a cartografia geotécnica.

Pelo levantamento bibliográfico efetuado, verificou-se que as metodologias de cartografia de áreas sujeitas a escorregamentos e a inundações são recentes e pouco desenvolvidas no Brasil.

Verifica-se que os escorregamentos são, na maior parte das vezes, retratados somente a partir de dados de campo, com ou sem cadastramento (exemplos: Prandini et al., 1980; Freitas e Prandini, 1991 e Augusto Filho et al., 1993). Atualmente, alguns trabalhos vêm-se utilizando das técnicas de sensoriamento remoto (Riedel, 1994) e de geoprocessamento, como os trabalhos de Barros et al. (1990), Amaral et al. (1993) e Sadowski (1992).

Quanto às metodologias de cartografia de áreas sujeitas à inundação, essas utilizam principalmente análises multitemporais efetuadas com produtos de sensoria-mento remoto (exemplos: Currey, 1977; Novo e Santos, 1981; Novo et al., 1981; Novo, 1983; Niero et al., 1984; Pinto et al., 1985; Florenzano et al., 1988 e Florenzano et al., 1990).

A metodologia proposta neste trabalho é dividida em duas partes: para áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e para áreas sujeitas a inundações (Figura 3.1).

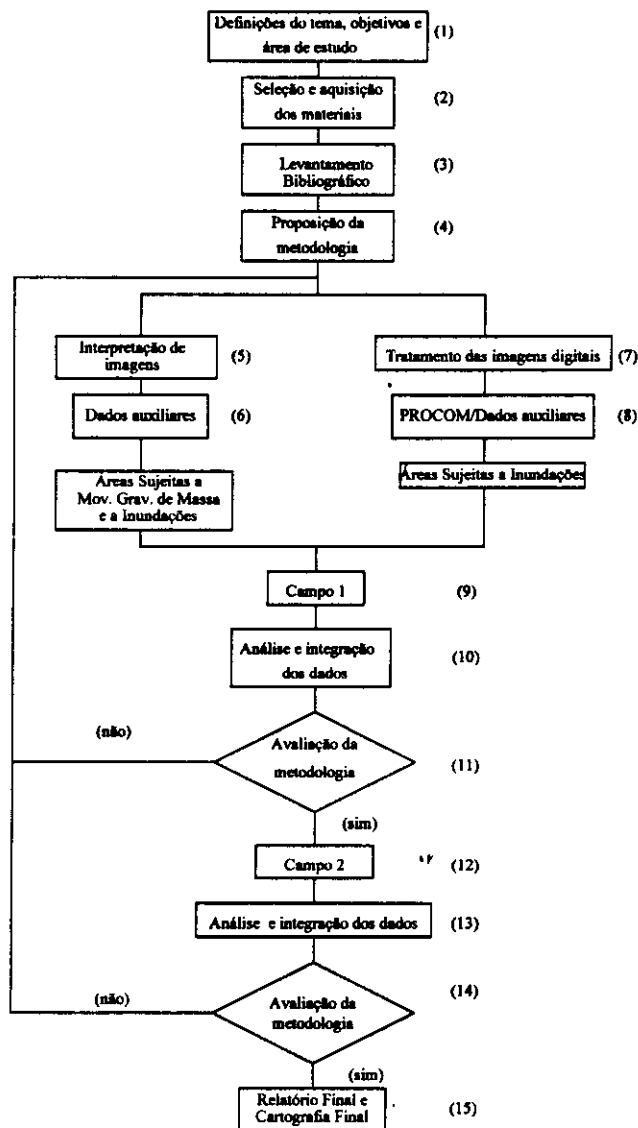


Fig. 3.1 - Diagrama de fluxo de trabalho.

3.2.1 - ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

As áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa foram delimitadas e caracterizadas a partir da interpretação de imagens fotográficas (TM-LANDSAT-5 e fotografias aéreas), trabalhos de campo e dados auxiliares (declividade, hipsometria, amplitude altimétrica e pluviometria).

Neste trabalho, a análise, a interpretação e a avaliação dos resultados estão relacionados quase que exclusivamente com as feições estruturais, visto serem essas o fator condicionador dos movimentos de massa (observação corroborada por Nieble et al., 1982; Alexander e Formichi, 1993; Riedel, 1994). Pluviometria, declividade, vegetação, litotipos e ocupação urbana foram analisados de forma secundária devido serem fatores deflagradores ou "catalisadores" de tais movimentos.

A partir do método lógico e sistemático de fotointerpretação proposto por Guy (1966), transcrito por Rivereau (1972) e adaptado por Soares e Fiori (1976) e Veneziani e Anjos (1982) para fotografias aéreas e imagens orbitais, respectivamente, foi possível confeccionar vários mapas temáticos (drenagem, traços de foliações, traços de fraturas, frequência de traços de fraturas, lineamentos estruturais, domínios estruturais, unidades de relevo, morfoestrutural e litotipos) que auxiliaram no zoneamento e na caracterização das áreas sujeitas a movimentos de massa (escalas de 1:50.000 e de 1:8.000).

O método lógico baseia-se essencialmente em três etapas: 1) fotoleitura, 2) fotoanálise e 3) fotointerpretação. Seu objetivo principal é identificar os alvos e deduzir o seu significado (neste caso, geológico), valendo-se do exame e da avaliação dedutiva-indutiva dos elementos texturais².

Todos os mapas temáticos foram elaborados na escala de 1:100.000 pela análise e interpretação da imagem TM-LANDSAT-5, banda 4, de 03/07/1988, em dois formatos: papel branco e preto (escala de 1:100.000) e transparência positiva para complementação dos dados (escala de 1:1.000.000 ampliada para a escala de 1:100.000 no

² "São as menores superfícies contínuas e homogêneas, distinguíveis na imagem e passíveis de repetição, com formas e dimensões definidas" (Rivereau, 1972).

PROCOM-2). Alguns mapas temáticos também foram complementados com dados de campo.

Os mapas temáticos foram elaborados da seguinte forma:

- 1) Drenagem: elaborado pela compilação integral da drenagem da carta topográfica na escala de 1:50.000, reduzida para a escala de 1:100.000. A drenagem também foi complementada e corrigida a partir da imagem TM-LANDSAT-5, banda 4, na escala de 1:100.000. A densidade textural, a assimetria, assim como outras propriedades texturais da rede de drenagem, forneceram indicações de características físico-químicas e estruturais do material subjacente;
- 2) Traços de foliações: representam esquematicamente as direções das foliações existentes em uma área. São reconhecidos na imagem fotográfica como todos os elementos texturais ou feições lineares ou lineações de relevo (feições positivas) retilíneas a quase retilíneas e/ou os elementos texturais de drenagem (ou feições negativas) de 1ª ordem, com dimensões definidas (4 a 5 mm na escala de 1:100.000) e normalmente paralelas aos planos de simetria de relevo e drenagem. As feições lineares de relevo representam os planos de estratificação dos litotipos, visto que tais rupturas de declive representam a diferença de competência entre os materiais que compõem os litotipos. Já as feições lineares de drenagem de 1ª ordem que ocorrem paralelas aos planos de simetria de relevo e drenagem, correspondem as foliações cataclásticas-miloníticas, que formam feixes paralelos ao *trend* regional. Após a confecção do mapa foi feita uma análise visual das principais direções de traços de foliações para estabelecer as relações espaciais e de idade relativa;
- 3) Traços de fraturas: feições lineares retilíneas extraídas do mapa de drenagem (feições negativas), com extensão de 4 a 5 mm. Excetuam-se aquelas feições paralelas aos planos de simetria de relevo e drenagem. Podem também ser extraídos diretamente da imagem fotográfica, levando em consideração as mesmas características mencionadas acima. De acordo com Plicka (1974), um sistema de juntas³, com altos ângulos de mergulho (70° a 90°) e espaçamentos frequentes (variando de 10 a 30 cm) é denominado, em campo, de zona de

³ Conjunto de juntas paralelas a subparalelas (Hobbs et al., 1976).

juntas. A zona de juntas apresenta largura de 0,5 a 6 m. Da mesma forma que do mapa de traços de foliações, foi feita uma análise visual das direções principais de traços de fraturas;

- 4) Direções principais ou máximos 1 e 2 de traços de foliações: elaborado a partir de um molde vazado com formato circular, diâmetro de 8 cm e sobreposto ao mapa de traços de foliações. Em cada região recoberta pelo molde vazado foram demarcadas, em cores diferentes, as duas direções principais de traços de foliações da área de estudo. Esse mapa tem por finalidade caracterizar as direções principais de traços de foliações na área de estudo e verificar qual a relação entre essas;
- 5) Direções principais ou máximos 1 e 2 de traços de fraturas: confeccionado da mesma forma que o mapa de direções principais de traços de foliações, porém utilizando o mapa de traços de fraturas. Esse mapa apresenta por finalidade caracterizar as direções principais de traços de fraturas na área de estudo e verificar qual a relação entre essas;
- 6) Frequência de traços de fraturas: elaborado a partir da análise estatística de traços de fraturas proposta por Aliyev (1982) e utilizada por Anjos (1986), Veneziani (1987), Crepani (1988), Rocio (1993), entre outros autores. Após a sobreposição de uma malha transparente com células de 2 cm x 2 cm no mapa de traços de fraturas, foram contados todos os traços contidos em cada célula. O número de traços de fraturas de cada célula foi colocado no respectivo centro da malha e interpolado com os outros valores por curvas de isofrequência. A equidistância utilizada para a interpolação das curvas foi de 2,5 número de traços de fraturas. As regiões com maior frequência de traços de fraturas foram representadas por eixos de máximo de frequência de traços de fraturas, que correspondem, de acordo com Aliyev (1982) e demais autores anteriormente citados, com as principais direções de fraqueza da crosta. Essas antigas direções de fraqueza crustal são responsáveis pelo controle e desenvolvimento das estruturas geradas em eventos tectônicos subseqüentes;

7) Lineamentos estruturais: definidos por Hobbs (1904, modificada por O'Leary et al., 1976 citada por Soares et al., 1982b) como as "feições lineares mapeáveis, simples ou compostas, contínuas ou descontínuas da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que diferem distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, refletem um fenômeno da subsuperfície". Neste trabalho os lineamentos representam em campo, conjuntos de zonas de juntas ou feixe de zonas de juntas e falhas. Os conjuntos de zonas de juntas são formados por zonas de juntas alinhadas com direção definida, gênese comum e repetitividade à distância de poucas a dezenas de metros uma das outras (Figura 3.2). Tais conjuntos são independentes de variações litoestratigráficas locais e da atitude dos estratos (fatores os que exercem controle sobre a frequência das zonas de juntas). O conjunto de zonas de juntas emerge de rochas mais antigas e se estende para rochas sobrejacentes mais novas, delineando estruturas tectônicas (falhas) e esboçando o arcabouço tectônico da região. O mapa de lineamentos estruturais foi confeccionado a partir do mapa de drenagem e complementado pela imagem orbital. Foram traçados os alinhamentos de drenagens que apresentam forma retilínea ou arqueada. Os lineamentos interpretados podem ser paralelos a direções estruturais dúcteis. Neste caso representam reativações distensivas destas antigas zonas de fraqueza crustal. O mapa de lineamentos foi comparado empiricamente ao modelo de fraturamento de Riedel (1929) adaptado por Sadowski (1983) para se obter uma idéia relativa dos possíveis movimentos ao longo das direções delineadas. Para estabelecer essa comparação considerou-se os seguintes fatos: 1 - que a direção-orientação dos lineamentos poderia ser paralela a antigas zonas de cisalhamento; 2 - que esse paralelismo não seria mero acaso, mas fruto da reativação distensiva Pós-Pré-Cambriana, com picos no Mesozóico e no Terciário; 3 - que apesar dos lineamentos atualmente representarem tais estruturas distensivas, em virtude do paralelismo na orientação com as zonas de cisalhamento, serviram como "guias" para inferir os movimentos compressivos dos tempos pré-cambrianos, tanto para as direções de deformação dúctil como para as direções rúpteis;

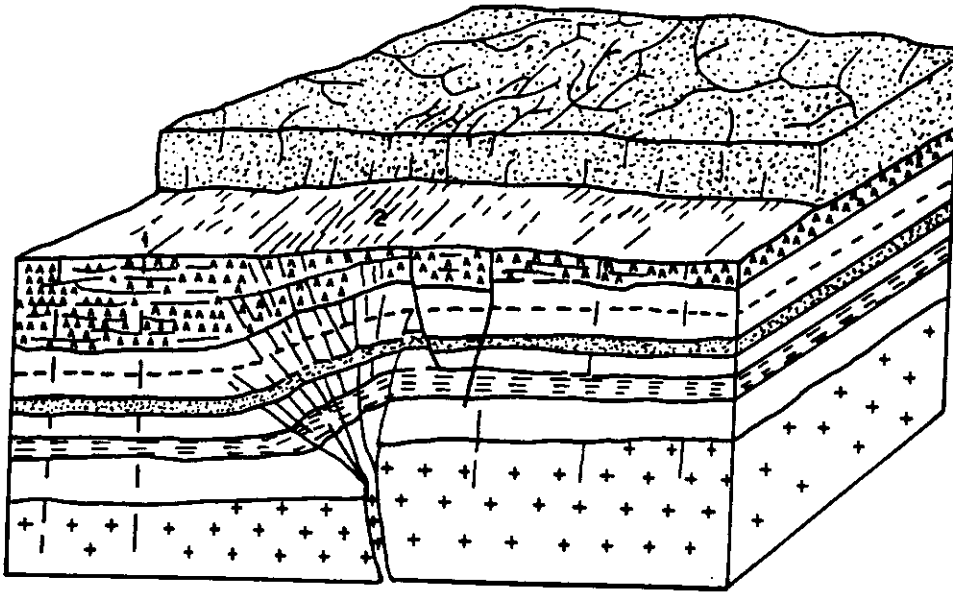


Fig. 3.2 - Zonas de juntas (1) e conjunto de zonas de juntas (2).

FONTE: Soares et al. (1982 citado por Anjos, 1986), p. 25.

- 8) Domínios estruturais: devido à área de estudo ser estruturalmente complexa, foram delimitados vários domínios estruturais. Os domínios foram divididos de acordo com os dados de foliação e fraturas interpretados e observados em campo. Cada domínio apresenta um comportamento singular (único) em termos deformacionais, refletido pelos sistemas de fraturas e/ou foliações e/ou lineações em relação aos outros domínios. Desta forma, foram elaborados para cada domínio, diagramas de rosácea de fraturas e projeções estereográficas (diagrama de frequência com o *software* Geli) das foliações e lineações minerais e de estiramento (dados de campo). Para confecção dos diagramas de rosáceas foram utilizados dados de “afloramentos chaves” (afloramentos mais expressivos) de cada domínio. Considerou-se como unidade padrão para a análise estatística das fraturas em cada afloramento, a extensão de 20 metros. Para os diagramas de frequência de foliações e lineações foram utilizados dados de todos os afloramentos pertencentes a cada domínio. A finalidade principal do mapa de domínios estruturais foi caracterizar as principais direções de fraturas e foliações que controlam os movimentos de massa, e verificar qual o tipo de tectônica predominante em cada domínio;

9) Unidades de relevo: constituem partes menores de um sistema de relevo, como adotado por Ponçano et al. (1981). São áreas de uma dada região que apresentam dimensões variáveis, formas de relevo simples e grau relativo de homogeneidade quanto às suas propriedades físico-químicas. Essas áreas foram discriminadas entre si, na imagem TM-LANDSAT, sob o ponto de vista morfológico (conceitos baseados em Ponçano et al., 1981), levando também em consideração o grau de estruturação (verificado pela lei de ordenação dos elementos texturais, drenagem e relevo) e o grau de dissecação (verificado pela densidade dos elementos texturais, drenagem e relevo), ambos analisados de forma relativa. As unidades de relevo foram delimitadas pelas rupturas de declive ou quebras positivas e negativas, levando sempre em consideração o grau relativo de homogeneidade de cada unidade. Em cada unidade analisou-se os seguintes atributos:

- a) declividade: baseado na carta de declividade de Florenzano (1993) na escala de 1:50.000. Adotou-se a classe de declividade predominante do mapa de declividade para cada unidade de relevo delimitada;
- b) formas de topos e encostas: foram observadas na imagem fotográfica pelo par luz-sombra (Veneziani e Anjos, 1982) e classificadas em: convexa-retilínea-côncava, côncava-côncava, convexa-côncava e convexa-convexa (Figura 3.3). As formas dos topos e das encostas foram também observadas em campo. De acordo com Vedovello (1993), é possível inferir sobre forma relativa, o grau de alterabilidade, o tipo de material do manto de alteração (Oliveira, 1989) e a espessura do manto de alteração somente pela análise das formas de topo e encosta (Tabela 3.2). Desta forma, foram feitas aferições a respeito dessas propriedades para cada unidade de relevo;

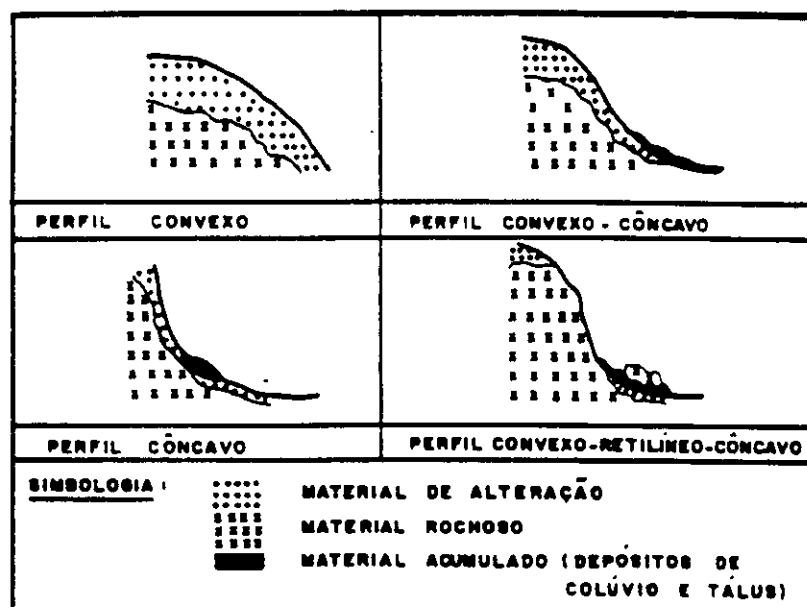


Fig. 3.3 - Perfis típicos de encostas.

FONTE: Vedovello (1993), p. 44.

- c) amplitude altimétrica: verificada no mapa de energia de relevo de Florenzano (1993) na escala de 1:50.000;
- d) hipsometria: verificada no mapa hipsométrico confeccionado por Florenzano (1993) na escala de 1:50.000;
- e) direções de traços de fraturamentos: verificadas no mapa de traços de fraturas ou no mapa de drenagem confeccionados neste trabalho na escala de 1:100.000. As unidades foram classificadas em uni, bi, tri ou multidirecional;
- 10) Morfoestrutural: elaborado a partir dos princípios básicos que regem a confecção de mapas morfoestruturais para área sedimentares (Soares et al., 1982a), com adaptações para áreas cristalinas intensamente deformadas. Assim, para a elaboração do mapa morfoestrutural da área de estudo, foram analisadas as assimetrias tanto de relevo (pela imagem TM-LANDSAT) como de drenagem (pelo mapa de drenagem), e os principais lineamentos estruturais (mapa de lineamentos estruturais). Considerando que todas as rochas Pré-Cambrianas fazem parte de um espesso pacote, tais assimetrias indicam que esse pacote foi dobrado flexuralmente, formando domos e bacias. Tais estruturas refletem o último processo tectônico que modelou as rochas da região. As assimetrias de

relevo foram verificadas a partir do par luz-sombra (Veneziani e Anjos, 1982 - Figura 3.4), enquanto as assimetrias de drenagem foram analisadas pelo comprimento dos canais de drenagem de primeira e segunda ordens dispostos perpendicular ou transversalmente a um eixo definido correspondente a uma drenagem coletora. Assim, para a análise da assimetria da rede de drenagem, os canais de drenagem com maior comprimento indicam o sentido do mergulho dos estratos (Figura 3.4). A partir de tal análise e da disposição dos lineamentos estruturais principais, que representam as antigas linhas de fraqueza crustal que controlaram o soerguimento/rebaixamento dos blocos, foram delimitadas as linhas de contorno morfoestrutural não cotadas ou linhas de formas, como citado por Soares et al. (1982a). Essas linhas de formas quando com assimetrias divergentes representam os altos estruturais da área de estudo (domos - antifformas), enquanto quando com assimetrias convergentes representam os baixos estruturais (bacias - sinformas, Figura 3.5);

TABELA 3.2 - FORMAS DE TOPOS E ENCOSTAS x GRAU DE ALTERABILIDADE/TIPO DE MATERIAL/ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO

TIPOS DE TOPOS E ENCOSTAS				
	convexa-convexa	convexa-côncava	côncava-côncava	convexa-retilínea-côncava
GRAU DE ALTERABILIDADE	muito alta	alta	média	baixa
MATERIAL DE ALTERAÇÃO	argiloso, coesivo, plástico	arenoso, semi coesivo, ligeiramente plástico	arenoso-argiloso, não coesivo, não plástico	arenoso (siltoso), coesivo, plástico
ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	muito espesso	moderadamente espesso	pouco espesso	delgado

FONTE: Adaptada de Oliveira (1989), p. 58; Vedovello (1993), p. 45.

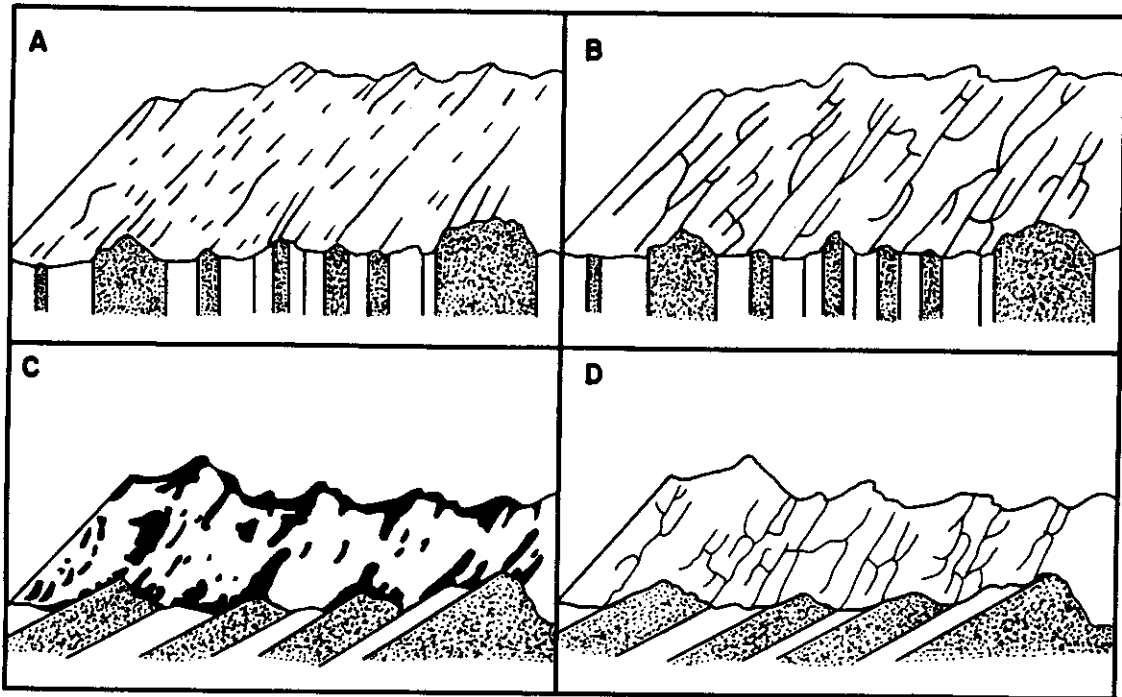


Fig. 3.4 - Avaliação das assimetrias de relevo e de drenagem através das propriedades das formas. A e B - subvertical e C e D - fortemente inclinado.

FONTE: Soares e Fiori (1976), p. 93.



Fig. 3.5 - Exemplo de interpretação de altos (domos - a) e baixos (bacias - b) estruturais pela assimetria da rede de drenagem.

- 11) Altos e baixos topográficos: confeccionado utilizando-se das cartas topográficas reduzidas para a escala de 1:100.000. A partir das curvas de níveis foram delimitados os contornos topográficos cotados, indicando os altos e baixos topográficos. Esse mapa foi integrado ao mapa morfoestrutural a fim de verificar a relação da estrutura/topografia com a ocorrência dos movimentos de massa;
- 12) Litotipos: elaborado pela análise de diversos mapas temáticos (traços de fraturas, traços de foliações e lineamentos estruturais) e dados de campo. As unidades foram delimitadas a partir de seus comportamentos estruturais, verificados em interpretações e a discriminação dos litotipos foi efetuada com trabalhos de campo.

É imprescindível destacar que os três primeiros mapas temáticos (drenagem, traços de foliações e traços de fraturas) subsidiaram os oito mapas restantes (direções principais de traços de foliações, direções principais de traços de fraturas, frequência de traços de fraturas, lineamentos estruturais, domínios estruturais, unidades de relevo, morfoestrutural e litotipos), enquanto esses últimos subsidiaram o zoneamento das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa.

Em relação ao zoneamento na escala de 1:8.000, foi escolhida a região do vale do Rio Santo Antônio, localizada no quadrante nordeste da área de estudo, próximo à área urbana da cidade de Caraguatatuba. A escolha de tal área deve-se à ocorrência de um grande escorregamento no ano de 1967 que causou várias vítimas. Assim, fez uso do mesmo método de fotointerpretação citado anteriormente, porém com fotografias aéreas pancromáticas na escala de 1:8.000, ao invés de imagens orbitais.

3.2.2 - ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES

Para delimitar as áreas sujeitas a inundações utilizou-se de técnicas de tratamento de imagens digitais e de interpretação, baseado no método proposto por Deutsch e Ruggles Jr. (1978 citado por Florenzano et al., 1988) e utilizado por vários autores, entre os quais: Novo (1983), Niero et al. (1984), Florenzano et al. (1988) e Florenzano et al. (1990).

O tratamento de imagens digitais consiste num conjunto de técnicas de processamento, análise e integração de imagens digitais por meio do computador. Essas técnicas têm por finalidade a transformação de determinadas características radiométricas e/ou espaciais, assim como a identificação e a extração de atributos de uma imagem digital. Desta forma, contribui para que os dados contidos na imagem sejam mais facilmente identificáveis pelo intérprete.

Realizou-se um estudo multiespectral e multitemporal utilizando imagens digitais de duas passagens do satélite TM-LANDSAT-5 (bandas 3, 4, 5 e 7), referentes aos períodos de maior (janeiro) e menor precipitação da área de estudo (julho).

A princípio, as imagens foram submetidas a tratamentos digitais pelo Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os tratamentos empregados foram: pré-processamento (eliminação de ruídos, correção atmosférica e registro imagem x imagem) e realce.

O pré-processamento consiste em transformar dados digitais brutos em dados corrigidos (Schowengerdt, 1983).

A eliminação de ruídos foi efetuada nas bandas que apresentavam tal efeito pela substituição dos valores de DN (*Digital Number* ou níveis de cinza) do ruído pela média aritmética dos DN de pontos adjacentes (linhas superior e inferior) ao ruído.

A correção atmosférica foi feita somente na banda 3 das duas datas devido ser, entre as bandas utilizadas, a que apresenta maior efeito de espalhamento atmosférico. Fez-se a correção atmosférica subtraindo o valor médio dos DN das regiões sombreadas ou com água limpa dos DN de toda a imagem.

Após tais tratamentos, foram testadas diversas tabelas de realce linear em cada banda, para se obter a melhor variância dos níveis de cinza.

O método de realce escolhido foi o por aumento linear de contraste, que permite a expansão do intervalo original de informações para toda a escala de níveis de cinza disponíveis, aumentando a variação dos dados e, conseqüentemente o contraste da

imagem (Florenzano, 1986). Assim, com base no histograma da imagem o analista fornece o intervalo mínimo e máximo de níveis de cinza da imagem a ser transformada. No caso do TM-LANDSAT-5, os níveis de cinza mínimo e máximo são transformados em 0 e 255, respectivamente, sendo todos os demais níveis de cinza distribuídos linearmente entre esses dois valores.

Apesar do realce por aumento linear de contraste ser o método mais simples para se ampliar os níveis de cinza de uma imagem, auxiliando na interpretação da mesma (Schowengerdt, 1983), procurou-se ter a máxima cautela na escolha dos valores mínimo e máximo de níveis de cinza. Tal fato deve-se pela perda de informações (*overflow*⁴) quando a inclinação da reta formada pelos dois valores mencionados anteriormente é exagerada.

O realce foi efetuado anteriormente ao registro para aumentar o contraste dos alvos e auxiliar na aquisição dos pontos de controle⁵.

Posteriormente ao realce, fez-se a escolha das composições coloridas (associação de bandas com os canais *R-red*, *G-green* e *B-blue*) que permitissem a melhor visualização das áreas sujeitas a inundações.

O registro imagem x imagem foi efetuado para ajustar o sistema de coordenadas da imagem de 1987 ao sistema da imagem de 1992 (imagem referência já corrigida geometricamente).

Assim, foram adquiridos vários pontos de controle nas imagens, com pequenas dimensões, de fácil reconhecimento e distribuídos de forma regular.

Para o ajuste das imagens foram utilizados um polinômio de 1º grau e um interpolador do tipo vizinho-mais-próximo, sendo que o primeiro distorce menos a imagem e o segundo preserva os níveis de cinza originais.

⁴ Pixels originalmente diferenciados são fundidos em uma única coluna, passando a ter o mesmo valor de nível de cinza.

⁵ Locais semelhantes nas duas imagens. Por exemplo, confluência de rios ou de estradas, fazendas, etc. (Richards, 1986).

Também tomou-se como base para um bom registro, erros inferiores à um pixel.

Após o registro, as imagens foram fotografadas no próprio monitor, na escala de 1:50.000 (modo terminal do SITIM-150) e, interpretadas no sistema projetor-amplificador PROCOM-2.

Para que os dados fossem obtidos na escala de 1:50.000 a área foi dividida e fotografada em quadrantes (Figura 3.6).

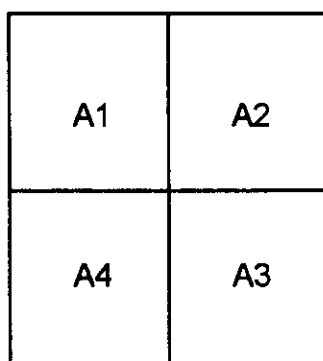


Fig. 3.6 - Divisão da área de estudo.

A delimitação das áreas sazonalmente encobertas pelas águas (zoneamento temporal - mapa de inundação) e sujeitas a inundações (zoneamento geral sem distinção temporal - mapa de áreas inundáveis) foi feita no sistema projetor-amplificador PROCOM-2, utilizando-se de diapositivos das imagens tratadas em ambiente SITIM.

As áreas sujeitas a inundações também foram delimitadas na escala de 1:8.000 região do vale do Rio Santo Antônio. Assim, foram discriminadas as áreas de várzea e as áreas de terraço. Essas regiões foram integradas com os dados de declividade de Cruz (1974), na escala de 1:10.000 a fim de avaliar o grau de restrição da área quanto ao uso e/ou ocupação.

3.3 - TRABALHOS DE CAMPO

Duas etapas de campo foram efetuadas neste trabalho.

A primeira etapa teve como objetivo fazer um reconhecimento da área de estudo, a fim de verificar a cinemática dos escorregamentos, o controle estrutural geral dos mesmos e a dinâmica ocupacional (desmatamentos).

A segunda etapa teve como objetivo complementar as informações de interpretações, tais como: litotipos, atitude das estruturas, quantidade de fraturas e movimentos das falhas, e verificar as cicatrizes e áreas sujeitas a escorregamentos e as áreas sujeitas a inundações. Essa etapa teve também como propósito, detalhar as observações feitas na primeira etapa de campo.

3.4 - CARTOGRAFIA FINAL - ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

3.4.1 - ZONEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA ESCALA DE 1:50.000

Para o zoneamento dos movimentos de massa foi dada prioridade à análise de dados estruturais, pois na região as estruturas geológicas (fraturas, foliações) são os principais fatores de desagregação dos litotipos. Secundariamente foram analisados os dados litológicos, de declividade, formas de topos e encostas, vegetação, dinâmica ocupacional e pluviosidade. Alguns desses últimos fatores, apesar de serem importantes na análise do potencial à ocorrência dos movimentos de massa, foram considerados secundários por apresentarem-se “constantes” em toda a área. Caso da declividade, que apresenta altos valores.

Tanto a vegetação, quanto a dinâmica ocupacional foram analisados por meio de trabalhos de campo e fotografias aéreas datadas de 1992 (escala de 1:5.000) e analisados para classificar as áreas atuais sujeitas a movimentos de massa.

Desta forma, fez-se a integração de diversos mapas temáticos elaborados na escala de 1:100.000. Esses mapas foram integrados levando-se em consideração a seguinte ordem de importância: 1 - número de traços de fraturas igual ou superior a 22,5 (mapa de frequência de traços de fraturas), 2 - existência de várias direções de lineamentos estruturais (mapa de lineamentos estruturais), 3 - existência de várias direções de fraturas e foliações que controlam os movimentos de massa e grande influência do *trend* regional (N60-70E - mapa de domínios estruturais), 4 - existência de variação nas direções de (traços de) fraturamento, topos e encostas com formato convexo-côncavo, grande amplitude altimétrica, grande variação hipsométrica e altos valores de declividade (mapa de unidades de relevo), 5 - existência de regiões localizadas em baixos estruturais (mapa morfoestrutural) e, 6- existência de litotipos fortemente estruturados (mapa de litotipos). Caso todas as condições acima forem atendidas, classifica-se a área como de alto potencial. Áreas com condições semelhantes à da classe de alto potencial, diferindo nos itens 3, 5 e 6, são classificadas como de potencial intermediário, enquanto áreas com condições semelhantes à da classe de potencial intermediário, porém com diferenças no item 1, são classificadas como de baixo potencial.

3.4.2 - ZONEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA ESCALA DE 1:8.000

Neste mapa foram delimitadas as áreas potenciais ou atuais à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa e inundações na região do vale do Rio Santo Antônio.

Foram delimitadas de forma preliminar, as áreas sujeitas a movimentos de massa segundo a análise conjunta dos seguintes atributos: formas das encostas, erosão laminar, erosão linear e vegetação.

Essas áreas preliminares integradas com os dados de declividade referentes ao mapa de Cruz (1974) e os dados estruturais dos mapas temáticos confeccionados na escala de 1:100.000 (sempre seguindo a mesma ordem de importância do zoneamento de áreas sujeitas a movimentos de massa na escala de 1:50.000) e de campo, resultaram no mapa final com as classes potenciais ou atuais à ocorrência dos movimentos de massa. As classes potenciais ou atuais são semelhantes ao do zoneamento das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa na escala de 1:50.000.

A declividade foi adotada como fator de restrição quanto ao uso e/ou ocupação do solo. Assim, para a análise da restrição quanto ao uso e/ou ocupação do solo em regiões situadas em encostas côncavas, adotou-se a seguinte relação: quanto maior a declividade, maior a restrição quanto ao uso e/ou ocupação do solo (áreas inadequadas). Tal relação deve-se pelo fato das encostas côncavas apresentar fluxo superficial da água concentrado. Assim, quanto maior a declividade, maior o potencial desse fluxo. Para encostas convexas adotou-se a relação inversa, visto o fluxo superficial das águas em tais encostas ser difuso.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 - MAPAS TEMÁTICOS ELABORADOS PARA O ZONEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Para o zoneamento e a caracterização das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa foram elaborados diversos mapas temáticos (vide item 3.2.2). Esses são descritos a seguir.

4.1.1 - MAPA DE TRAÇOS DE FOLIAÇÃO

Os traços de foliações da área estudada encontram-se distribuídos de forma homogênea, com exceção para o quadrante noroeste (proximidades da Represa de Paraibuna), onde há a menor concentração de traços de foliações, e para a porção centro-sudeste (parte da planície costeira), onde há sedimentos Terciários-Quaternários, como pode ser observado na Figura 4.1.

A área de estudo apresenta três conjuntos de direções de traços de foliações, como pode ser constatado visualmente no mapa: N-S (N10-20E), NE-SW (N40-50E, N50-60E e N60-70E) e WNW-ESE a E-W (N70-80W e N80W a E-W), sendo essas direções dispostas da seguinte forma:

- 1) N-S: foliações presentes principalmente na porção ocidental da área. Em alguns locais as foliações N-S formam estruturas curvilíneas mostrando arrasto dúctil, consequência do fluxo destal ao longo das direções NE-SW e E-W;
- 2) NE-SW: é a direção principal da área. Aparece em toda a área com uma maior concentração no quadrante nordeste e porção centro-oeste. Essa direção encontra-se quase sempre inflexionada para N-S ou E-W, mostrando prováveis arrastos pelo fluxo destal (principalmente no quadrante NE);

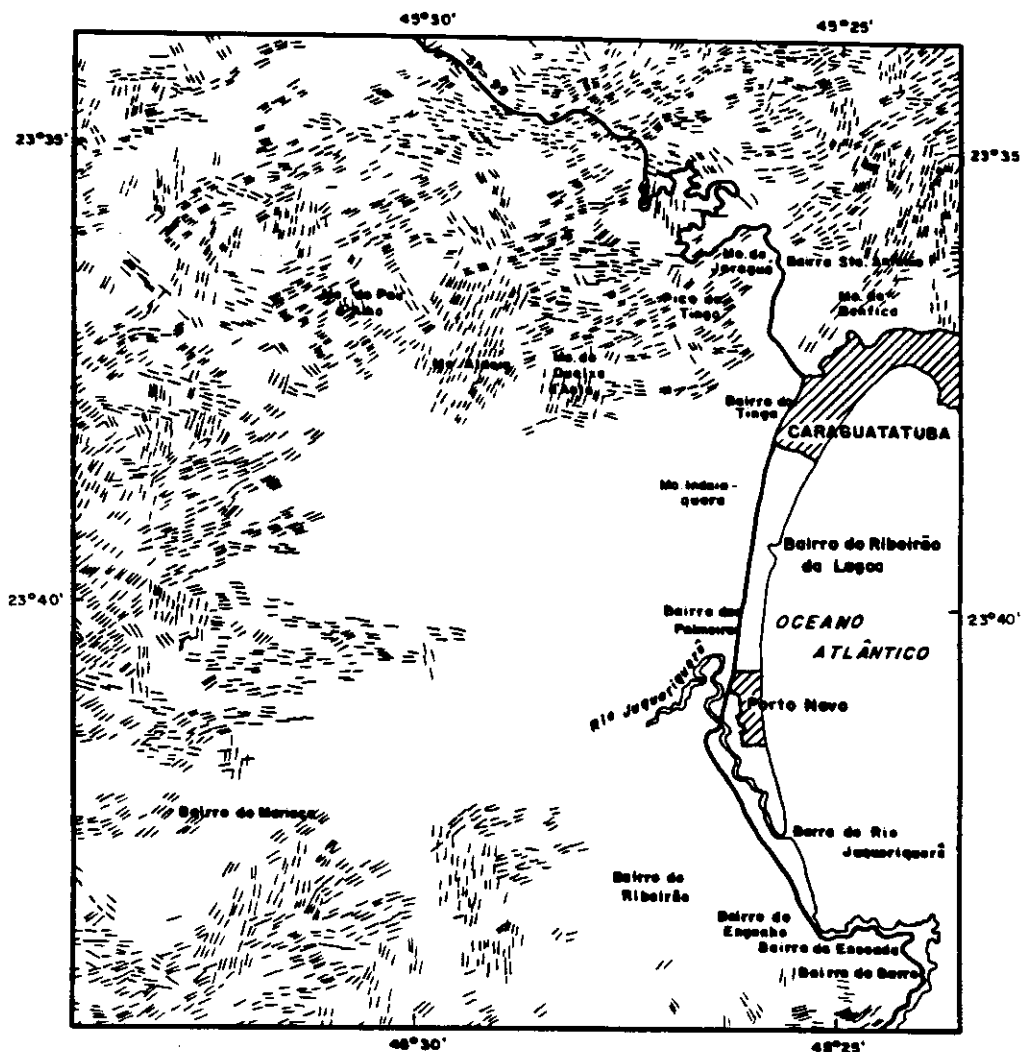


Fig. 4.1 - Mapa de traços de foliações.

- 3) WNW-ESE a E-W: essa direção distribui-se principalmente na porção centro-oeste da área. Conjuntamente com a direção NE-SW resulta estruturas lenticulares (lentes de cisalhamento).

Pelo mapa de máximos 1 e 2 de traços de foliações foi possível verificar as relações entre as duas principais direções desses traços na área de estudo, como indicadas na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - RELAÇÕES DE MÁXIMOS 1 E 2 DE TRAÇOS DE FOLIAÇÕES

MÁXIMO 1	MÁXIMO 2
NE-SW	N-S
NE-SW	E-W
E-W	NE-SW
N-S	NE-SW

Esses traços são direções interpretadas nas imagens que representam foliações cataclásticas-miloníticas verificadas em campo.

As direções N-S e E-W mostram encurvamento nas proximidades da direção NE-SW (Figura 4.1). Tal fato representa o arrasto dúctil provocado pelo cisalhamento transcorrente com fluxo dextral ao longo desta última direção. Os *trends* de foliações com direções NE-SW e E-W também dão origem a lentes de cisalhamento (Figura 4.1).

Quando se compara a orientação das três direções em questão com o modelo teórico empírico adotado para zonas de cisalhamento transcorrente (Riedel, 1929 adaptado por Sadowski, 1983) observa-se uma correspondência de NE-SW com a direção principal Y, E-W com R e N-S com X. Corrobora-se desta forma que a primeira direção é representante da direção principal da zona de cisalhamento transcorrente em nível dúctil e que E-W, sintética, destaca-se por suas relações com NE-SW, pois o nível estrutural da área de estudos caracteriza-se pela ocorrência de lentes de cisalhamento. Quanto à direção de foliação N-S ser a terceira componente dos máximos 1 e 2, é plausível acreditar-se num possível controle por direções crustais mais antigas.

4.1.2 - MAPA DE TRAÇOS DE FRATURAS

O mapa de traços de fraturas possui uma distribuição quase uniforme a norte e a oeste da área. Sobre a porção da Serra do Mar ocorre uma maior concentração de traços de fraturas, enquanto essas são quase ausentes na porção centro-sudeste (região da planície costeira - Figura 4.2).

As direções desses traços de fraturas são: N-S (N-S, N10-20W), NW-SE (N40-50W, N50-60W), NE-SW (N20-30E, N40-50E, N60-70E) e E-W (E-W), sendo a direção NW-SE a de maior destaque.

De acordo com o mapa de máximos 1 e 2 de traços de fraturas verificam-se as seguintes relações entre as duas principais direções desses traços. Tais relações são mostradas na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - RELAÇÕES DE MÁXIMOS 1 E 2 DE TRAÇOS DE FRATURAS

MÁXIMO 1	MÁXIMO 2
NW-SE (variável)	NW-SE (variável)
NW-SE	N-S
NW-SE	E-W

Como é mostrado na Tabela 4.2 a direção NW-SE é a principal. Tal fato é corroborado quando se estabelece a relação dessa direção com o modelo teórico-empírico adotado (Riedel, 1929 adaptado por Sadowski, 1983); equivalendo assim com a direção de fraturamento distensivo T.

Em campo, as fraturas mencionadas são normalmente distensivas (exceção para algumas fraturas de direções E-W e NW-SE). As direções E-W, N-S e algumas NE-SW são as que aparecem em maior quantidade (fraturas/metro).

O fato das direções principais de traços de fraturas interpretadas (direção NW-SE) não serem as mesmas que as observadas em campo (direção NE-SW) deve-se ao azimute solar da imagem adotada, que é subparalelo aos traços de fraturas de direção NE-SW, e ao ângulo de elevação solar, que poderia ser mais alto, utilizando a imagem referente ao mês de janeiro.

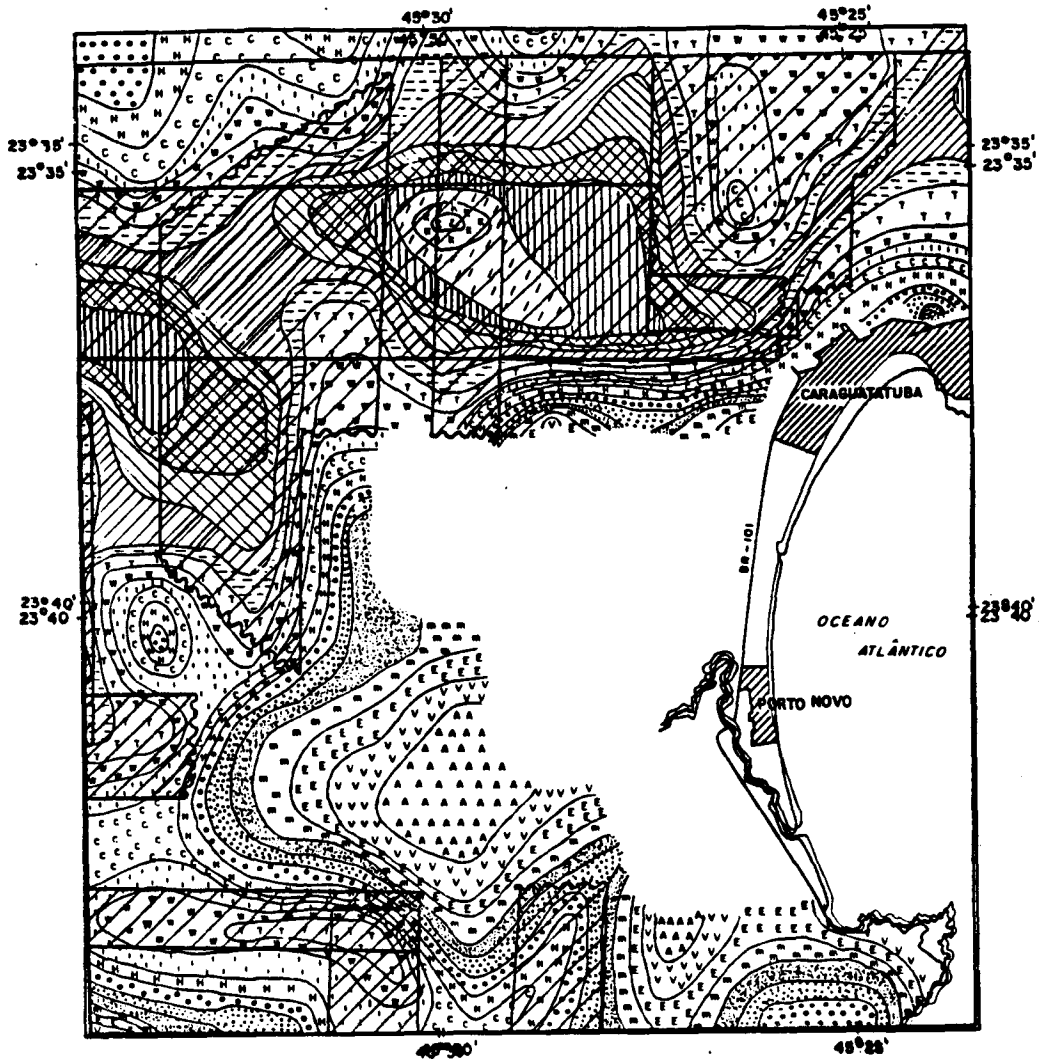
ximidades dos Morros do Pau d'Alho, da Aldeia, do Queixo da Anta e do Pico do Tinga (ao norte) e da Fazenda Alto da Serra (à nordeste)¹.

As outras cinco concentrações de traços de fraturas são de ordem secundária quanto à sua expressividade e estão localizadas como segue:

- 1) concentração 40,0-42,5: canto ocidental da área de estudo, do lado oeste do Morro do Pau d'Alho. Apresenta-se arqueada e relacionada com dois eixos de máximo de traços de fraturas, um de direção geral E-W e outro N-S;
- 2) concentração 30,0-32,5: abaixo da concentração 1. Apresenta-se alongada segundo a direção geral N-S, coincidente com a direção de um eixo de máximo de traços de fraturas;
- 3) concentração 27,5-30,0: quadrante sudoeste da área, abaixo do Bairro do Marisco. É alongada segundo a direção E-W e arqueada para sul. Tal disposição está relacionada com a intersecção de dois eixos de máximo de traços de fraturas, um de direção E-W (principal) e outro N-S (secundário);
- 4) concentração 27,5-30,0: quadrante nordeste da área de estudo. Está circundada à noroeste pela Fazenda Alto da Serra, à sul pelo Bairro Santo Antônio e Morro do Jaraguá e à sudeste pelo Morro do Benfica. Apresenta-se alongada segundo a direção N-S, relacionada a um eixo de máximo de traços de fraturas;
- 5) concentração 20,0-22,5: porção meridional da área de estudo. Limitada à sudoeste com o Bairro do Ribeirão. Apresenta formato alongado N-S coincidente com a direção de um eixo de máximo de traços de fraturas.

Essas análises demonstram o forte controle dos traços de fraturas (zonas de juntas) por eixos de direção geral N-S e E-W. Tais eixos são interpretados como antigas linhas de fraqueza crustal que controlaram o desenvolvimento das zonas de juntas, segundo os critérios de Aliyev (1982).

¹ Os pontos de controle podem ser observados em outros mapas temáticos da área de estudo. Tais pontos não estão presentes no mapa de frequência de zonas de juntas por uma questão de espaço.



- CIDADE
- ESTRADA
- CURVAS DE ISOFREQUÊNCIA DE ZONAS DE JUNTAS
- EIXO DE MÁXIMO DE ZONAS DE JUNTAS

ISOFREQUÊNCIAS

A	0 - 2,5	B	12,5 - 15,0	C	25,0 - 27,5	D	37,5 - 40,0
E	2,5 - 5,0	F	15,0 - 17,5	G	27,5 - 30,0	H	40,0 - 42,5
I	5,0 - 7,5	J	17,5 - 20,0	K	30,0 - 32,5	L	42,5 - 45,0
M	7,5 - 10,0	N	20,0 - 22,5	O	32,5 - 35,0	P	45,0 - 47,5
Q	10,0 - 12,5	R	22,5 - 25,0	S	35,0 - 37,5	T	47,5 - 50,0

Fig. 4.3 - Mapa de frequência de traços de fraturas.

4.1.4 - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Os lineamentos estruturais deste mapa foram discriminados, posteriormente, em trabalhos de campo como representantes de estruturas dúcteis (determinadas pela presença de arrasto da foliação, dobras intrafoliais disruptas, rotação de minerais e lineações de estiramento) e de estruturas rúpteis. O primeiro tipo é o mais expressivo na área (Figura 4.4).

Os lineamentos estruturais que representam estruturas dúcteis apresentam três direções, uma principal (N60E a N70-80E) e duas secundárias (N80E a E-W e N30-40E). Os lineamentos distribuem-se preferencialmente na porção setentrional da área.

De acordo com observações de campo, interpretações do mapa de traços de foliação e mapas geológicos consultados, alguns dos lineamentos principais que representam estruturas dúcteis correspondem a zonas de cisalhamento transcorrente destrais.

Os lineamentos estruturais que representam estruturas rúpteis possuem quatro direções, sendo duas principais (N20-30W e N30-40W) e duas secundárias (N-S a N10E, N10-20E). Tais direções distribuem-se principalmente na porção oeste da área (Morros do Pau d'Alho, da Aldeia, do Queixo d'Anta, Fazenda Alto da Serra e Bairro do Marisco).

Sobrepondo o mapa de traços de foliações ao mapa de lineamentos estruturais observa-se que as inflexões dos traços de foliações, principalmente no lado oeste da área, devem-se a intersecção de quatro direções de lineamentos: N-S, N30-40W, N60E e N70-80E. Algumas vezes as direções N60E, N70-80E e N80E a E-W apresentam-se anastomosadas formando as lentes de cisalhamento (Veneziani e Okida, 1995).

Apesar da maioria dos lineamentos representar estruturas dúcteis, foram feitas correlações com o modelo teórico-empírico de Riedel (1929) adaptado por Sadowski (1983), modelo esse utilizado para estruturas rúpteis. Foram determinadas as seguintes relações, estabelecendo sempre uma variação de +/- 15° (Tabela 4.3):

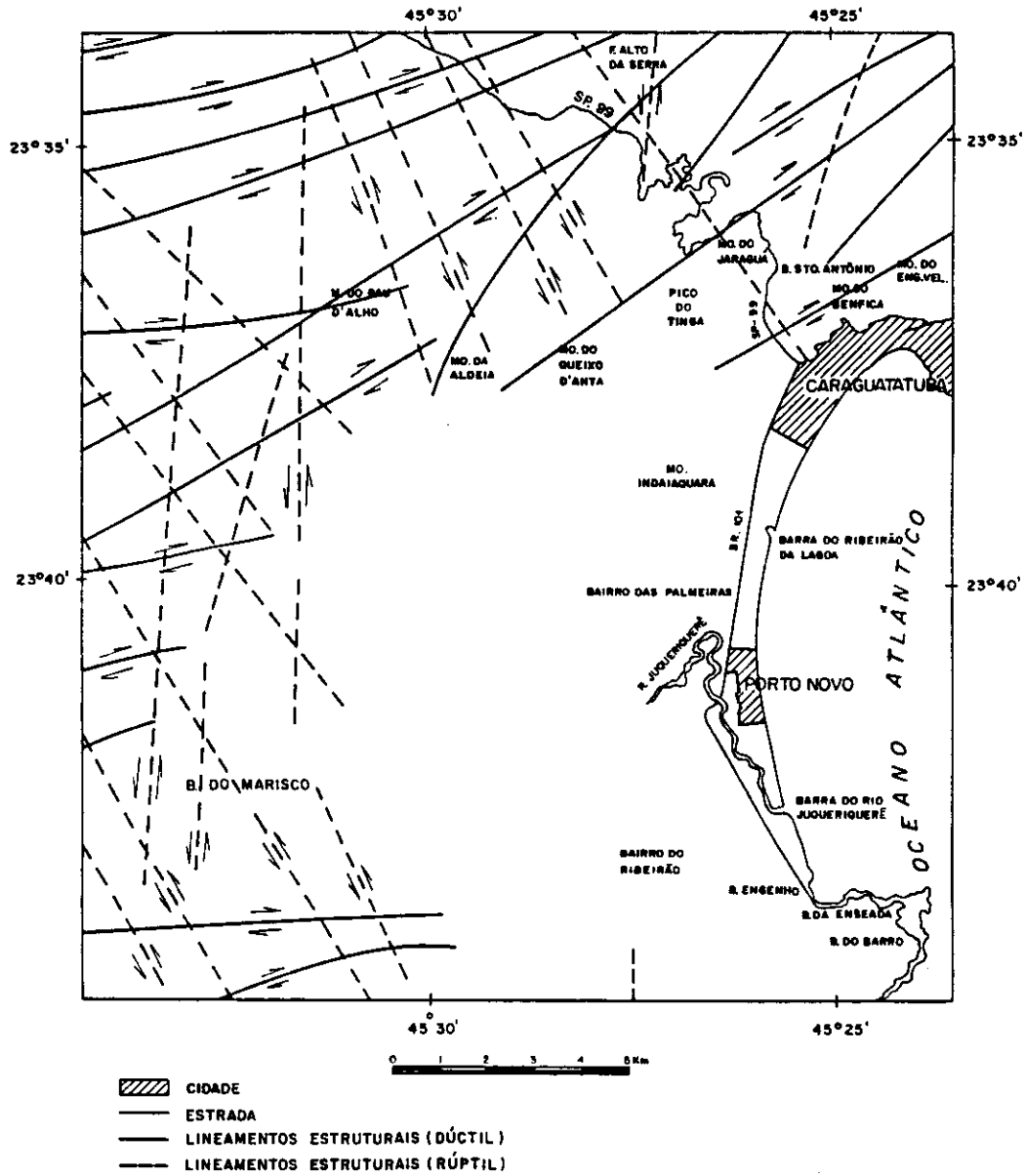


Fig. 4.4 - Mapa de lineamentos estruturais.

Tais correlações podem ser efetuadas, pois as direções do regime dúctil são condicionadas por antigas zonas de fraqueza crustal que representam faixas de controle paleogeográfico e tectônico.

TABELA 4.3 - CORRELAÇÃO DOS LINEAMENTOS COM AS DIREÇÕES DO MODELO ADOTADO

MODELO	LINEAMENTOS NA ÁREA
E	N30-40E
P	N60E
Y	N70-80E
R	N80W a E-W
X	N10E
R1	N30W
T	N40-50W

Atualmente, como pode ser observado nos produtos de sensoriamento remoto e no campo, o nível crustal exposto pelos processos erosivos é aquele que durante os processos deformacionais compressivos situava-se em níveis dúcteis a dúcteis-rúpteis. Portanto, dificilmente serão reconhecidas estruturas rúpteis contemporâneas ao desenvolvimento dos processos compressivos tectônicos nos litotipos atualmente expostos. Por outro lado, a mesma movimentação que deu origem às estruturas dúcteis em profundidade em determinado período geológico, desenvolveu estruturas rúpteis em níveis crustais superiores (que já foram erodidos) pela propagação do cisalhamento de níveis profundos para os superiores (Ramsay e Huber, 1987). Tais estruturas representadas por falhas transcorrentes, de empurrão/inversas orientavam-se, respectivamente, segundo as mesmas direções das zonas de cisalhamento transcorrente verticais e das faixas miloníticas sub-horizontais dos níveis dúcteis. A análise dos fatos acima expostos leva ao estabelecimento da comparação em termos de orientação (nunca de efeitos deformativos) das estruturas não coesivas (fraturas) do modelo teórico-empírico adotado, com aquela das feições dúcteis observadas na área, como já foi demonstrado por Valente (1991) e Veneziani (1987) nas regiões de Goiás e Minas Gerais, respectivamente, e em regiões onde os níveis estruturais superiores estão preservados.

Acrescenta-se que os movimentos ao longo dos lineamentos que representam estruturas rúpteis, não apresentam relações com os do modelo adotado, visto apresentarem comportamento distensivo relativo às reativações Mesozóica e Terciária. Tam-

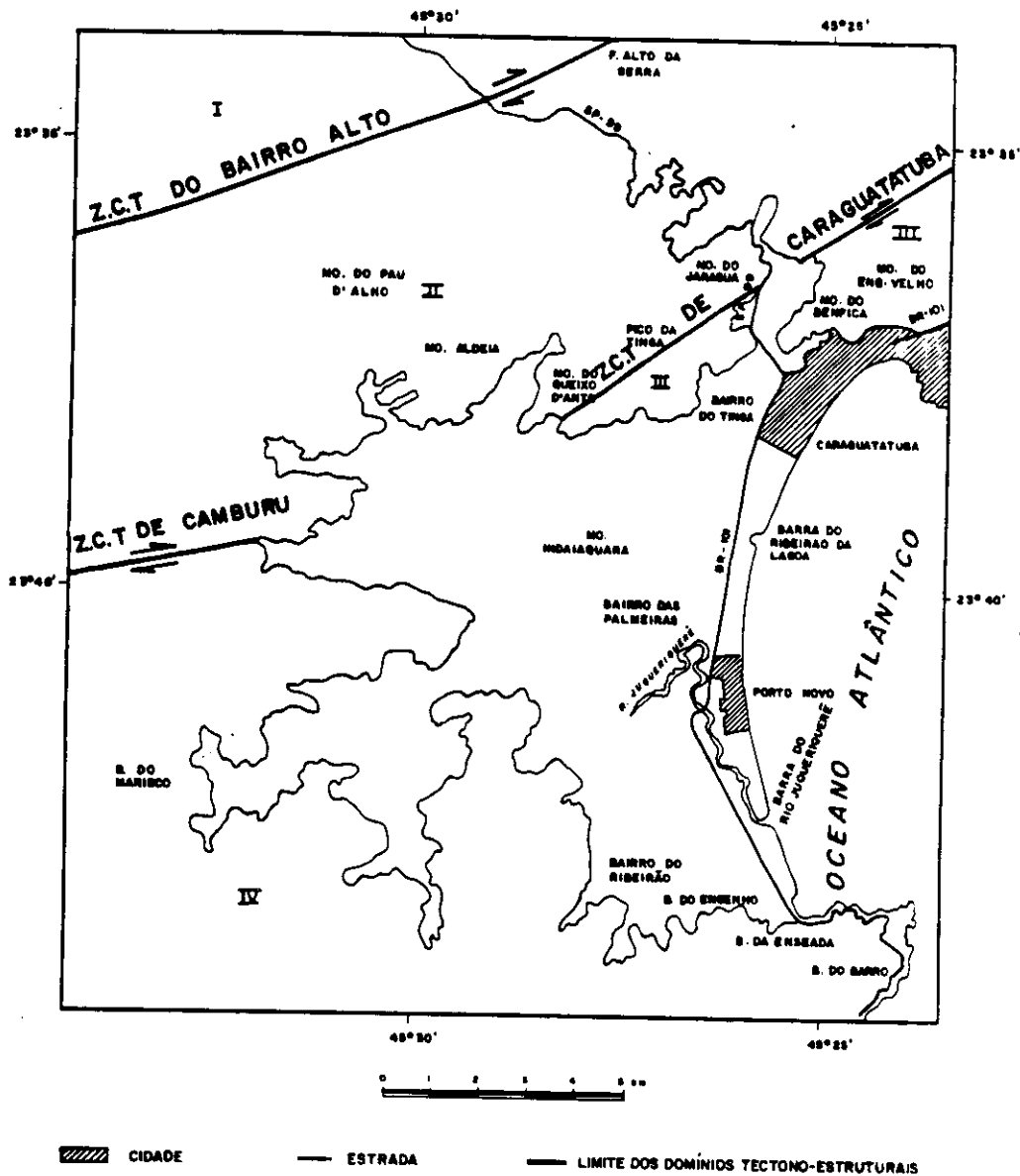
bém encontram-se assim orientados devido à reativação, controlada pelas antigas direções mencionadas.

Destaca-se que esse modelo somente apresenta finalidade na definição de orientações e para aventar hipótese sobre os movimentos relativos.

4.1.5 - MAPA DE DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

De acordo com dados de campo e dos mapas de traços de foliações e de fraturas dividiu-se a área de estudo em quatro domínios estruturais (Figura 4.5). São esses, a saber:

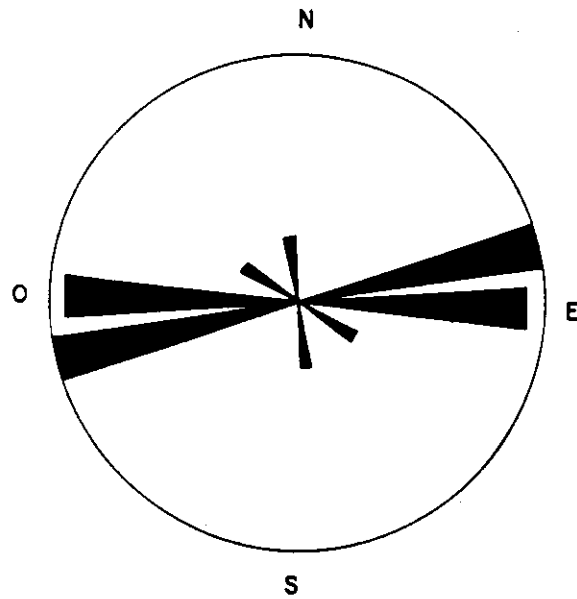
- 1) Domínio I - Cedro: situado no canto noroeste da área de estudo. É limitado com o Domínio II pela Zona de Cisalhamento Transcorrente (Z.C.T.) do Bairro Alto. Possui duas direções principais de fraturamento (Figura 4.6), N70-80E e E-W (com mergulhos subverticais - dados de campo) e, duas secundárias (N10W/subvertical e N50-60W com mergulhos de 30° a 90° - dados de campo). Ambas direções apresentam comportamento distensivo verificado em campo (fraturas preenchidas por veios de quartzo). Quanto à foliação cataclástica-milonítica a direção principal é N60-70E, correspondente à orientação da fratura Y do modelo utilizado. De acordo com os dados de foliações e lineações obtidos em trabalhos de campo (Figura 4.7), esse domínio apresenta uma tectônica tipicamente direcional a oblíqua, onde a foliação e a lineação mineral apresentam direções N40-70E/subvert. e N60E/subhoriz. ou S60W/subhoriz., respectivamente, conferindo um caráter homogêneo ao domínio;



Legenda:

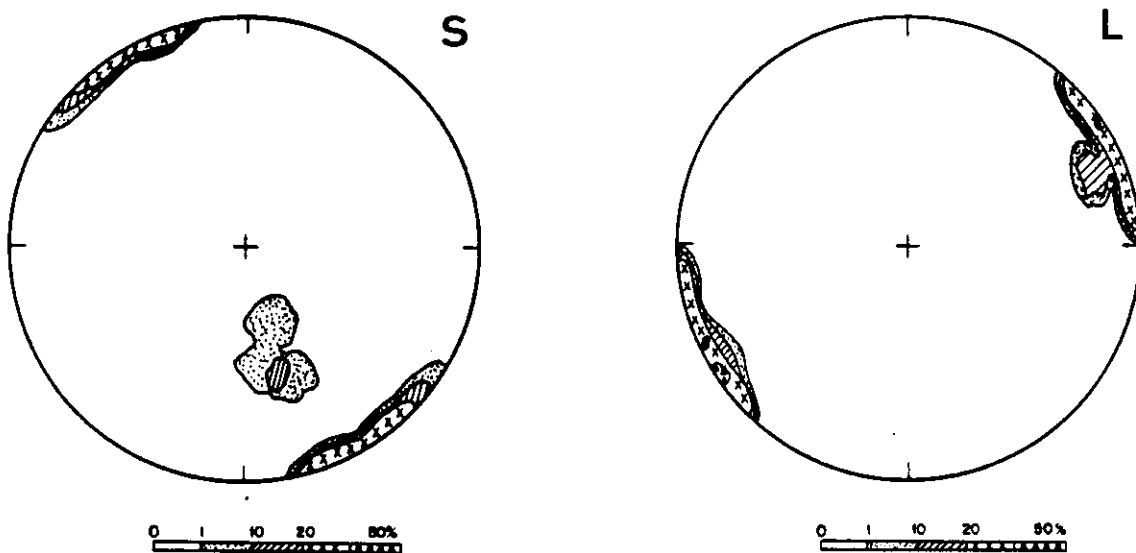
- | | |
|---------------------|--------------------|
| I - Cedro | II - Alto da Serra |
| III - Santo Antônio | IV - Marisco |

Fig. 4.5 - Mapa de domínios estruturais.



Afloramento: 17
Nº de medidas: 37

Fig. 4.6 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio I.

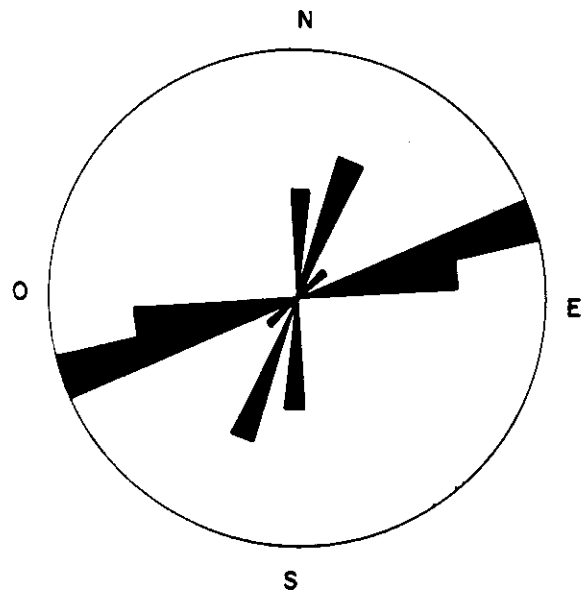


Nº de medidas (S): 13

Nº de medidas (L): 11

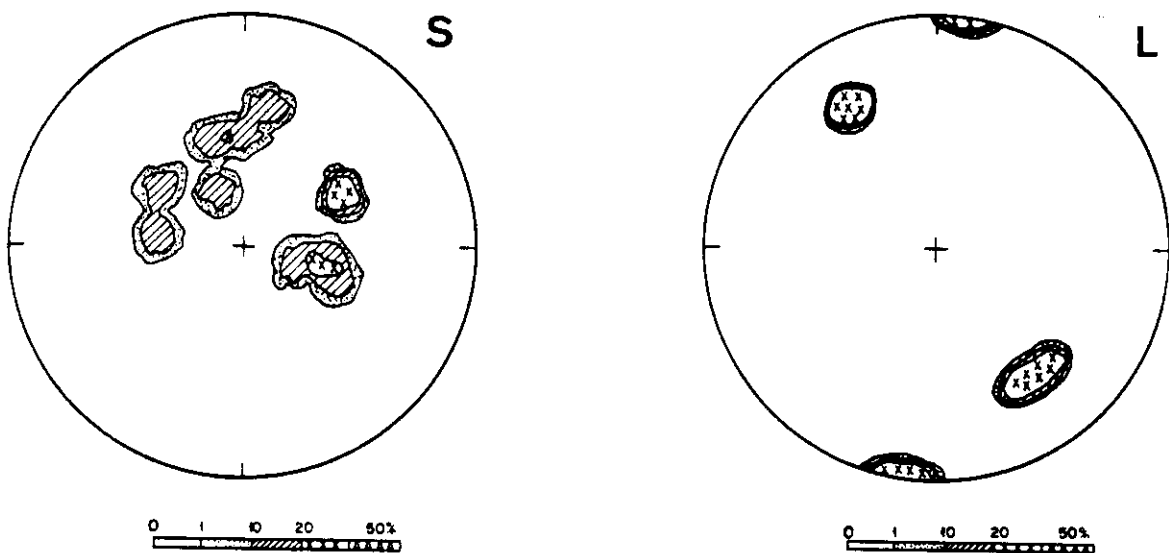
Fig. 4.7 - Diagramas de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral (L) do Domínio I.

- 2) Domínio II - Alto da Serra: situado na porção centro-setentrional. Limitado a sul com os Domínios III e IV pelas Zonas de Cisalhamento Transcorrente (Z.C.T.) Caraguatatuba e Camburu, respectivamente. Apresenta uma direção principal de fraturamento (N70-80E com mergulhos da ordem de 30° - dados de campo) e uma secundária (N-S a N20E/vertical - dados de campo, Figura 4.8). A incompatibilidade de algumas direções interpretadas com aquelas observadas em campo deve-se ao azimute solar e ao ângulo de elevação solar (as direções interpretadas são: N-S a N10E, N40-50W, N50-60W e N60-70W). A foliação cataclástica-milonítica apresenta variação de 360°, sendo a direção principal N30W. De acordo com trabalhos de campo, esse domínio apresenta regimes distensivo (mais novo) e compressivo (Pré-Cambriano). Apesar da variação de atitudes das foliações (N10E/subhoriz., N30W/45SW e N80W/45SW a E-W/S) e lineações (N10E/subhoriz. ou S10W/subhoriz., N30-40W/30 e S50-60E/30 - dados de campo, Figura 4.9), o Domínio II apresenta comportamento singular em relação aos demais domínios, conferindo-lhe assim um caráter único, com tectônica tipicamente tangencial oblíqua e direcional (dados de campo);
- 3) Domínio III - Santo Antônio: situado no canto nordeste da área. Apresenta duas direções de fraturamentos, N20-30W/vertical e N60E/subvertical ou com mergulhos da ordem de 40° (dados de campo), sendo a segunda direção a principal (Figura 4.10). De acordo com o mapa de traços de fraturas, as duas direções existentes nesse domínio são: N20-30W e N50-60W. Segundo dados de campo, as foliações cataclástica-miloníticas apresentam atitudes variáveis, sendo a N60-70E a mais expressiva. Os regimes tectônicos desse domínio são distensivo (de idade mais recente) e compressivo (de idade Pré-Cambriana) com componente direcional e tangencial oblíqua, como pode ser observado nos diagramas de frequência de foliações (frequências máximas: N40-70E/subvert. e N40W/30NE) e lineações (N70E ou S70W/subhoriz. - dados de campo, Figura 4.11). Apesar de tais variações, o domínio apresenta comportamento singular que confere um caráter único;



Afloramento: 12
Nº de medidas: 52

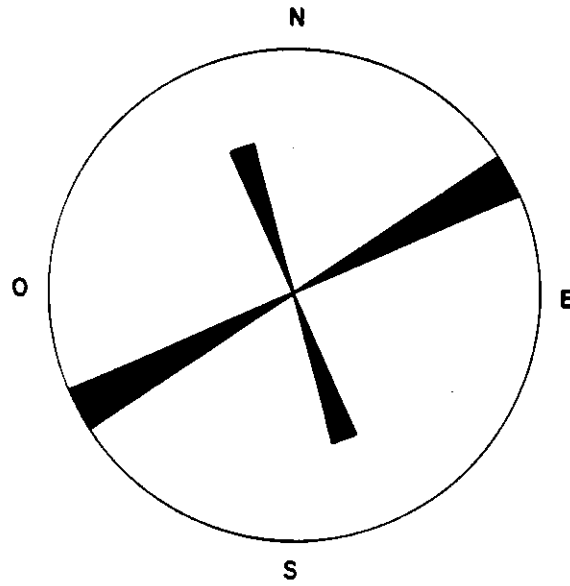
Fig. 4.8 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio II.



Nº de medidas (S): 11

Nº de medidas (L): 5

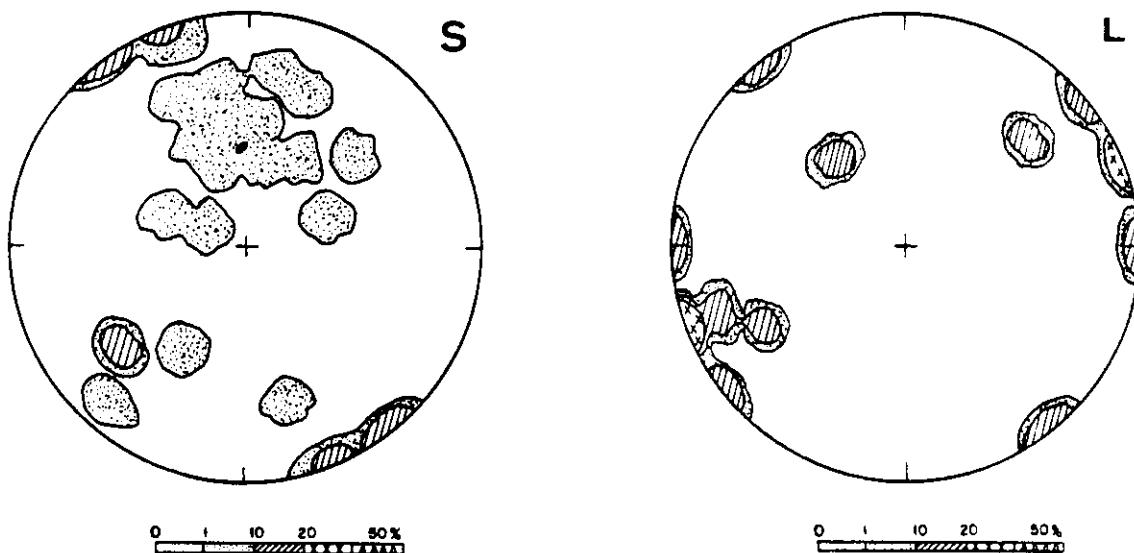
Fig. 4.9 - Diagrama de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineações mineral e de estiramento do Domínio II.



Afloramento: 27

Nº de medidas: 47

Fig. 4.10 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio III.



Nº de medidas (S): 30

Nº de medidas (L): 9

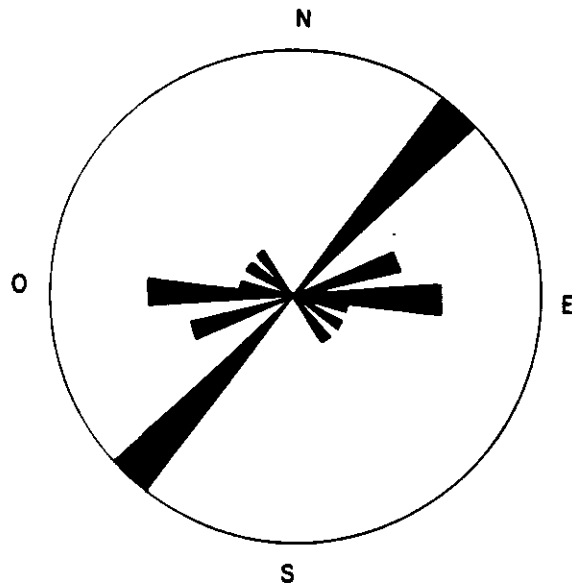
Fig. 4.11 - Diagrama de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineação mineral (L) do Domínio III.

- 4) Domínio IV - Marisco: situado na porção centro-meridional da área de estudo. De acordo com dados de campo, o domínio tem uma direção principal de fraturamento (N40E mergulhando 30° a 40°) e outras secundárias (Figura 4.12). Quanto às foliações miloníticas há duas direções principais, N50E e N70E e, outras secundárias com atitudes variáveis. A Figura 4.13 (diagrama de frequência de foliações) revela um dobramento de tais foliações, cujo eixo apresenta direção aproximada N60E ou S60W/subhorizontal. Segundo dados de campo, o domínio em questão apresenta comportamentos distensivo (mais recente) e compressivo (mais antigo) e uma tectônica direcional (Figura 4.13). Tais dados conferem um comportamento único para o domínio em questão.

Apesar dos domínios estruturais aqui delimitados apresentarem limites semelhantes aos dos compartimentos morfoestruturais de Pires Neto (1991), as denominações utilizadas são distintas de tal autor (Tabela 4.4). Tal diferença deve-se ao fato da área de estudo do presente trabalho ser menos extensa que a do trabalho de Pires Neto (1991), que abrange quase toda a porção costeira do Estado de São Paulo.

TABELA 4.4 - RELAÇÕES ENTRE AS DENOMINAÇÕES ADOTADAS NO MAPA DE DOMÍNIOS ESTRUTURAIS E NO MAPA DE PIRES NETO (1991)

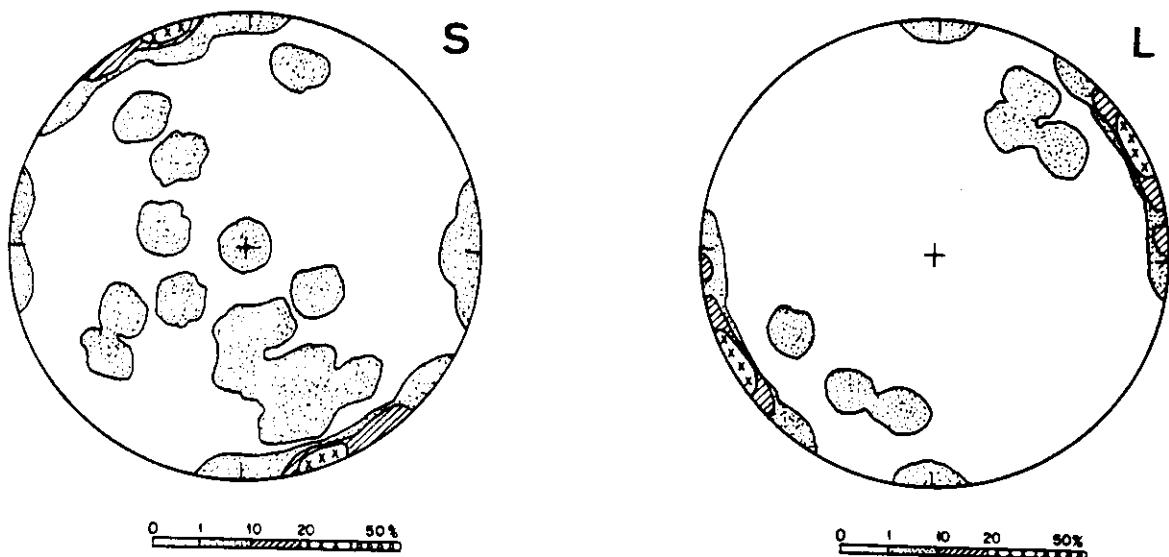
NESTE TRABALHO	PIRES NETO (1991)
Cedro	Alto Tietê-Paraibuna
Alto da Serra	Jurubatuba
Santo Antônio	Ubatuba
Marisco	Juqueriquerê



Afloramentos: 29 e 31

Nº de medidas: 68

Fig. 4.12 - Diagrama de rosácea. Fraturas do Domínio IV



Nº de medidas (S): 57

Nº de medidas (L): 24

Fig. 4.13 - Diagrama de frequência (Schmidt-Lambert - Hemisfério inferior). Foliação (S) e lineações mineral e de estiramento (L) do Domínio IV.

4.1.6 - MAPA DE UNIDADES DE RELEVO

Este mapa apresenta quatro unidades de relevo: colinas, escarpas, morros isolados e planícies (Figura 4.14). As duas primeiras unidades apresentam variações devido, principalmente, à estruturação e ao grau de dissecação.

A seguir são listadas os atributos de cada unidade de relevo (Tabela 4.5).

TABELA 4.5 - ATRIBUTOS DAS UNIDADES DE RELEVO

UNIDADES DE RELEVO	HIPSOMETRIA (m)	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	DECLIVIDADE (1:50.000)	DIREÇÕES DE FRATURAMENTO*	TOPO E ENCOSTA**
C1	300-930	40-200	20-40%	2	CV-CV
C2	700-930	40-200	20-40%	2	CV-CV
Cet1	300-930	40-200	20-40%	3	CV-CV CV-C
Cet2	300-700	40-200	20-40%	2	CV-CV
C/E1	700-930	80-200	20-40%	2	CV-C
C/E2	700-930	40-200	20-40%	2	CV-C
C/E3	700-930	40-80	20-40%	1	CV-C
E1	20-930	600-800	> 40%	2	CV-C CV-R-C
E2	20-700	200-600	> 40%	2	CV-C CV-R-C
M	0-100	40-80	> 40%	--	CV-CV
PL	0-20	0-20	< 2%	--	--
PA	0-20	0-20	< 2%	--	--

* -- - nulo/1 - unidirecional/2 - bidirecional/3 - tridirecional

** cv - convexo/c - côncavo/r - retilíneo

De acordo com as informações sobre topo e encosta relativas à Tabela 3.2, verifica-se que:

- 1) as unidades colinosas (C, Cet, C/E) e os morros isolados apresentam alterabilidade alta a muito alta, material coesivo a semi-coesivo², plástico a ligeiramente plástico³ e, manto de alteração muito espesso a moderadamente espesso;
- 2) as unidades escarpadas possuem alterabilidade variável (de alta a baixa) e material de alteração moderadamente espesso a delgado.

4.1.7 - MAPA MORFOESTRUTURAL

Pela análise das assimetrias da rede de drenagem e do relevo, e dos limites impostos pelos lineamentos estruturais, verificou-se a presença de várias estruturas circulares convergentes e divergentes, que correspondem aos altos (A) e baixos (B) estruturais. Esses altos e baixos estruturais ao serem integrados com dados topográficos (altos e baixos topográficos) revelaram três classes morfoestruturais na área de estudo: 1) baixo estrutural e alto topográfico (BA), 2) baixo estrutural e baixo topográfico (BB) e, 3) alto estrutural e alto topográfico (AA).

De acordo com Cecarelli et al. (1994) e Mattos e Rueda (1994), os baixos estruturais conjugados com os altos ou baixos topográficos são as classes mais susceptíveis à ocorrência dos movimentos de massa. Tal fato deve-se à concentração de água nos baixos estruturais e à retenção de cátions alcalinos e alcalinos terrosos, que proporcionam a bissialitização e formação de argilas do tipo 2:1 (argilas expansivas - montmorillonita e smectita). Tais argilas provocam maior susceptibilidade à erosão laminar e incisiva, e por consequência, à geração de movimentos de massa.

As classes morfoestruturais estão distribuídas da seguinte forma na área de estudo (Figura 4.15):

² Refere-se ao grau de desagregação do material de alteração.

³ Refere-se a capacidade do material de alteração de se dobrar.

N30-40W; c) porção sul-sudoeste da área. Encontra-se alinhada segundo a direção N40E. É cortada pelo lineamento N35W; d) limite da planície costeira com as escarpas em anfiteatro e espigões. Abrange os Bairros do Ribeirão e do Engenho, na porção sul-sudeste da área. Essa região não é cortada por lineamentos estruturais;

- 2) classe BA: a) situada no extremo noroeste da área (Represa de Paraibuna). Encontra-se alinhada segundo a direção N60-70E; b) quadrante nordeste da área (região do Bairro Santo Antônio). Encontra-se alinhada segundo a direção N70-80E e é cortada por lineamentos estruturais de direção N40W; c) quadrante sudoeste da área (abaixo do Bairro do Marisco). Encontra-se alongada segundo a direção N-S e é delimitada pelos lineamentos estruturais N-S e N35W;
- 3) classe AA: a) quadrante noroeste da área de estudo. Está alinhada segundo a direção N60-70E. É cortada pelos lineamentos estruturais N-S, N30W e N50W; b) lado ocidental da área. Encontra-se alongada segundo a direção N70E e cortada pelos lineamentos estruturais N-S e N35W; c) quadrante sudoeste. Encontra-se alongada segundo N20-30E e, cortada pelo lineamentos estrutural N35W; d) porção meridional da área de estudo. Está alinhada segundo a direção N-S e cortada pelo lineamento N35W; e) situada próxima aos Bairros da Enseada e do Barro. Não é cortada por nenhum lineamento estrutural.

4.1.8 - MAPA DE LITOTIPOS

Este mapa apresenta sete unidades geológicas (Figura 4.16) sem conotação estratigráfica. Tal fato deve-se pelas idades das diferentes unidades não implicarem no potencial de escorregamentos “latu sensu”, e também pelos dados existentes até o presente momento serem controversos. Assim, a região carece de maiores estudos dos pontos de vista petrográfico, estratigráfico, estrutural e cronológico.

Os limites entre as unidades são basicamente de origem tectônica (Zonas de Cisalhamento Transcorrente), com exceção para as unidades U5, U6 e U7. Cada unidade foi definida somente quanto aos litotipos presentes (dados de campo), pois não foram efetuados estudos petrográficos. Desta forma, a classificação aqui adotada é puramente descritiva e genérica.

Foram mapeadas as seguintes unidades:

- 1) U1: junto com a U4, constituem as unidades mais expressivas da área de estudo. Está situada na porção nor-noroeste da área, abrangendo o Domínio I (Cedro) e parte do Domínio II (Alto da Serra), sendo limitada a sul pela Zona de Cisalhamento Transcorrente do Ribeirão do Ouro e cortada pela Zona de Cisalhamento Transcorrente do Bairro Alto. Aparece também no quadrante nordeste, porção do Domínio III (Santo Antônio). Essa unidade é composta (de acordo com trabalhos de campo) por granada granito gnaisse poiquiloblástico cataclasado com megacristais de feldspato potássico róseo com até 2 cm. Esses megacristais apresentam inclusões de biotita, formato lenticular, porém sem movimento definido. O granito também possui veios de quartzo dobrados e estirados (Veneziani e Okida, 1995). Em algumas porções (lado esquerdo do Represa de Paraibuna, Rio Pardo) ocorrem cataclasitos da rocha citada anteriormente. São compostos por intercalações de leitos de biotita e de quartzo-feldspato com clastos de feldspato potássico róseo lenticular de dimensões milimétricas. O solo dessa unidade é normalmente de tonalidade marrom avermelhado. Na porção pertencente ao Domínio III (Santo Antônio) ocorrem diques máficos de duas gerações, sendo ambos encaixados na direção da foliação cataclástica. O dique de anfibolito encontra-se foliado, enquanto o de diabásio preenche a fratura paralela à foliação. De acordo com o mapa geológico de Bistrichi et al. (1981), essa unidade é representada, do norte até a Zona de Cisalhamento Transcorrente do Bairro Alto, pelos migmatitos do Complexo Costeiro (AcM) e no restante da unidade pelos granitóides sin-tectônicos da Suíte Cantareira (PS_γc) e diques básicos Mesozóicos;
- 2) U2: situa-se na porção sul do Domínio II (Alto da Serra), sendo cortada pela Zona de Cisalhamento dos Quinhentos Réis. É composta por uma associação paragenética (paragnaisse, metagrauvaca e quartzito). O paragnaisse apresenta granada e biotita como minerais acessórios. O solo possui tonalidade marrom claro a avermelhado. De acordo com Bistrichi et al. (1981), essa unidade é representada pelos granitóides sin-tectônicos da Fácies Cantareira e alguns diques básicos Mesozóicos;

- 3) U3: situa-se na porção sul do Domínio III (Santo Antônio). É composta por um granito grosseiro, inequigranular, de coloração cinza, com alguns megacristais de feldspato potássico róseo. É menos foliado que os outros corpos graníticos. Localmente ocorrem bolsões pegmatíticos de coloração branca concordantes com a foliação do granito. O solo dessa unidade é de tonalidade marrom claro. Pelo mapa geológico adotado neste trabalho a unidade é composta por granitóides sin-tectônicos;

- 4) U4: localiza-se na porção sudoeste da área de estudo, sendo delimitada à norte pela Zona de Cisalhamento Transcorrente de Camburu. É composta por gnaiss localmente granitizado, ora com ora sem moscovita, biotita e granada como minerais acessórios. Ocorrem alguns blastos de feldspato potássico róseo arredondados, ovais, lenticulares e sigmoidais. Nesses corpos é possível verificar *boudins* de leitos quartzo-feldspáticos, estruturas *pinch-and-swell* e dobras de arrastos disruptas. Todas as estruturas indicam movimento dextral. Ocasionalmente ocorrem diques de anfibolito e diabásio como na U1 (porção do Domínio III - Santo Antônio) e, corpos de diorito porfiróide. Nesses últimos corpos os megacristais de feldspato potássico róseo são raros e apresentam formato amendoado. Essa unidade é representada no mapa de Bistrichi et al. (1981) como migmatitos (AcM) do Complexo Costeiro com diques básicos Mesozóicos;

- 5) U5: situado no canto sudoeste da área de estudo, esse corpo apresenta-se inserido na U4 e possui formato circular (não foi visitado no campo). É uma unidade que possui baixa densidade de traços de fraturas. De acordo com mapas geológicos consultados essa unidade é representada por um corpo de rochas básicas a ultrabásicas denominado Complexo Bairro do Marisco (Silva et al., 1977);

- 6) U6: situada no limite da baixada com as escarpas (próximas às U1 e U4). São pequenos corpos de sedimentos aluvionares;

- 7) U7: situada em toda a zona da baixada. São compostos por sedimentos areno-argilosos Terciários-Quaternários de origem continental, marinha e mista.

4.2 - CONTROLE ESTRUTURAL DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Pelas análises e interpretações efetuadas com as imagens fotográficas, dados de campo e auxiliares (declividade, índices pluviométricos, etc.), verificou-se que os movimentos de massa na área de estudo são influenciados principalmente por estruturas disjuntivas regionais.

A conjugação das estruturas disjuntivas com atitudes variáveis possibilita a fragmentação dos maciços rochosos em blocos. Esses blocos podem ser movimentados gravitacionalmente, sendo tais movimentos deflagrados de diversas formas. Os principais fatores deflagradores ou catalisadores dos escorregamentos desta área são: remoção da vegetação devido à antropização e alto índice pluviométrico (período de dezembro a março⁴). Os fatores deflagradores secundários são os litotipos e a declividade. A declividade foi aqui considerada como de ordem secundária na análise, por apresentar valores altos em toda a área sujeita a movimentos gravitacionais de massa.

Verificou-se também que a combinação de estruturas disjuntivas com estruturas coesivas (foliações) promove uma fragmentação em lascas ou cunha (Figura 4.17), ao contrário dos arranjos formados somente por estruturas disjuntivas, que apresentam formato romboédrico (Figuras 4.18, 4.19 e 4.20).

Observou-se também que não é possível distinguir entre os diversos tipos de movimentos de massa (escorregamentos translacionais, rotacionais, em cunha, quedas de blocos, tombamentos, rastejos e corridas) analisando somente as imagens orbitais. Sendo que a única inferência possível de ser efetuada é quanto à localização das áreas sujeitas à ocorrência dos movimentos (como foi efetuado neste trabalho).

⁴ O acumulado crítico de 3 dias de chuvas para o Litoral Norte do Estado de São Paulo é de 120 mm (Ohnuma et al., 1994).

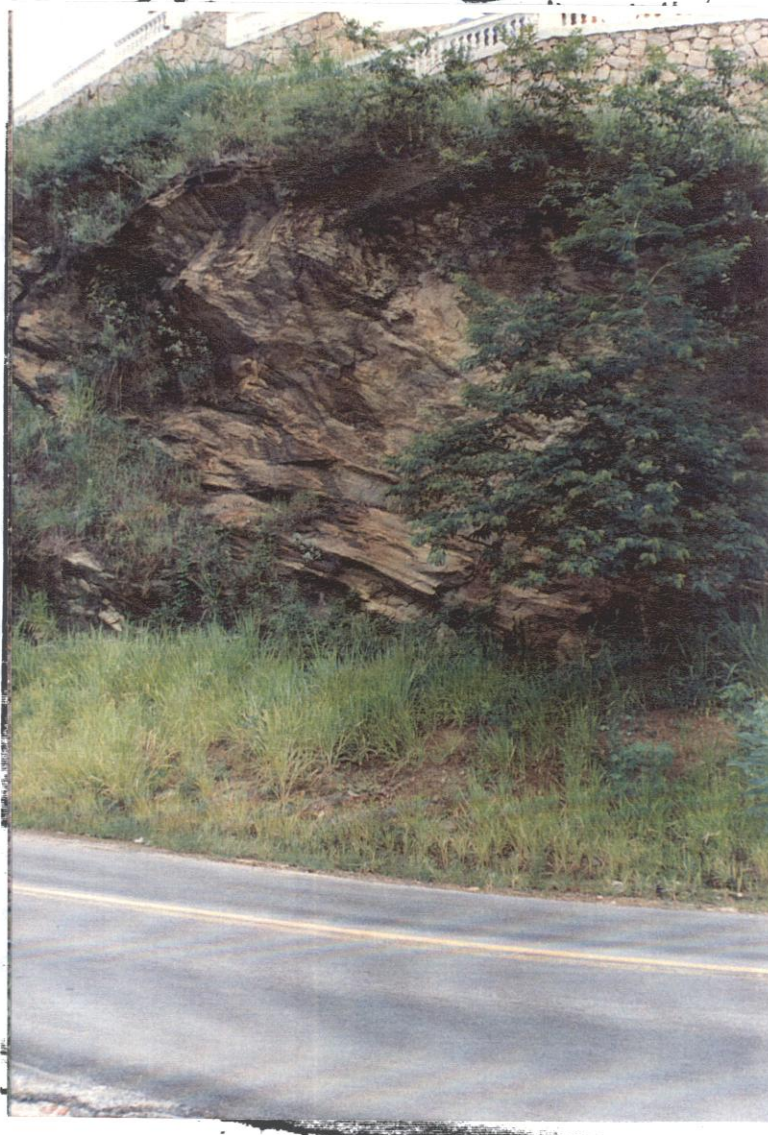


Fig 4.17 - Gnaiss localmente granitizado e intensamente foliado (foliação cataclástica-milonítica, N50E/40SE paralela ao fraturamento). Detalhe para a casa sobre o afloramento. BR-101, sentido São Sebastião-Caraguatatuba.

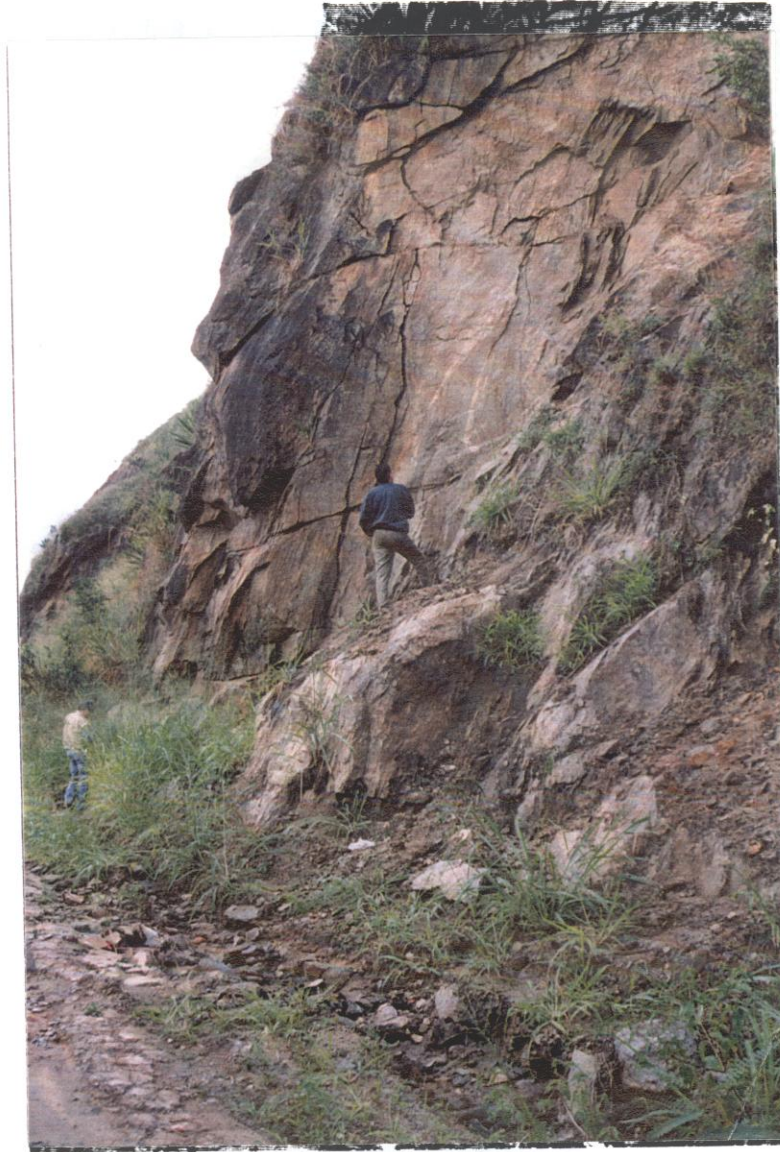


Fig. 4.18 - Afloramento de gnaiss localmente granitizado, fraturado segundo três direções: uma paralela ao corte de estrada (E-W) e à foliação, uma perpendicular à primeira (N-S) e uma subhorizontal (E-W). O sistema de fraturas formam diedros que geram queda de blocos. BR-101, entre os kms 116 e 117.

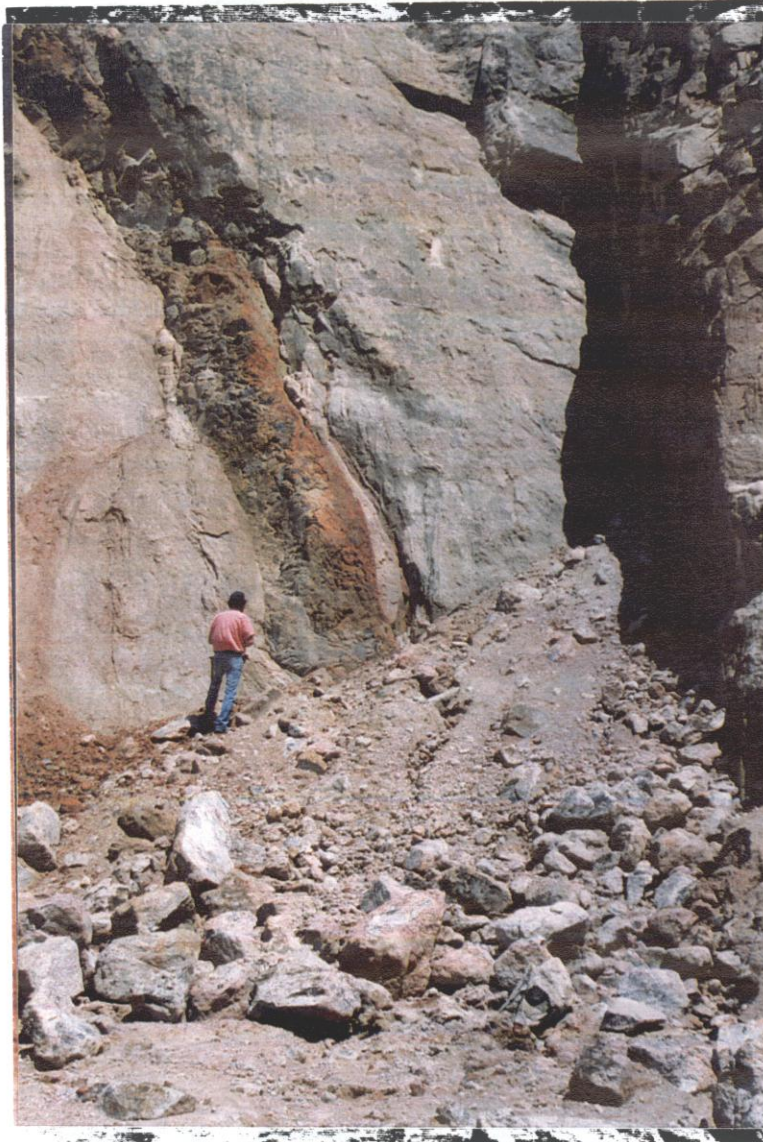


Fig. 4.19 - Queda de blocos em afloramento de granito gnaisse com diques de diabásio e anfibolito paralelos à foliação cataclástica-milonítica N60-70E/subvertical. Fraturas subhorizontal (N60-70E) e subvertical (N20-30E) juntamente com a foliação formam os diedros. BR-101, Posto Hudson, sentido Caraguatatuba-Ubatuba.

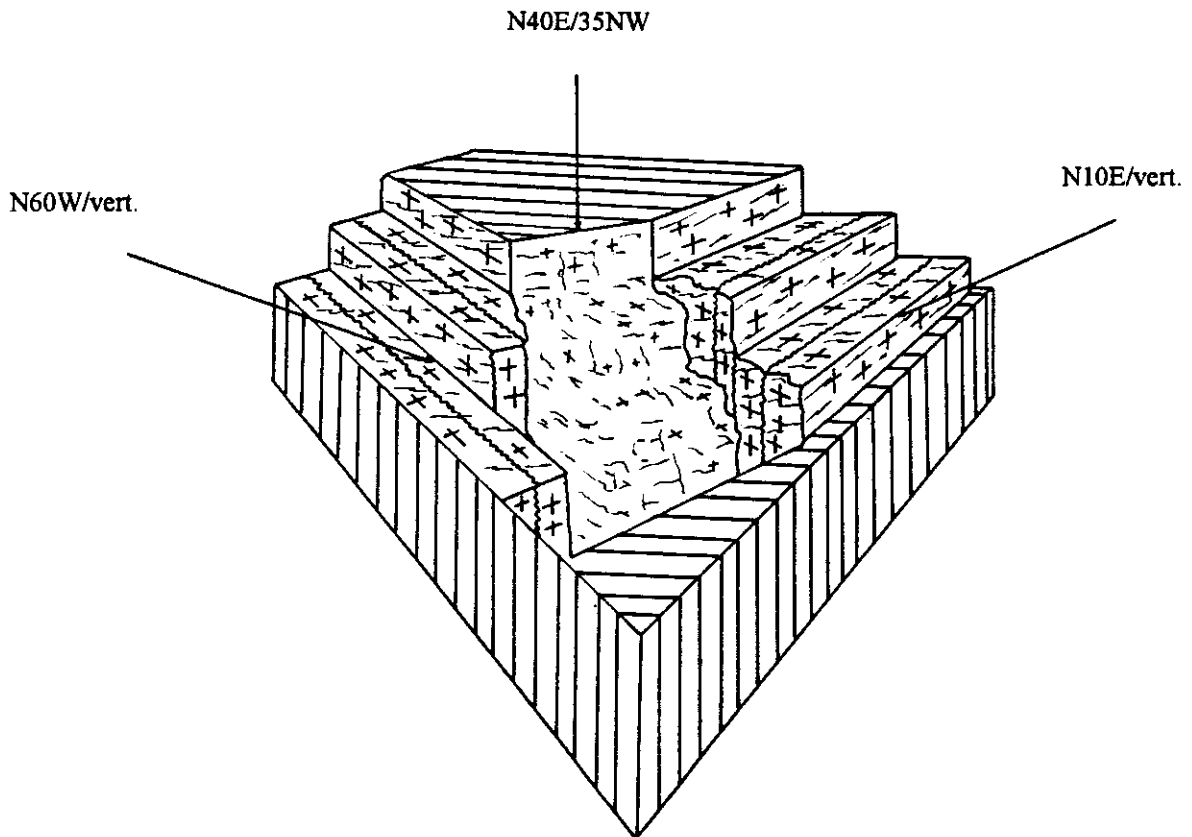


Fig. 4.20 - Bloco diagrama mostrando o controle das estruturas (foliação N40E/35NW, fraturas N60W/vert. e N10E/vert.) no processo de escorregamento "latu sensu". Afloramento situado na SP-99, km 74.

Em trabalhos de campo constatou-se que as encostas paralelas às direções de fraturamento ou foliações favorecem os escorregamentos ditos translacionais (Figura 4.21 e 4.22) ou os tombamentos de blocos. Esses movimentos ocorrem devido à pressão do fluxo d'água (percolação), que é paralela à encosta. Trabalhos efetuados na via Anchieta pela DERSA mostraram tais tipos de escorregamentos (Moruzzi e Rodrigues, 1976).

Já as estruturas coesivas e/ou não coesivas quando se interceptam com ângulos de mergulho subhorizontais e subverticais, formam um arranjo que favorece as quedas de blocos (observação corroborada por Ogura et al., 1993).



Fig. 4.21 - Escorregamentos de solo do tipo translacional. O escorregamento ocorreu segundo a direção da foliação (N50E/vertical) que é paralela ao corte de estrada (paralela à prancheta). BR-101, sentido Caraguatatuba-Ubatuba.

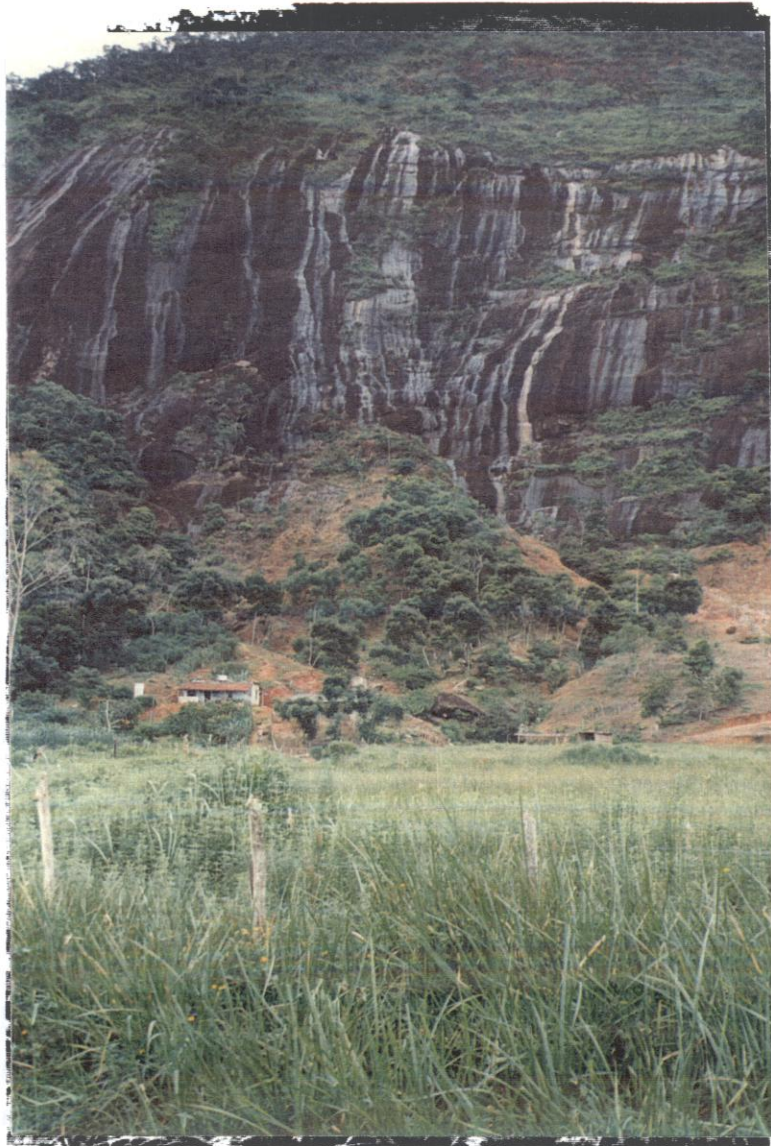


Fig. 4.22 - Escorregamento translacional de solo segundo à direção N60E. Detalhe para a casa sobre o corpo de tálus. Afloramento atrás da rodoviária da Cidade de Caraguatatuba.

Quando as estruturas anteriormente mencionadas (coesivas ou não coesivas) apresentam mergulhos com valores intermediários a altos e estão em encostas alteradas e com percolação de águas pluviais geram ravinas por erosão linear. Com a evolução do processo erosivo desenvolvem-se concavidades onde ocorrerão os escorregamentos em cunha (Figura 4.23, 4.24 e 4.25).

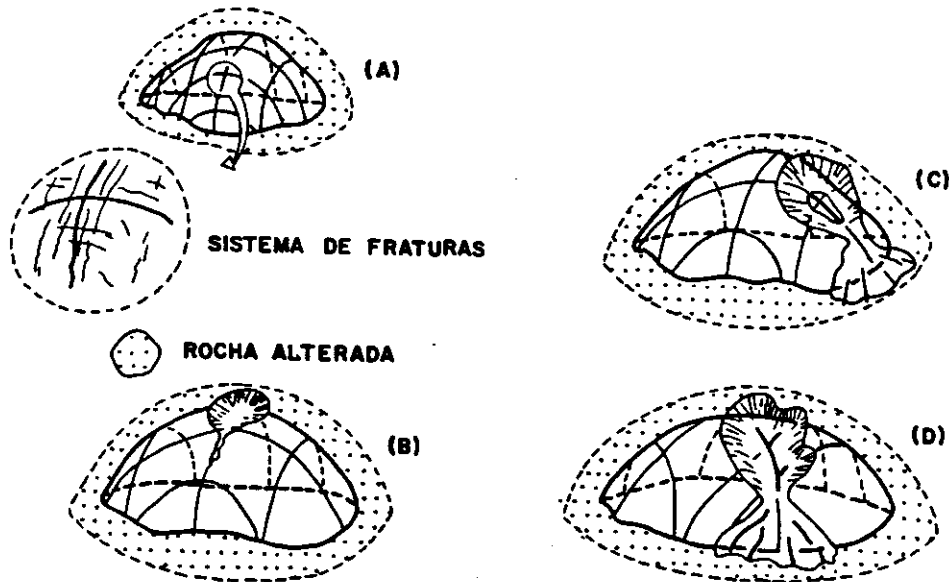


Fig. 4.23 - Desenvolvimento de concavidades controladas por estruturas na rocha (A). Formação de canal e desenvolvimento inicial de uma concavidade suspensa em relação ao fundo do vale adjacente (B). Fase de aprofundamento e recuo de encostas (C). Desenvolvimento de subunidades côncavas na intersecção de duas famílias de fraturas (D).

FONTE: Avelar e Coelho Netto (1992), p. 226.

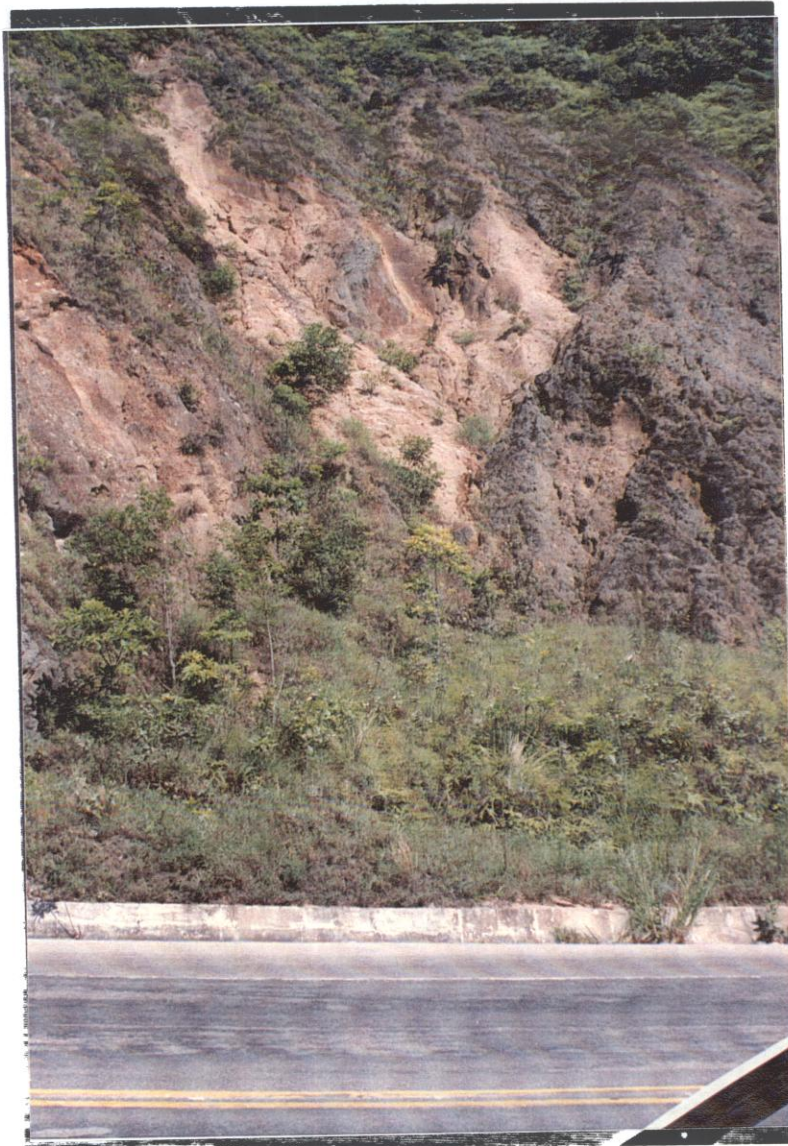


Fig. 4.24 - Exemplo de concavidade formada por fraturas N70E/vert. (esquerda) e N30W/40SW (direita). Afloramento da SP-99, km 69.



Fig. 4.25 - Leque de detritos provenientes de escorregamento controlado por estruturas disjuntivas N60-70E/60-70NW (paralela à foliação cataclástica-milonítica - esquerda) e N60-70W/70SW (direita). Bairro do Engenho (limite de municípios Caraguatatuba-São Sebastião).

Comprovou-se em trabalhos de campo que um fator importante na determinação da estabilidade de taludes é o sentido do mergulho das estruturas. Áreas com estruturas mergulhando de forma concordante ao corte do talude são normalmente instáveis, enquanto áreas com estruturas com sentido de mergulho oposto ao do corte do talude são consideradas "estáveis", até que ocorra mudança de algum fator de estabilização (Figura 4.18).

De acordo com observações de campo, os movimentos de massa ocorrem normalmente em taludes cuja declividade é maior que o mergulho das estruturas. No entanto, movimentos de massa também podem ocorrer quando a declividade do talude é menor que a das estruturas; considerando sempre que ambos os mergulhos sejam no mesmo sentido.

Apesar de se constatar que as estruturas disjuntivas são as condicionantes dos movimentos de massa na área de estudo, sabe-se que esses movimentos são deflagrados principalmente pelos altos índices pluviométricos e em áreas sem vegetação.

Observou-se na área estudada que as chuvas agem na deflagração dos movimentos de massa de duas formas, como citado por Wolle e Carvalho (1989):

- 1) precedentes a cada escorregamento. Relacionam-se às condições de pré-saturação do solo. As chuvas podem ter duração de dias;
- 2) durante o escorregamento, em um período relativamente curto (em torno de horas). Essas chuvas promovem o avanço da "frente de saturação" terreno adentro, reduzindo a sucção e a tensão cisalhante. O grau de saturação inicial, o índice de vazios do solo, sua textura e plasticidade, a intensidade, duração e frequência das chuvas, tipo e densidade de cobertura vegetal e também a inclinação da encosta influem na profundidade e na velocidade de avanço da "frente de saturação". Conforme as características de permeabilidade do terreno e o nível das tensões de sucção pré-existentes, deve-se considerar chuvas de 1 a 3 horas ou até de 1 a 3 dias para a deflagração dos movimentos.

Exemplo de tais condições puderam ser constatadas no início do presente ano (fevereiro de 1995), quando ocorreram fortes chuvas no litoral paulista sem desencadear movimentos de massa (promovendo condições de pré-saturação do solo). No entanto, no mês de março ocorreram novas chuvas que provocaram o avanço da "frente de saturação" e portanto, grandes movimentos de massa, principalmente em São Vicente (Baixada Santista) e na Ilha Bela (Litoral Norte).

A ausência da vegetação também é caracterizada como um fator catalisador na instabilidade de encostas, pois muitas vezes o homem desmata áreas fortemente controladas por estruturas disjuntivas, desencadeando os escorregamentos. Já áreas com vegetação são consideradas estáveis, pois a vegetação permite a evapotranspiração e a interceptação da água proveniente das chuvas; reduzindo a parcela disponível para a infiltração e retardando o avanço da "frente de saturação" (Prandini et al., 1976). Exemplos desse tipo de fator deflagrador pode ser observado nas estradas vicinais que cortam o Domínio IV (Marisco), onde áreas sem vegetação apresentam movimentos de massa e áreas com vegetação são estáveis.

No entanto, algumas vezes o modo como as raízes encontram-se estruturadas também podem provocar instabilizações nas encostas, como citado por Tsukamoto e Kusakabe (citado por Greenway, 1987, citado por Andrade et al., 1992). Exemplo de instabilização de encostas com estruturação de raízes é observado na Figura 4.26.

Quanto aos litotipos presentes na área de estudo, constatou-se que esses não apresentam forte relação com a ocorrência dos movimentos de massa, visto serem rochas predominantemente de composição granítica. A única diferenciação que pode ser efetuada, é quanto à intensidade de estruturação dos litotipos. Assim, áreas com gnaisses intensamente foliados localmente granitizados são mais susceptíveis a quedas de blocos estruturados em lascas ou cunhas (Domínio IV - Marisco). Enquanto áreas com granitos ou granito gnaiss pouco ou medianamente foliados são mais susceptíveis a quedas de blocos romboédricos. Porém, é possível ocorrer exceções.

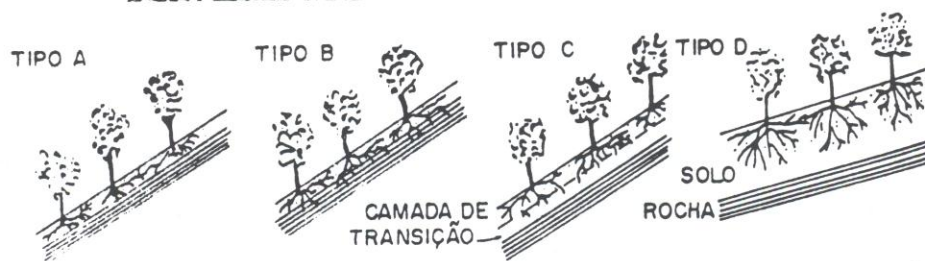


Fig. 4.26 - Escorregamento de solo e blocos. Detalhe para o buraco abaixo da cobertura vegetal produzido pelo escorregamento. Estrada para o Bairro do Cedro, sentido Rodovia dos Tamoios-Bairro do Cedro.

A estruturação de raízes é do tipo "D", de acordo com Tsukamoto e Kusakabe (citado por Greenway, 1987, citado por Andrade et al., 1992).

FONTE: Andrade et al. (1992), p. 164

Outro fator deflagrador dos movimentos, mas não citado na maioria dos trabalhos e não averiguado neste trabalho por falta de dados, é a sismicidade (seja ela natural ou induzida).

No caso da área de estudo a sismicidade, tanto natural quanto induzida, pode ser um fator deflagrador dos movimentos de massa, visto a área pertencer a região sismotectônica do sudeste (Berrocal et al., 1984, citado por Hasui et al., 1994), mas especificamente a Zona Sismogênica de Cunha (Figura 4.27 - Mioto e Hasui, 1982 in Mioto, 1984).

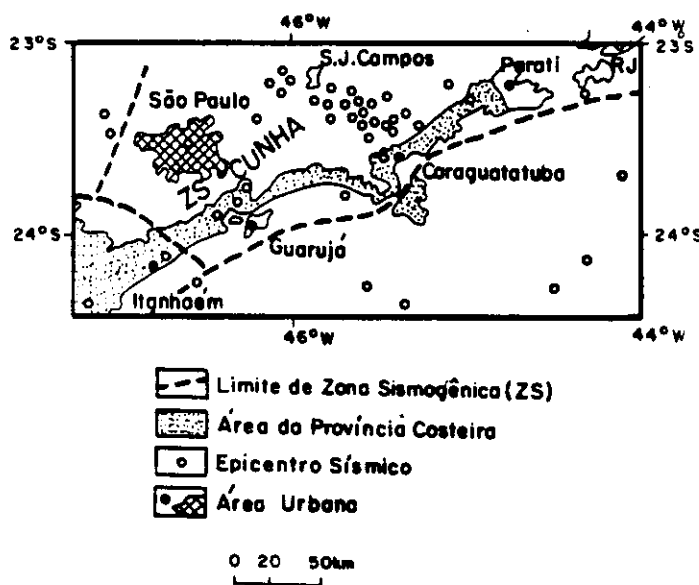


Fig. 4.27 - Mapa de sismicidade de parte da Província Costeira. Detalhe da Zona Sísmica de Cunha.

FONTE: Hasui et al. (1994), p. 60.

De acordo com Hasui et al. (1977), as falhas do leste paulista apresentam-se ativas sismicamente e a Represa de Paraibuna pode ser considerada, até hoje, como um "corpo indutor" de abalos sísmicos, visto esta apresentar mais de 30 mil registros sísmicos (até o ano de 1977 - Ribbota, 1989, citado por Hasui et al., 1994)

Assim, de acordo com os dados analisados (tanto de campo, interpretações e complementares) verificou-se que os domínios estruturais da área estudada apresentam os seguintes controles que condicionam os movimentos gravitacionais de massa:

- 1) Domínio Estrutural I (Cedro): ocorrem movimentos do tipo queda de blocos com alguns escorregamentos de solo e blocos. Os diedros são gerados principalmente por fraturas conjugadas de direção N60-70E a N70-80E/vert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica) e N10W/vert., além de fraturas de alívio com direção N50-60W/30NE a vert. Nesse domínio a direção da Rodovia dos Tamoios é favorável à ocorrência dos movimentos de massa;

- 2) Domínio Estrutural II (Alto da Serra): é considerado o domínio mais susceptível à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa da área de estudo. No entanto, verificou-se em trabalhos de campo que são raros a ausentes os locais com instabilidades (Rodovia dos Tamoios). Tal fato deve-se pela rodovia apresentar vários tratamentos contra instabilizações, após ter sido alvo de escorregamentos sucessivos nas décadas de 70 e 80. Desta forma, é possível observar em suas encostas, cortinas atirantadas com altura de até 13 metros, suportadas por até 15 linhas de tirantes com capacidade de 270 kN, pranchadas com e sem tirantes, encostas com solo-cimento e cortinas atirantadas de pequeno porte, entre outros tratamentos (Luz e Yassuda, 1994). De acordo com esses autores, não há registro de escorregamentos que mereça atenção em quase duas décadas e meia da existência das obras. O domínio apresenta várias ravinas geradas pela erosão linear (concavidades) e raras quedas de blocos, sendo o controle estrutural bastante variado. As seguintes direções de fraturamentos são as que condicionam os escorregamentos (dados de campo):
 - a) NNW, NE e NNE : N20-30W/subvert., N70-80E/subvert. e N20E/35NW (paralela à foliação cataclástica-milonítica);

 - b) NNW, NE e NW a WNW: N20-30W/subvert., N60E/subvert. e N60-70W/subvert.; N20-30W/subvert. (paralela ao corte de estrada), N60E/30SE e N80W/50SW (paralela à foliação cataclástica-milonítica);

 - c) NNW e NW: N20-30W/subvert., N40W/vert. e N50-60W/subvert. (perpendicular ao corte de estrada);

d) NNW e NE: N20W/subvert., N60-70E/subvert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica) e N30W/40SW (paralela à foliação cataclástica e subparalela ao corte de estrada);

e) NW, NNE e NE: N60W/vert., N20E/30SE a vert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica) e N70E/10SE (paralela à foliação cataclástica-milonítica).

Assim como no Domínio I (Cedro), a direção da Rodovia dos Tamoios no Domínio II é favorável à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa;

3) Domínio Estrutural III (Santo Antônio): possui alguns escorregamentos translacionais em solo e alguns escorregamentos e quedas de blocos condicionados por estruturas em cunha. As principais direções de fraturamentos que condicionaram a formação de diedros são: N20-30W/30SW a vert. (paralela à foliação cataclástica e subparalela ao corte de estrada da BR-101), N50-60W/subvert. (paralela à foliação cataclástica e ao corte de estrada da Rodovia dos Tamoios) e N60-70E/40NW ou SE a vert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica). Exporadicamente a direção N20-30E/30NW ou SE a vertical pode formar diedros com as direções N50-60W e N60-70E. A direção principal tanto da Rodovia dos Tamoios como da BR-101 são favoráveis à ocorrência dos movimentos de massa;

4) Domínio Estrutural IV (Marisco): apresenta a maior incidência de escorregamentos e quedas de blocos envolvendo estruturação em lascas. Pode ser considerado como o domínio estrutural de menor grau de susceptibilidade. As principais direções de fraturamentos que condicionam os movimentos de massa são (dados de campo):

a) NE (variável): N40E/30-40NW, N50E/30NW e N70E/30NW a subvertical;

b) NNW e WNW: N20W/subvertical e N80W/60SW a subvertical;

c) N-S, NW e NE: N-S/vertical, N60W/vertical e N50E/vertical (paralela à foliação cataclástica-milonítica);

- d) NW, NE: N60-70W/70SW e N60-70E/60-70NW (paralela à foliação cataclástica-milonítica); N40W/vertical e N50E/30SE a vertical;
- e) NW e NNE: N40W/vertical, N20E/vertical e N30E/30NW (paralela à foliação cataclástica-milonítica).

Esse domínio, juntamente com o Domínio III (Santo Antônio) apresenta várias obras de estabilização na Rodovia Rio-Santos, contruídas nas décadas de 70 (cortinas atirantadas e muros de gabião) e 80 (cortina atirantada convencional, retaludamento com proteção superficial, muro de solo-cimento e solo envelopado com geotêxtil, drenagem horizontal profunda, entre outras - Luz e Yassuda, 1994). No entanto, apesar de até hoje não haver comentários sobre as obras, verifica-se que no trecho em que se insere a área de estudo há pequenos escorregamentos de solo e blocos, além de quedas de blocos (como a da Figura 4.17)

4.3 - ZONEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA ESCALA DE 1:50.000

As áreas potenciais ou atuais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa foram divididas em seis classes relativas:

- 1) C1: alto potencial ou alto atual;
- 2) C2: alto-moderado potencial ou alto atual;
- 3) C3: moderado potencial ou alto-moderado atual;
- 4) C4: moderado-baixo potencial ou moderado atual;
- 5) C5: baixo potencial ou moderado-baixo atual;
- 6) C6: baixo potencial ou baixo atual.

As áreas mais favoráveis aos escorregamentos (áreas de alto potencial ou de alto grau atual -C1) são duas, sendo essas situadas nas escarpas da Serra do Mar até o limite da área urbana de Caraguatatuba e na porção sudoeste da área de estudo (Bairro do Marisco). Essas áreas localizam-se no Domínio II (Alto da Serra) e no Domínio IV (Marisco). Os litotipos presentes são metassedimentos cataclasados (paragnaisses, metagrauvacas e quartzitos) e gnaisses milonitizados localmente granitizados, respectivamente. Possuem alta frequência de traços de fraturas (igual ou superior a 22,5) com diversos eixos de máximo de traços de fraturas se inter cruzando (vide mapa de frequência de traços de fraturas), além de duas (nos metassedimentos) a três direções de fraturamentos (nos gnaisses - vide mapa de traços de fraturas). Localmente a frequência de traços de fraturas é inferior a 22,5. Nas áreas pertencentes a essa classe foram verificadas quatro direções de lineamentos estruturais (vide mapa de lineamentos estruturais), sendo a declividade maior que 40%. Essas áreas situam-se em baixos estruturais (Figura 4.28).

A segunda classe de maior favorabilidade à ocorrência dos escorregamentos (alto a moderado potencial ou áreas de alto grau atual - C2) localiza-se em um único trecho da Serra do Mar (Domínio II) e apresenta frequência de traços de fraturas igual ou maior a 22,5, com vários eixos de máximo de traços de fraturas (vide mapa de frequência de traços de fraturas) e duas direções de fraturamento (vide mapa de traços de fraturas). Encontra-se em um baixo estrutural, sendo o litotipo predominante um granito gnaisse. Apresenta declividade maior que 40%. Na área pertencente a essa classe foram verificadas quatro a cinco direções de lineamentos estruturais (vide mapa de lineamentos estruturais).

A terceira classe de maior favorabilidade à ocorrência dos escorregamentos (áreas com moderado potencial ou alto a moderado grau atual - C3) apresenta duas áreas, uma no Domínio III e outra no Domínio IV. A primeira área possui frequência de traços de fraturas igual ou maior a 22,5 (vide mapa de frequência de traços de fraturas), duas direções de lineamentos estruturais verificadas em interpretação (vide mapa de lineamentos estruturais) e situa-se em uma região de baixo estrutural. Essa área é composta por granito gnaisse, sendo que localmente ocorre um granito pouco foliado. Apresenta duas direções de fraturamentos (vide mapa de traços de fraturas) e declividade maior que 40%. A segunda área apresenta as mesmas características da primeira, diferindo somente no número de direções de lineamentos estruturais, três a quatro (vide mapa de lineamentos estruturais). O litotipo presente é um gnaisse milonitizado localmente granitizado.

As três áreas pertencentes a classe quatro (moderado a baixo potencial ou moderado grau atual - C4) situam-se nos Domínios II e IV e apresentam: alta frequência de traços de fraturas (igual ou superior a 22,5), com eixos de máximos de traços de fraturas (vide mapa de frequência de traços de fraturas). A área dos granito gnaisses do Domínio II apresenta uma a duas direções de fraturamentos (vide mapa de traços de fraturas), declividades entre 20 a 40% e situam-se em um alto estrutural. Foram também verificadas duas a três direções de lineamentos estruturais (vide mapa de lineamentos estruturais). Na região dos gnaisses milonitizados do Domínio IV foram verificados quatro direções de lineamentos estruturais (vide mapa de lineamentos estruturais), duas direções de fraturamentos (vide mapa de traços de fraturas) e um alto estrutural. Na área das rochas máficas-ultramáficas do Complexo Bairro do Marisco (Domínio IV) verificou-se duas direções de lineamentos estruturais, duas direções de fraturamento (vide mapa de traços de fraturas) e um baixo estrutural. As duas áreas do Domínio IV apresentam declividades entre 20 a mais de 40%.

A última classe presente nesse mapa é a de baixo potencial ou moderado a baixo grau atual (C5). São duas áreas localizadas nos Domínios I e IV. Apresentam baixa frequência de traços de fraturas (inferior a 22,5. Localmente ocorrem frequências maiores) e duas direções de lineamentos estruturais verificadas em interpretação (vide mapa de lineamentos estruturais). As duas áreas não apresentam eixos de máximo de traços de fraturas. No Domínio I o litotipo presente é um granito gnaisse com duas direções de fraturamentos (vide mapa de traços de fraturas), declividade variando entre 5 a mais de 40% e situado em uma baixo estrutural. No Domínio IV o litotipo é um gnaisse milonitizado localmente granitizado, com duas direções de fraturamentos (vide mapa de traços de fraturas), declividades entre 20 a 40% e maior que 40% e situado em um alto estrutural.

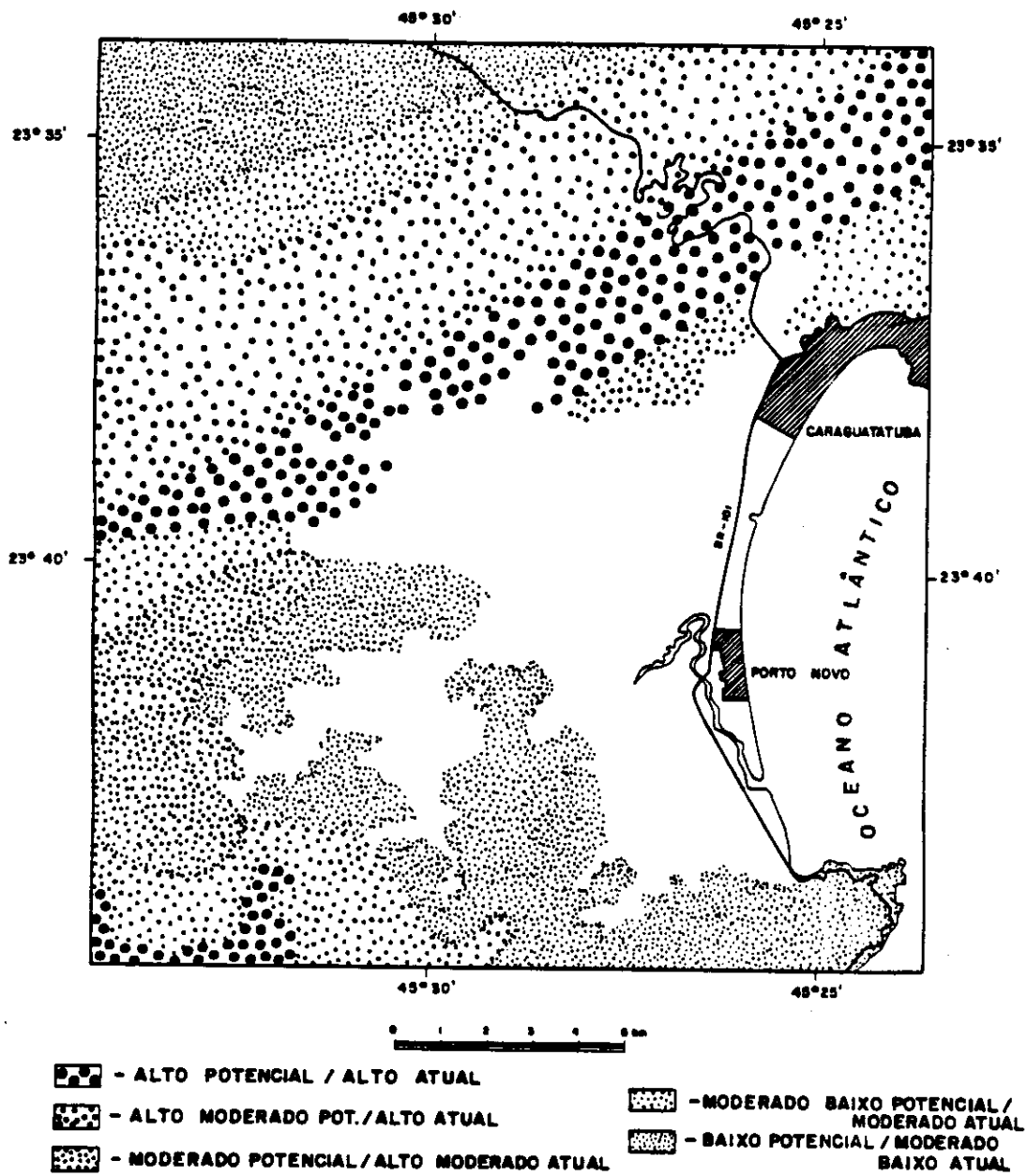


Fig. 4.28 - Mapa das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa (Zoneamento na escala de 1:50.000).

4.4 - ZONEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES

As imagens digitais tratadas pelo sistema SITIM-I.N.P.E. mostraram resultados satisfatórios de correção atmosférica, realce dos níveis de cinza e registro imagem x imagem (I x I). A eliminação de ruídos não apresentou bom resultado, visto restarem pixels de ruído na imagem tratada. Tal fato não foi considerado problemático, pois esses pixels encontram-se no Oceano Atlântico.

O registro I x I foi satisfatório devido o valor residual (erro do registro) ter sido menor que um pixel (Tabela 4.6).

TABELA 4.6 - MATRIZ DE PRECISÃO DO REGISTRO I x I.

ERRO RESIDUAL		
horizontal	vertical	total
0,344	0,384	0,516

Das diversas composições coloridas testadas, as que apresentaram melhor resultado na discriminação de áreas sujeitas a inundações foram: 4R/5G/3B e 4R/5G/7B. Entre as duas composições coloridas, a 4R/5G/3B foi a que melhor discriminou as áreas alagadas. Tais composições mostram as áreas alagadas (planície costeira) com tonalidade vermelho-amarronzado e, os corpos d'água (Represa de Paraibuna e oceano) com tonalidade azul escuro a preto (Figuras 4.29 e 4.30). Abaixo são descritas as principais características das bandas utilizadas:

- 1) TM3 (0,63 a 0,69 μ m): faixa do espectro com baixa resposta da vegetação devido à absorção da clorofila;
- 2) TM4 (0,76 a 0,90 μ m): destaca melhor os corpos d'água, pois apresenta alto contraste entre água e solo.

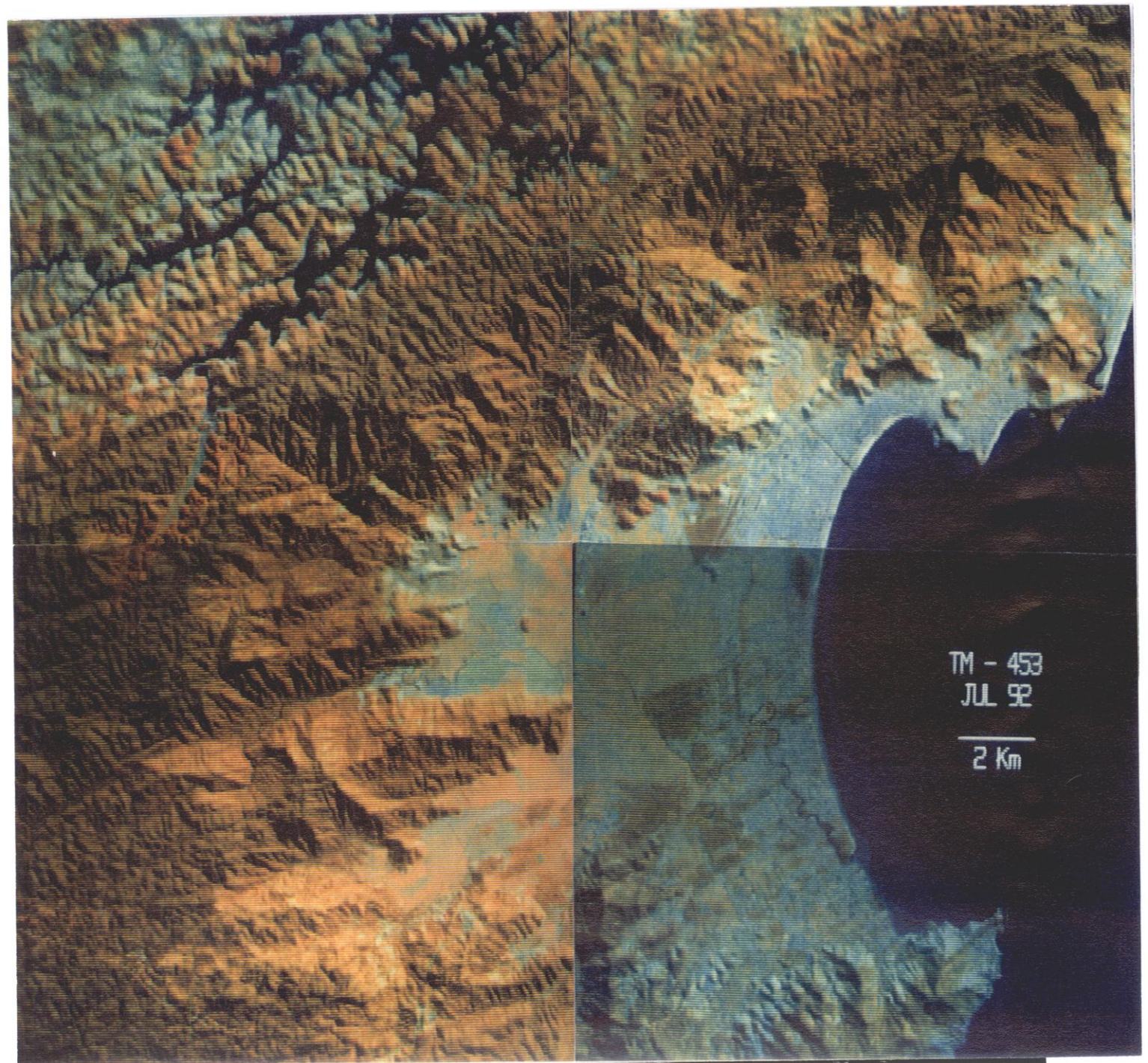


Fig. 4.29- Composição colorida 4R/5G/3B (julho de 1992).

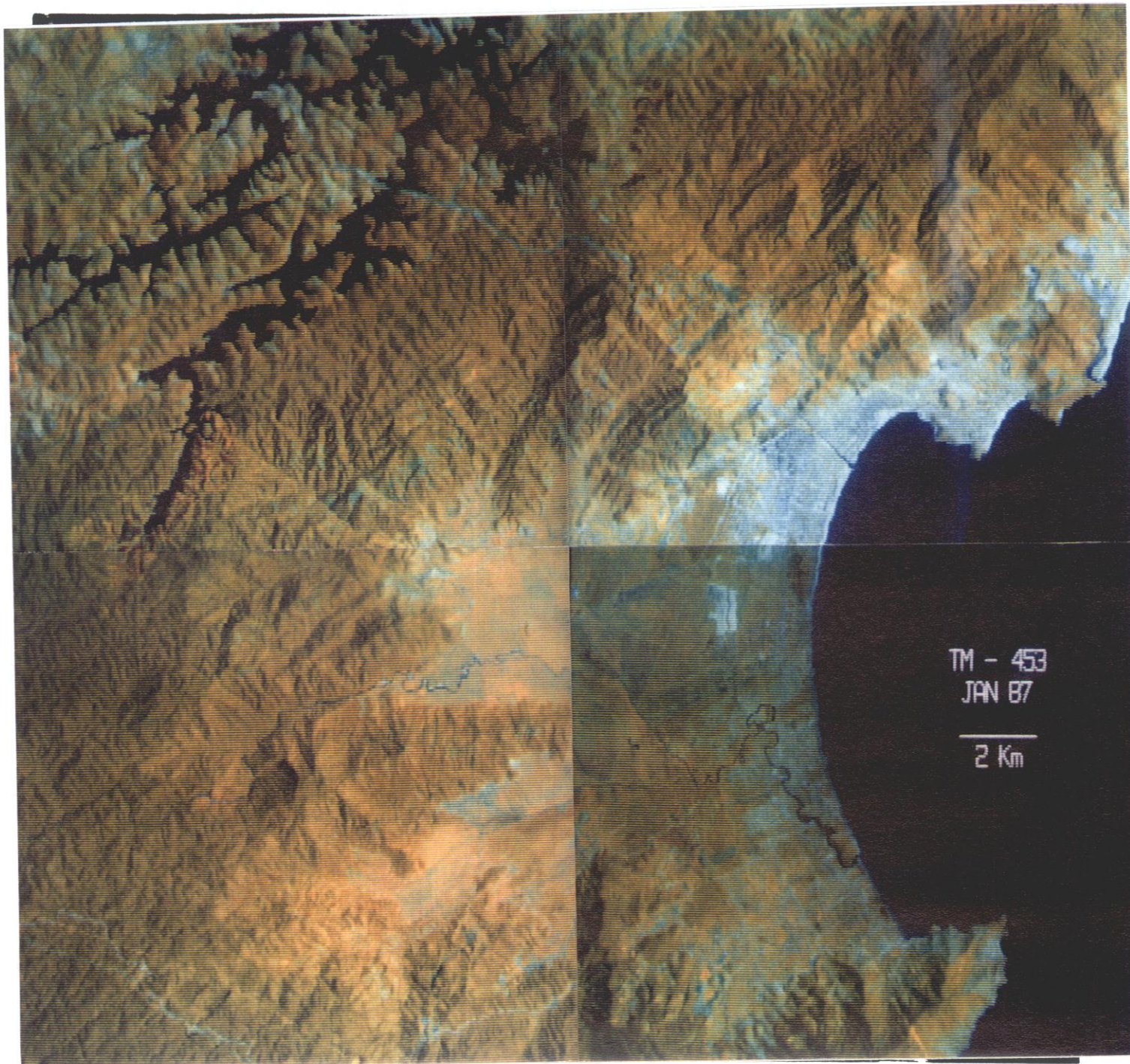


Fig. 4.30 - Composição colorida 4R/5G/3B (janeiro de 1987).

- 3) TM5 (1,55 a 1,75 μ m): destaca as áreas afetadas pela inundação devido à resposta espectral particular da vegetação morta que encontra-se associada às áreas de inundação.
- 4) TM7 (2,08 a 2,35 μ m): destaca as áreas com umidade retida no solo, devido à resposta espectral do material argiloso (setores da planície de inundação).

Trabalhos como o de Novo (1983) e outros, confirmam a escolha das bandas utilizadas como sendo as mais adequadas para a obtenção de dados relativos a áreas ocupadas por corpos d'água, solos com elevado teor de umidade, áreas inundadas e delimitação da planície de inundação.

As composições coloridas mencionadas anteriormente apesar de permitirem uma delimitação satisfatória das áreas alagadas, apresentaram resultados insatisfatórios na delimitação dos corpos d'água situados na porção planáltica (Rio Pardo - Represa de Paraibuna). As imagens das duas datas ao serem projetadas sob a forma de diapositivos sobre a base cartográfica, apresentaram-se distorcidas. Tal distorção pode ser resultante da soma de outras pequenas distorções e erros (aquisição de pontos de controle nas imagens de forma irregular, erro residual do registro, distorções das imagens fotografadas no monitor e erro das cartas topográficas), ou mesmo pela própria limitação do produto utilizado (problemas de resolução espacial, ângulo de elevação solar - sombreamento e azimute solar).

Assim, foi utilizada a composição multitemporal 4R(julho)/4G(janeiro) na delimitação dos corpos d'água da região do Rio Pardo (Represa de Paraibuna). Essa composição mostra os corpos d'água com cores preto (áreas iguais nas duas passagens) e vermelho (áreas atingidas pela inundação - Figura 4.31). Tal composição apresenta menor distorção, em comparação com as composições coloridas anteriormente citadas.

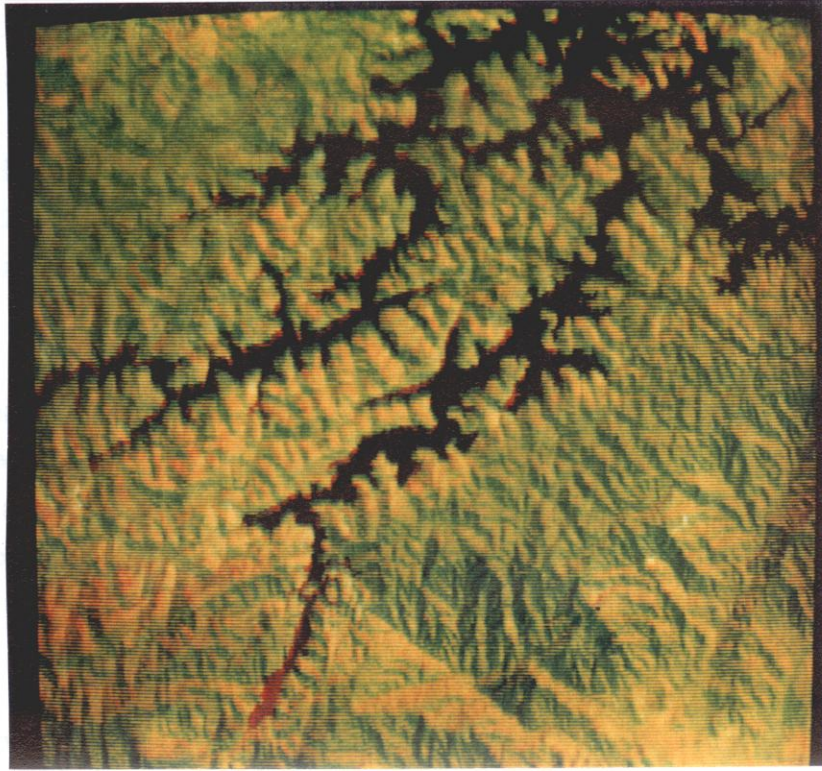


Fig. 4.31 - Corpo d'água. Composição colorida 4R(julho)/4G(janeiro). Escala de 1:50.000.

Desta forma, foram confeccionados dois mapas: um que representa as áreas encobertas ou sobre influência das águas fluviais nos períodos de maior (janeiro) e menor (julho) precipitação na área (mapa de inundação), e outro que delimita as áreas encobertas ou sobre influência das águas fluviais sem discriminação temporal (mapa de áreas inundáveis ou sujeitas a inundações). Esse último mapa foi confeccionado a partir do mapa de inundação. Ambos os mapas utilizaram como base as cartas topográficas da área de estudo na escala de 1:50.000.

4.4.1 - MAPA DE INUNDAÇÃO

Este mapa apresenta as áreas de inundação das duas passagens (janeiro de 1987 e julho de 1992 - Figura 4.32).

Tais áreas de inundação encontram-se em duas porções da região estudada: planície costeira e Represa de Paraibuna. Desta forma, pode-se verificar que as áreas de inundação de janeiro são mais extensas que as de julho. No entanto, em algumas regiões ocorre o inverso, isto é, áreas de julho mais extensas que as de janeiro. Esse fato ocorre pela imagem de janeiro (1987) ser mais antiga que a de julho (1992). Desta forma, a área já sofreu modificações quanto à sua dinâmica ocupacional (antropização) e fluvial.

No caso da planície costeira, as áreas de inundação encontram-se principalmente nas adjacências do baixo curso do Rio Juqueriquerê (porção centro-meridional da área de estudo - Figura 4.33). A maior área alagada estende-se do Bairro das Palmeiras até o Bairro do Ribeirão, enquanto áreas menores são visualizadas ao norte do Morro do Indaiaquara e nas adjacências da Barra do Ribeirão da Lagoa (entre a BR-101 e a citada barra).

As áreas de inundação da Represa de Paraibuna (janeiro de 1987) são de pequena extensão, sendo a porção de maior destaque, aquela situada no braço sul da represa.

Dados pluviométricos do Posto de Caputera (próximo ao cemitério da cidade de Caraguatatuba) referentes aos meses analisados, indicam que em janeiro de 1987 (Tabela 4.7) a área de estudo apresentou dois picos de chuvas (entre os dias 1º e 5 e, 16 e 31. Sendo o segundo pico o mais intenso). Em julho de 1992 foram registrados três picos de chuvas (Tabela 4.8 - entre os dias 7 e 9, 16 e 18 e, 24 e 26). Esses dados revelam que as indicações das áreas de inundação poderiam ser melhores, caso fossem analisadas imagens do final de janeiro de 1987. Porém, para as condições de escolha das imagens, tais resultados são considerados satisfatórios, pois a imagem de 06 de janeiro de 1987 é precedida de um pico de chuva (condição favorável à incidência de inundação) e, a imagem de 30 de julho de 1992 encontra-se em um período normal de índice de precipitação para a época (de baixa pluviosidade).

TABELA 4.7 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DE JANEIRO DE 1987

Posto: Caputera/Caraguatatuba (E2-046)

Latitude: 23°38'

Longitude: 45°26'

Altimetria: 20 m

Data : janeiro/1987

Dia	Altura de chuva (mm)
1	11,9
2	0,0
3	11,0
4	23,6
5	6,5
6	0,0
7	0,0
8	0,0
9	0,0
10	0,0
11	0,0
12	2,0
13	0,0
14	0,0
15	0,8
16	1,2
17	25,9
18	0,0
19	24,0
20	4,5
21	0,0
22	5,0
23	15,1
24	16,6
25	60,0
26	22,7
27	4,8
28	31,2
29	0,6
30	16,0
31	3,5

Total mensal: 288,7 mm

Máxima diária: 60,0 mm

Dias de chuva: 18

FONTE: Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente (Estado de São Paulo).

TABELA 4.8 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DE JULHO DE 1992

Posto: Caputera/Caraguatatuba (E2-046)

Latitude: 23°38'

Longitude: 45°26'

Altimetria: 20 m

Data : julho/1992

Dia	Altura de chuva (mm)
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	7,6
5	0,0
6	0,0
7	6,8
8	8,5
9	27,5
10	0,0
11	6,0
12	0,0
13	0,0
14	0,0
15	0,0
16	2,1
17	8,2
18	1,8
19	0,0
20	0,0
21	0,0
22	0,0
23	0,0
24	1,9
25	9,0
26	3,8
27	0,0
28	0,0
29	0,0
30	0,0
31	0,0

Total mensal: 77,8 mm

Máxima diária: 27,5 mm

Dias de chuva: 11

FONTE: Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente (Estado de São Paulo).



Fig. 4.33 - Vista parcial do canal do Rio Juqueriquerê após período de intensa chuva (fevereiro de 1995).

Destaca-se que há na área de estudo outros postos pluviométricos. São esses: Alto da Serra (próximo à Fazenda homônima), Caraguatatuba (na cidade homônima) e Porto Novo (no distrito homônimo). No entanto, de acordo com informação verbal do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (D.A.E.E./S.P. - julho de 1995), atualmente só há registros do Posto E2-046 (Caputera ou atual Posto Caraguatatuba), não sendo assim, possível fazer uma correlação dos dados da porção planáltica com os da região serrana e da planície.

A delimitação das áreas de inundação só foi efetuada em regiões alagadas ou em planícies aluviais ou corpos d'água de expressão significativa (relacionada à resolução espacial do sensor utilizado - 30 m para o TM-LANDSAT).

Além das técnicas de tratamento utilizadas, fez-se uma classificação supervisionada (classificação por máxima verossimilhança - MaxVer) para delimitar as áreas sujeitas a inundações, tal como utilizado por Novo e Santos (1981), Novo et al. (1981). No entanto, a classificação obteve resultado insatisfatório devido à grande confusão causada entre os alvos.

4.4.2 - MAPA DE ÁREAS INUNDÁVEIS

Estas áreas foram delimitadas a partir das ocorrências do mapa de inundação e das cartas topográficas da área de estudo (terrenos sujeitos à inundação).

Na planície costeira essas áreas vão do Bairro do Tinga até o Bairro do Ribeirão (Figura 4.34), sendo essa a maior área inundável da região estudada. Nessa área há inúmeros loteamentos à venda, além de construções já instaladas, agravando desta forma, ainda mais o problema de inundabilidade (Figura 4.35)

De acordo com levantamento bibliográfico referente ao assunto e dados sobre a área de estudo, verifica-se que a ocorrência de tais áreas deve-se aos seguintes fatores:

- 1) presença de uma bacia hidrográfica (Bacia do Rio Juqueriquerê) com alta circularidade⁵ (Figura 4.36);
- 2) área situada próxima à foz do Rio Juqueriquerê, com forte influência das marés altas (Figura 4.36);
- 3) área sujeita a estrangulamentos de canais de drenagem por processos erosivos que acumulam material nos leitos, e por ação antrópica (com deposição de detritos domésticos e instalação de portos de areia);
- 4) ocorrência de desmatamentos nas cabeceiras das drenagens que aumentam o poder de escoamento (concentrado) nas vertentes em período de alto índice pluviométrico;

⁵ Relação da largura média da bacia pelo comprimento do seu eixo máximo (Wisle e Brater, 1964 citado, por Novo e Santos, 1981).

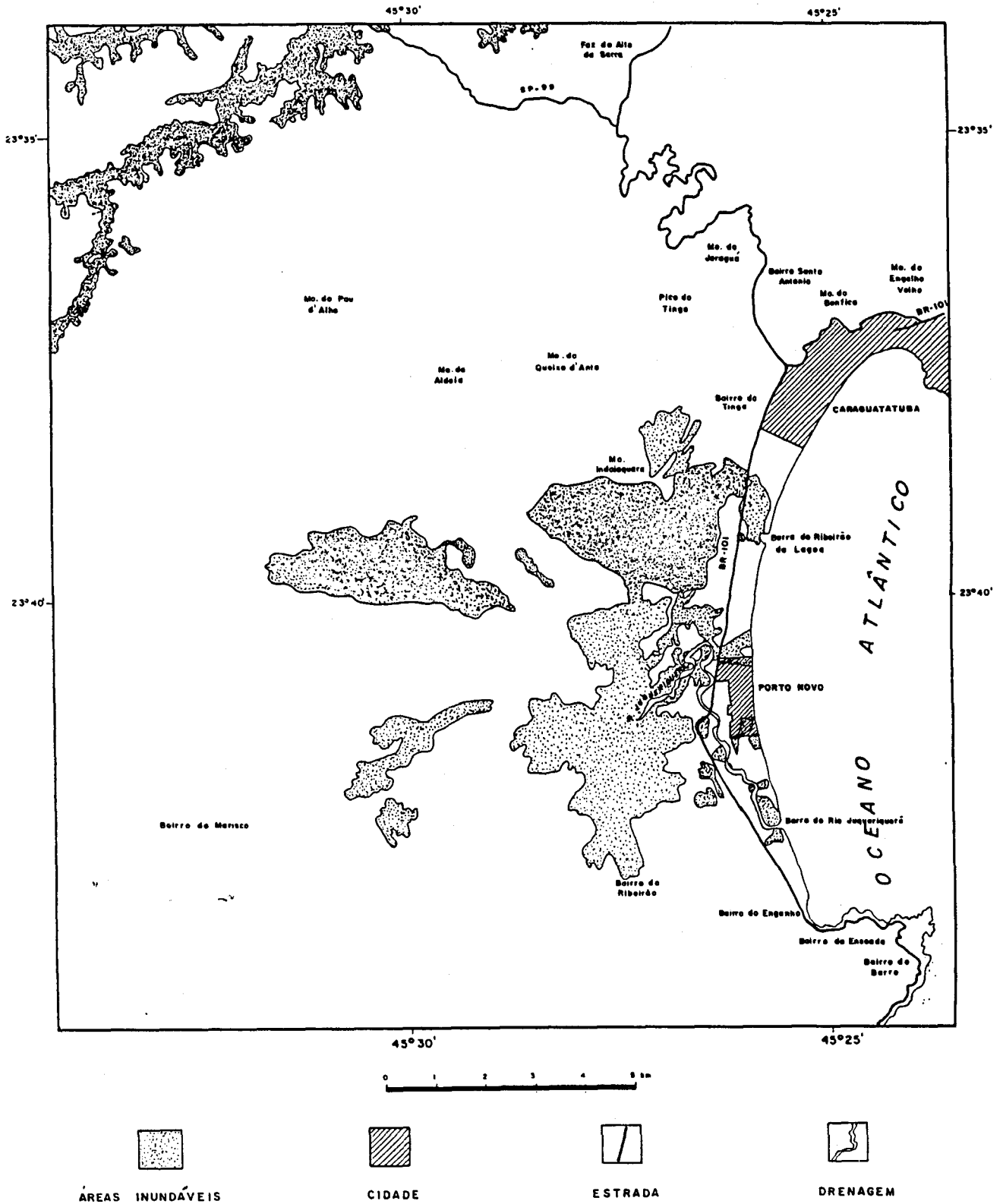


Fig. 4.34 - Mapa de áreas inundáveis.



Fig. 4.35 - Vista de uma área sujeita à inundação da planície costeira. Detalhe para a placa de loteamento no lado direito da foto.
Lado esquerdo da BR-101, sentido São Sebastião-Caraguatatuba

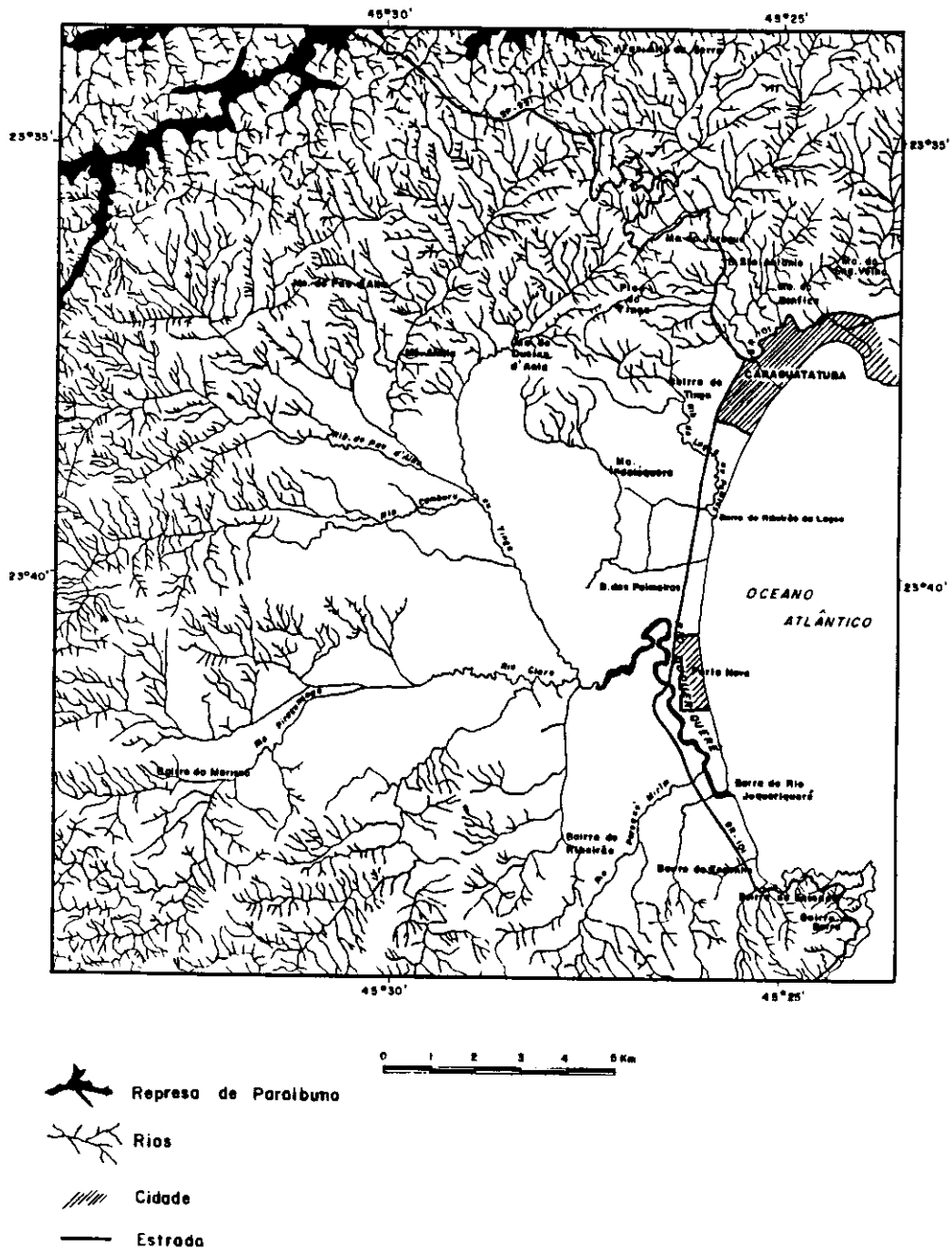


Fig. 4.36 - Mapa de drenagem.

- 5) presença de lençol freático próximo à superfície;
- 6) presença de sedimentos impermeáveis na planície aluvial.

As áreas inundáveis da região planáltica (Rio Pardo - Represa de Parai-buna) são as mesmas do mapa de inundação. Essas áreas aparecem nesta porção da região estudada devido, principalmente, às vertentes convexas que formam vales encaixados (Figura 4.37).



Fig. 4.37 - Vista parcial do Rio Pardo após período intenso de chuvas (fevereiro de 1995).

4.5 - ZONEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E A INUNDAÇÕES NA ESCALA DE 1:8.000

As áreas favoráveis à ocorrência dos movimentos de massa foram analisadas com a utilização de fotos aéreas segundo a forma da encosta, a presença ou não de erosão laminar e linear, a declividade e os dados estruturais obtidos a partir da interpretação da imagem orbital. Desta forma, foram delimitadas quatro classes de áreas com incidência de movimentos de massa a partir dos fatores acima mencionados, e da presença ou não de vegetação (fator utilizado para análise das áreas atuais de escorregamentos). São essas as classes delimitadas:

- 1) D1: área sem vegetação, com encosta côncava e com erosão laminar e linear;
- 2) D2: área com vegetação, com encosta côncava e com erosão laminar e linear;
- 3) D31: área sem vegetação, com encosta convexa e com erosão laminar e linear;
- 4) D3: área com vegetação, com encosta convexa e sem erosão laminar e linear.

As classes de declividades utilizadas são as listadas logo abaixo (dados obtidos do mapa de declividade de Cruz, 1974 na escala de 1:10.000), sendo que cada classe apresenta as seguintes restrições quanto à forma de uso e/ou ocupação do solo para áreas com encostas côncavas. Para encostas convexas utiliza-se a relação inversa (quanto menor a declividade, maior a restrição):

- 1) A: < 5%: área adequada;
- 2) B: 5 - 10%: área com restrições;
- 3) C: 10 - 20%: área com severas restrições;
- 4) D: 20 - 30%: áreas com severas restrições a inadequadas;
- 5) E: > 30%: áreas inadequadas.

A integração de tais dados (áreas de incidência x declividade) resultou nas classes favoráveis à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa (classes favoráveis pertencentes ao Domínio II e ao Domínio III) como consta na Tabela 4.9. As classes são idênticas as do zoneamento na escala de 1:50.000.

Para as áreas sujeitas a inundações foram delimitados dois tipos de áreas: I1 = várzeas e I2 = terraços. Essas áreas foram integradas com os dados de declividade de Cruz (1974) e resultaram nas seguintes classes de ocorrência à inundação (Tabela 4.9).

TABELA 4.9 - ESTABELECIMENTO DAS CLASSES FAVORÁVEIS À OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÕES

ÁREAS DE INCIDÊNCIA	DECLIVIDADE	CLASSES DO DOMÍNIO II	CLASSES DO DOMÍNIO III
I1/I2	A	C1/C2	C1/C2
I1/I2/D1/D3/D31	B	C2/C3/C4/C3/C2	C2/C3/C5/C4/C3
D1/D31	C	C3/C3	C4/C4
D1/D2/D31	D	C2/C3/C4	C3/C4/C5
D1/D2/D3/D31	E	C1/C2/C5/C5	C2/C3/C6/C6

As regiões de maior potencial (classes 1 e 2) do mapa integrado (na escala de 1:8.000, Apêndice A) situam-se no lado esquerdo da Rodovia dos Tamoios, acima do limite entre os Domínios II (Serra do Mar) e III (Ubatuba). Há também áreas de potencial baixo (classe 5) e localmente ocorrem áreas de potencial intermediário (classe 3). As áreas de maior potencial são aquelas que apresentam declividades maiores que 30%, lineamentos estruturais paralelos à direção da fratura Y, situam-se no Domínio II, em regiões de baixo estrutural e alto topográfico e apresentam encostas côncavas. Apresentam-se constituídas por quartzitos, paragneisses e metagrauvas como seus litotipos principais e cicatrizes de erosão laminar e linear. Sua disposição segue o *trend* principal (aproximadamente E-W).

As áreas de potencial intermediário a baixo apresentam características semelhantes a da área de maior potencial, diferindo apenas no fato das encostas serem predominantemente convexas. No caso de áreas de escorregamentos atuais, a ausência de vegetação é o fator principal na classificação.

No lado direito da Rodovia dos Tamoios, acima do limite entre os Domínios II e III, há principalmente classes de alto (1 e 2) a baixo (5) potenciais.

Na região a sul do limite entre esses domínios estruturais ocorrem áreas com potenciais intermediário (3 e 4) e baixo (6). Localmente aparecem áreas de alto potencial (2).

A presença de pequenas áreas de alto potencial deve-se ao fato da região apresentar litotipos essencialmente graníticos, pouco foliados e estar em região pouco escarpada (próximo à planície costeira). No entanto, é imprescindível destacar o fato de que essa região situa-se próximo à área urbana; por conseguinte, qualquer modificação na geometria das encostas pode provocar movimentos de massa.

As áreas de inundação apresentam três classes potenciais (alta, alta a moderada e moderada), sendo a segunda a de maior expressão areal. Localizam-se em regiões com declividades que variam de menos de 5% a 5 até 10%.

Atualmente a área urbanizada encontra-se "dentro" e nas adjacências das várzeas e terraços, aumentando desta forma, a favorabilidade da ocorrência de acidentes causados por inundação (Figura 4.38).



Fig. 4.38 - Visão parcial do vale do Rio Santo Antônio em fevereiro de 1995. Detalhe para o canal fluvial e as residências instaladas na planície aluvial (área sujeita a escorregamentos e a inundações).

A presença de encostas com alto potencial a escorregamentos próximas às áreas sujeitas a inundações possibilita o aumento do grau de favorabilidade à ocorrência de inundações. Tal fato deve-se pela deposição de detritos provenientes das encostas no canal do Rio Santo Antônio, impedindo a passagem das águas e causando, por conseguinte, as inundações.

De acordo com análises efetuadas em toda a área de estudo e principalmente nesta porção detalhada, verificou-se que essa região, principalmente sua porção setentrional, é a que apresenta maior potencial à ocorrência dos movimentos de massa. Tal fato deve-se pela área estar situada em uma região escarpada, com alta declividade, encostas côncavas ou retilíneas e fortemente estruturada, possibilitando um escoamento rápido e concentrado das águas em direção as áreas de inundações, atualmente ocupadas pela população. Desta forma, cita-se o escorregamento ocorrido nesta região em 18 de março de 1967, que causou várias vítimas, como exemplo de tal potencialidade.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os produtos de sensoriamento remoto, principalmente as imagens orbitais, mostraram grande potencial no zoneamento e na caracterização das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa, visto proporcionarem bons resultados na discriminação de estruturas geológicas. Essas estruturas são os agentes condicionadores dos movimentos gravitacionais de massa e foram aqui analisadas devido à característica sinóptica dos produtos. Tal característica proporciona a integração dos elementos analisados e por consequência, uma rápida interpretação dos processos de ordem regional, utilizando-se do conceito de convergência de evidências.

Desta forma, pode-se dizer que os produtos de sensoriamento remoto permitem reduzir os custos em trabalhos de campo e laboratoriais e gerar resultados confiáveis e de forma bastante rápida.

Quanto ao formato dos produtos utilizados, verificou-se que as imagens analógicas foram bastante eficientes, pois neste trabalho, a análise e a interpretação dos alvos foram baseados nas propriedades dos elementos texturais (feições lineares de relevo e drenagem), que são melhor identificados em imagens deste tipo.

As técnicas de tratamento de imagens digitais não foram utilizadas na delimitação e na caracterização das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa, visto não disporem de recursos para análise e interpretação dos elementos texturais (de relevo e de drenagem), que leva em consideração o conceito de convergência de evidências. Além disso, outros tratamentos, como a filtragem espacial, acabam ressaltando feições ou elementos inexistentes na imagem, sendo que algumas vezes dissimulam tais feições.

Com relação aos dados analisados e interpretados, verificou-se que as áreas sujeitas à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa estão fortemente controladas por estruturas geológicas (áreas com grande variação de atitudes de estruturas, com alta frequência de traços de fraturas, intersecção de vários lineamentos estruturais e baixos estruturais). Outros atributos analisados, como ação antrópica, cobertura

vegetal, pluviometria, entre outros, foram caracterizados como de ordem secundária, devido esses somente deflagrarem o fenômeno.

Desta forma, foram obtidas seis classes potenciais ou atuais à ocorrência dos movimentos de massa pela integração de dados referentes aos mapas elaborados (domínios estruturais, frequência de traços de fraturas com eixos de máximo de traços de fraturas, lineamentos estruturais, morfoestrutural, litoestrutural e unidades de relevo), de trabalhos de campo, de vegetação (a partir de fotografias aéreas) e ação antrópica. As classes delimitadas foram: alto potencial ou alto atual, alto a moderado potencial ou alto atual, moderado potencial ou alto a moderado atual, moderado a baixo potencial ou moderado atual, baixo potencial ou moderado a baixo atual e baixo potencial ou baixo atual.

No zoneamento efetuado na escala de 1:50.000 verificou-se que as áreas situadas nas escarpas da Serra do Mar são as de maior potencial, seguidas de porções pertencentes aos Domínios III (Santo Antônio) e IV (Marisco) com potencial intermediário. As áreas de baixo potencial encontram-se nos Domínios I (Cedro) e IV.

As áreas de maior ocorrência de acidentes causados por escorregamentos estão relacionadas a regiões com grande intervenção antrópica (caso das Rodovias Tamoiós, Rio-Santos e da própria cidade de Caraguatatuba), portanto com alterações na geometria das encostas e sem vegetação natural. Enquanto as áreas de grau intermediário a baixo relacionam-se a regiões onde tais fatores são mais amenos.

Os controles estruturais relacionados aos escorregamentos de cada domínio são:

1. Domínio I: as quedas de blocos ou os escorregamentos de solo e blocos são condicionados principalmente por fraturas conjugadas de direção N60-70E a N70-80E/vert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica) e N10W/vert., além de fraturas N50-60W/30NE a vert.;
2. Domínio II: apresenta várias ravinas desenvolvidas pela erosão linear, concavidades e raras quedas de blocos controladas por uma grande variedade de direções de fraturamentos: NNW, NE e NNE; NNW, NE e NW a WNW; NNW e NW; NNW e NE; NW e, NNE e NE;

3. Domínio III: possui escorregamentos translacionais em solo e quedas de blocos condicionados por estruturas em cunha. As principais direções de fraturamentos que condicionam a formação de blocos são: N20-30W/30SW a vert. (paralela à foliação cataclástica), N50-60W/subvert. (paralela à foliação cataclástica) e N60-70E/40NW ou SE a vert. (paralela à foliação cataclástica-milonítica). Exporadicamente a direção N20-30E/30NW ou SE a vertical pode formar blocos com as direções N50-60W e N60-70E;
4. Domínio IV: apresenta escorregamentos e quedas de blocos envolvendo estruturação em lascas. As principais direções de fraturamentos que condicionam os movimentos de massa são: NE (variável); NNW e WNW; N-S, NW e NE; NW, NE; NW e NNE.

Recomenda-se assim sempre que possível, efetuar cortes de estrada sempre de forma discordante as direções das estruturas principais (N50-60W, N50E e N80E a E-W). Como se pode verificar, tanto a Rodovia dos Tamoios como a Rodovia Rio-Santos apresentam direções principais concordantes com as principais direções de fraturamento.

Para o zoneamento e a caracterização das áreas sujeitas a inundações, as características multiespectral e multitemporal dos produtos de sensoriamento remoto foram bastante úteis, visto auxiliarem na discriminação dos diferentes alvos (comportamento espectral dos alvos em diferentes faixas do espectro eletromagnético) e no monitoramento dos corpos d'água e áreas alagadas em vários períodos do ano (passagens em uma mesma área a cada 16 dias, no caso do TM-LANDSAT, sem o comprometimento com a cobertura de nuvens), respectivamente.

No mapa de áreas de inundação foram delimitadas as áreas alagadas e os corpos d'água das duas passagens (janeiro e julho, respectivamente os períodos de maior e menor precipitação na área de estudo) a partir das composições 4R/5G/3B e 4R (imagem de 1992)/4G (imagem de 1987), respectivamente. O mapa de áreas inundáveis ou de áreas sujeitas a inundações, elaborado a partir do mapa de áreas de inundação e de dados das cartas topográficas e de campo, mostra trechos da planície costeira e da Represa de Paraibuna como os susceptíveis à inundação.

No entanto, apesar do resultado satisfatório quanto à delimitação de áreas sujeitas a inundações, recomenda-se o uso de uma saída gráfica para as imagens digitais tratadas, ao invés de fotografias do monitor. Tal fato deve-se pela distorção das imagens causadas pelo monitor, pela limitação da resolução espacial do produto utilizado e, pela degradação das cores da imagem ao serem fotografadas e reveladas.

No zoneamento detalhado na escala de 1:8.000 na região do vale do Rio Santo Antônio, verificou-se a alta potencialidade do Domínio II em relação ao Domínio III, além de uma extensa área sujeita à ocorrência de inundações. As áreas da planície costeira apresentam-se altamente favoráveis à ocorrência de inundações devido não só as características locais, mas pela proximidade das encostas côncavas ou retilíneas que apresentam alta declividade e proporcionam um alto escoamento das águas.

Assim, considerando a grande quantidade de informações que pode ser obtida pelo uso de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, verifica-se a alta aplicabilidade de tal "ferramenta" em estudos que abranjam ações sociais de largo alcance, como planejamento de obras, prevenção e caracterização de áreas sujeitas a acidentes "naturais" e, a ótima relação custo/benefício proporcionada pelo seu uso.

Recomenda-se que tal linha de pesquisa tenha continuidade, na forma de um aperfeiçoamento da metodologia ora proposta e do zoneamento de diversas áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, D.; Formichi, B. Tectonics causes of landslides. Earth surface process and landforms. **Journal of British Geomorphological Research Group**, 18(4):311-318, 1993.
- Aliyev, A. Regional fracturing of the Pamirs and its metallogenic significance. **Doklay Earth Science Sections**, 250(1-6):90-93, 1982.
- Almeida, F.F.M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 16(4):325-349, 1986.
- _____. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, (41):169-263, 1964.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. The upper precambrian of South America. **Boletim IG/USP**, (7):45-80, 1976.
- Amaral, C.; Barros, W.; d'Orsi, R.; Amaral, F. SIG alternativo aplicado ao gerenciamento de áreas de risco geológico no Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7., Poços de Caldas, 1993. **Anais**. Poços de Caldas, ABGE, 1993, v.2, p. 55-62.
- Andrade, M.H.N.; Campos, T.M.P.; Vargas, E.A. Retroanálise do escorregamento da encosta do Cactáreo. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), 1., Rio de Janeiro, 1992. Rio de Janeiro, ABGE, v.1, p. 161-172.
- Anjos, C.E. **Tectônica da borda da Bacia do Paraná e de seu embasamento na região do Itajaí-Lages - Santa Catarina: uma abordagem com imagens fotográficas dos sistema LANDSAT e mosaicos de radar.** (Tese de Doutorado em Geologia Geral e de Aplicações) - Instituto de Geociências. São Paulo, IG/USP, 1986. 121p.

- Anjos, C.E.; Veneziani, P. Integração de dados geológicos, geomorfológicos, e de solos obtidos de imagens TM-LANDSAT para confecção de carta geológica na região do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos, I.N.P.E., 1993, v.3, p. 152-158.
- Asmus, H.E.; Ferrari, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. **Projeto REMAC**, (4):75-88, 1978.
- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). Proposta da A.B.G.E. ao COGEMIN. **Jornal da ABGE**, São Paulo, S.P., abr.-jun. 1980. 54, p. 8.
- Augusto Filho, O. O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no Município de Ubatuba, SP. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7., Poços de Caldas, 1993. **Anais**. Poços de Caldas, ABGE, 1993, v.2, p. 63-71.
- Augusto Filho, O.; Cerri, L.E.S.; Amenomori, C.J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: Simpósio Latinoamericano de Riscos Geológicos Urbanos, 1., São Paulo, 1990. São Paulo, ABGE, 1990, p. 334-341.
- Augusto Filho, O.; Pedrotti, A.; Cerri, L.E.S **Plano de redução e prevenção de risco associados a movimentos de massa e inundações/enchentes para o Município de Ilha Bela, S.P.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. 2v., 78p. (Relatório IPT 31.355).
- Avelar, A.S.; Coelho Netto, A.L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, 22(2):222-227, 1992.
- Barros, W.T. et al. Metodologia para a identificação de áreas de risco geológico no Município do Rio de Janeiro com base na tecnologia do sensoriamento remoto. In: Simpósio Latinoamericano sobre Risco Geológico Urbano, 1., São Paulo, 1990. São Paulo, ABGE, 1990, p. 506-517.

- Beisl, C.H. et al. Identificação de rampas oblíquas na Região de Natividade da Serra, São Paulo, Brasil, com imagens TM/LANDSAT In: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 7., Puerto Vallarta, 1995. Puerto Vallarta, SELPER, 1995, p. 333-346
- Bistrichi, C.A. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1981, v.2. (Monografias 1, IPT n. 1106).
- Cecarelli, I.F.; Vedovello, R.; Mattos, J.; Alves, C.A.S. Avaliação geotécnica para definição do traçado do mineroduto Rio Capim-Murucupi. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário de Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Balneário de Camboriú, S.B.G., 1994, v.1, p. 22-23.
- Cerri, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes**. (Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, IGCE/UNESP, 1993. 197p.
- Crepani, E. Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da Chapada do Araripe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v. 2, p. 366-380.
- Cruz, O. **A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba: contribuição à geomorfologia tropical litorânea**. (Tese de Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia. São Paulo, FFLCH/USP, 1974. 179p.
- Cunha, M.A. et al. **Manual de Ocupação de Encostas**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216p.
- Currey, D.T. Identifying flood water movement. **Remote Sensing of Environment**, 6:51-61, 1977.

Florenzano, T.G. **Avaliação do MSS-LANDSAT-4 para o mapeamento geomorfológico do semi-árido como suporte ao planejamento regional: uma abordagem integrada (Área-teste região de Juazeiro - B.A.).** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-3984-TDL/236).

_____. **Unidade geomorfológicas da Região Sudeste (S.P) identificadas por imagens de satélites.** (Tese de Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia. São Paulo, FFLCH/USP, 1993. 164p.

Florenzano, T.G.; Valério Filho, M.; Rodrigues, R.L.V. **Identificação de áreas submetidas à inundação através de imagens TM/LANDSAT nas Bacias dos Rios Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco.** São José dos Campos, INPE, 1990. 37p. (INPE-5034-RPE/619).

Florenzano, T.G. et al. **Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento de áreas submetidas à inundação na Bacia do Rio Parnaíba.** São José dos Campos., INPE, 1988. 60p. (INPE-4570-RPE/566).

Freitas, C.G.L.; Prandini, F.L. **Carta geotécnica do Município de Ubatuba - S.P.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 2v., 211p. (Relatório IPT, 28.975).

Fúlfaro, V.J.; Suguio, K.; Ponçano, W.L. A gênese das planícies costeiras paulistas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Porto Alegre, 1974. **Anais.** Porto Alegre, SBG, 1974, v.3, p. 37-42.

Garda, G.M.; Schorscher, H.D. Os diques máficos e ultramáficos da região costeira entre São Sebastião e Ubatuba, São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário de Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos.** Balneário de Camboriú, S.B.G., 1994, v. 3, p. 62-63.

Guy, M. Quelques principes e quelques experiences sur la metodologie de la photointerpretation. In: Symposium Internacional de Photointerpretation, 2., Paris. **Acte.** v.1, p.2-41, 1966.

- Hasui, Y.; Almeida, F.F.M.; Brito Neves, B.B. Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., Recife, 1978. **Resumo das Comunicações**. Recife, SBG, 1978a, Boletim n. 1, p. 316.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R.; Coimbra, A.M. The Ribeira Foldes Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, 5(4):257-266, 1975.
- Hasui, Y.; Dantas, A.S.L.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A. O embasamento pré-Cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: Almeida, F.F.M.A. et al. ed. **Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa**. São Paulo, IPT, 1981, cap. 3, p. 12-45. (Monografias 6; IPT n. 1184).
- Hasui, Y.; Fonseca, M.J.G.; Ramalho, R.. A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. ed. **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, cap. 7, 1984. p. 307-328.
- Hasui, Y.; Mioto, J.A.; Morales, N. Geologia do pré-cambriano. In: Falconi, F.F.; Negro Jr., A. ed. **Solos do Litoral de São Paulo**. São Paulo, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), cap. 2, 1994. p. 41-67.
- Hasui, Y.; Sadowski, G.R. Evolução geológica do pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, 6(3):182-200, 1976.
- Hasui, Y. et al. As grandes falhas do leste paulista. In: Simpósio de Geologia Regional, 1., São Paulo, 1977. **Atas**. São Paulo, SBG, 1977, p. 369-380.
- _____. **Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1978b. 2v, 78p. (Monografias 1, Publicação IPT n. 1.106).
- Hobbs, B.E. et al. **An Outline of Structural Geology**. New York, John Wiley and Sons, 1976. 525p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Folha Topográfica SF-23-Y-D-VI-1 Caraguatatuba; escala 1:50.000, São Paulo, 1974a.

_____ Folha Topográfica SF-23-Y-D-V-2 Pico do Papagaio; escala 1:50.000, São Paulo, 1974b.

King, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, 18(2):147-256, 1956.

Kurkdijan, M.L.N.O. et al. **Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, INPE, CODIVAP, 1992. 175p. (INPE-5381-PRP/165).

Luz, P.A.C.; Yassuda, C.T. Estabilidade de taludes. In: Falconi, F.F.; Negro Jr., A. **Solos do Litoral de São Paulo**. São Paulo, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), 1994. cap. 9, p. 205-234.

Mattos, J.T.; Rueda, J.R.J. Relação entre dados espectrais do TM-Landsat e índices pedogeoquímicos para diagnóstico de estabilidade de maciços rochosos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário de Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Balneário de Camboriú, SBG, 1994, v.1, p. 480-481.

Melo, M.S.; Pires Neto, A.G. Esboço geológico da Província Costeira entre as Serras do Juqueriquerê e do Parati, Estado de São Paulo. In: Simpósio de Geologia Regional, 1., São Paulo, 1977. **Atas**. São Paulo, SBG, 1977, p. 303-323.

Menco, L.F.K. Consideração geomorfológica de interesse à geologia de engenharia. In: Simpósio de Geografia Física, 3., Rio de Janeiro, 1989. **Anais**. Rio de Janeiro, 1989, v.1, p. 53-70.

Mioto, J.R. **Mapa de risco sísmico do sudeste brasileiro**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984. 48p. (Monografias, 10, Publ. IPT 1563).

- Moruzzi, C.; Rodrigues, R. Controle geológico-geotécnico na Serra do Mar. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1., Rio de Janeiro, 1976. **Atas**. Rio de Janeiro, ABGE, 1976, v.1, p. 229-224.
- Nieble, C.M.; Cornides, A.T.; Fernandes, J.R. Escorregamentos remontantes originados por estruturas reliquias em saprolitos. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 7., Recife, 1982. **Anais**. Recife, ABGE, 1982, p. 143-153.
- Niero, M. et al. **Aplicação de dados multitemporais do LANDSAT no acompanhamento da variação da lâmina d'água na área programa do Careiro/P.D.R.I.-A.M.** São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3176-RTR/055).
- Novo, E.M.L.M. **Aplicaciones de los sensores remotos a problemas hidrológicos e inundaciones.** São José dos Campos, INPE, 1983. 17p. (INPE-2896-PRE/415).
- Novo, E.M.L.M.; Santos, A.P. **Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do Vale do Rio Doce.** São José dos Campos., INPE, 1981. 37p. (INPE-2109-RPE/335).
- Novo, E.M.L.M. et al. **Relatório preliminar do projeto CNPq-INPE/CEPA-AM (área piloto - Terra Preta do Limão).** São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2245-RTR/004).
- Ogura, A.T. et al. Situações de risco a escorregamentos no Litoral Paulista: atendimentos emergenciais do plano preventivo de defesa civil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG, 1992, v.1, p. 125-126.
- Ohnuma, C.S.; Silva, F.L.M.; Magro, S.O. Riscos geológicos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Balneário de Camboriú, 1994. **Apostila de curso**. São Paulo, IG/SMA, 1994, 69p.

- Okida, R. et al. Identification of tectonics structures through TM-Landsat imagery: Natividade da Serra and Caraguatatuba sheets, SP. In: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring. ISPRS Comission VII, Rio de Janeiro, 1994. **Proceedings**. São José dos Campos., INPE, 1994, v.30, Part 7A, p. 447-450.
- Oliveira, S.M.O. et al. Feições indicativas de deformação progressiva analisadas em imagens do TM/LANDSAT na Região de Natividade da Serra, São Paulo, Brasil. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, 7., Puerto Vallarta, 1995. Puerto Vallarta, SELPER, 1995.
- Oliveira, W.J. de **Estudos dos aspectos geológicos da região sudeste do Estado de Rondônia através do emprego de uma nova abordagem metodológica usando dados de satélite**. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, INPE, 1989. (INPE-5002-TDL/396).
- Pinto, S.A.F. Novo, E.M.L.M.; Niero, M.; Rosa, R. **Utilização de dados multitemporais do Landsat para a identificação de setores da planície fluvial sujeita à inundação**. São José dos Campos, INPE, 1985. 25p. (INPE-3445-PRE/699).
- Pires Neto, A.G. **As abordagens sintético-analítica e analítico-dinâmica, uma proposição metodológica para a geomorfologia**. (Tese de Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, São Paulo, FFLCH/USP, 1991. 302p.
- Pires Neto, A.G.; Bistrichi, C.A.; Stein, D.P. Dois exemplos de condicionamentos estruturais de escorregamentos em maciços tropicais de vertentes atlânticas, Estado de São Paulo e Ceará. In: Simpósio de Geologia Regional, 1., São Paulo. 1977. **Programa de Resumos**. São Paulo, SBG, 1977, p. 59-73.
- Plicka, M. Observations on joint in Moravia Czechoslovakia. In: International Conference on the New Basement Tectonics, 1., Utah, 1974. **Proceedings**. Utah, Utah Geological Association, 1974, 5, p. 279-289.

- Ponçano, W.L. As coberturas cenozóicas. In: Almeida, F.F.M.A. et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa**. São Paulo, I.P.T., 1981. cap.5, p. 82-95. (Monografias 6; Publicação I.P.T. n. 1184).
- Ponçano, W.L.; Carneiro, C.D.R.; Almeida, F.F.M.; Prandini, F.L. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. IPT, São Paulo, 1981. 94p. (Monografias 5; Publicação IPT n. 1183).
- Ponçano, W.L. et al. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: **Simpósio de Geologia Regional, 1.**, São Paulo, 1977. **Atas**. São Paulo, SBG, 1977, p. 253-262.
- Prandini, L.F. et al. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1976. 22p. (Publicação IPT n. 1074).
- _____ **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana**. São Paulo, IPT, 1980. 31p. (Publicação IPT n. 1153).
- Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro e Vitória; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, DNPM, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- Ramsay, J.G.; Huber, M.I. **Techniques of modern structural geology: folds and fractures**. London, Academic Press, 1987. v.2, 700p.
- Richards, J.A. **Remote sensing digital imagem analysis: an introduction**. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 280p.
- Riedel, P.S. **Condicionantes estruturais na estabilidade de taludes: uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto**. (Tese de Doutorado em Geotecnia) - EESC, São Carlos, EESC/USP, USP, 1994. 236p.

- Riedel, W. Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. **Zentralblatt für Mineralogie und Paläontologie**, 1929, B, p. 345-368
- Rivereau, J.C. **Fotointerpretação: notas de aula dada na Universidade Federal de Ouro Preto na XI Semana de Estudos, Ouro Preto, 1972.**
- Rocio, M.A. **Caracterização da rede aquífera da região de Caçapava-Paraibuna com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, INPE, 1993 (inédito). 99p.
- Sadowski, G.R. A aplicação de sistemas geográficos de informações em mapeamentos geológico-geotécnicos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos.** São Paulo, SBG, 1992, v.2, p. 219.
- _____ **Sobre a geologia estrutural de cinturões de cisalhamento continentais.** (Tese de Livre Docência em Geologia Estrutural) - Instituto de Geociências, São Paulo, IG/USP, 1983. 108p.
- Sant'Anna Neto, J.L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista** (Tese de Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia. São Paulo, FFLCH/USP 1990. 156p.
- Santos, A.R. et al. Avaliação de dados de sensoriamento remoto no levantamento geológico da região compreendida entre São Bento do Sapucaí e Caraguatatuba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1., São José dos Campos, 1978. **Anais.** São José dos Campos., INPE, 1978, v.2, p. 549-566.
- São Paulo. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) **Postos pluviométricos da região de Caraguatatuba.** São Paulo, jul. 1995. Comunicação pessoal.
- São Paulo. Secretaria da Ciência e Tecnologia e Secretaria do Meio Ambiente (SCT/SMA) **Instabilidade da Serra do Mar no Estado de São Paulo.** Situações de risco. ações emergenciais. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1987/1988. v. 1, 36p.

São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **São Paulo 92: perfil ambiental e estratégias**. São Paulo, SMA, 1992. 181p.

Schowengerdt, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Orlando, FL, Academic, 1983. 249p.

Silva, A.T.S.F. et al. O Complexo Bairro do Marisco (Caraguatatuba, S.P.). In: **Simpósio de Geologia Regional, 1.**, São Paulo, 1977. **Atas**, São Paulo, SBG, 1977, p. 74-90.

Silva, W.S.; Fornasari Filho, N. **Unidades de conservação ambiental a área correlatas no Estado de São Paulo**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. 81p. (Publicação IPT n. 1780).

Soares, P.C.; Fiori, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**, 16(32):71-104, 1976.

Soares, P.C.; Luz, M.E.R.; Redaelli, R.; Guerra, S.M.S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2.**, Brasília, 1982. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1982a, v.3, p.157.168

Soares, P.C. et al. Lineamentos em imagens de LANDSAT e radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2.**, Brasília, 1982. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1982b, v. 3, p. 143-156. (INPE-8455-PRE/455)

Suguio, K.; Martin, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e fluminense. In: **Internacional Symposium on coastal evolution in the quaternary**, São Paulo, 1978. **Special publication**. São Paulo, IGCP/IG,USP/SBG, 1978, v.1. 52p.

_____ Geologia do quaternário. In: Falconi, F.F.; Negro Jr., A. **Solos do Litoral de São Paulo**. São Paulo, A.B.M.S., 1994. cap. 3, p. 69-97.

- Valente, C.R. **Utilização de produtos de sensores remotos para estudos tectônicos com ênfase na pesquisa geológica e prospecção mineral.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1991. 194p. (INPE-5398-TDI/478)
- Vedovello, R. **Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio-físico - aplicação em expansão urbana.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1993. 73p. Não publicado
- Veneziani, P. **Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (M.G.): uma correlação com processos evolutivos.** (Tese de Doutorado em Geologia Geral e de Aplicações) - Instituto de Geociências. São Paulo, IG/USP, 1987. 186p.
- Veneziani, P.; Anjos, C.E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.** São José dos Campos, INPE, 1982. 61p. (INPE-2227-MD/041).
- Veneziani, P.; Okida, R. Identificação de feições deformacionais compressoriais e distensivas na região do Litoral Norte do Estado de São Paulo, Brasil, com imagens TM-LANDSAT. In: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 7., Puerto Vallarta, 1995. Puerto Vallarta, SELPER, 1995.
- Veneziani, P. et al. Identificação de estruturas características da Faixa de Cisalhamento São Paulo em imagens TM-LANDSAT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos.** São Paulo, SBG, 1992, v.1, p. 162-163.
-
- Reconhecimento de figuras de interferência geradas pela superposição de dobras flexurais na Região do Vale do Paraíba do Sul (S.P.) com a utilização de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais.** São José dos Campos, INPE, 1993, v. 3, p. 368-375.

Wernick, E. O magmatismo granitóide das Regiões de Dobramento Nordeste e Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 9(2):122-139, 1979.

Wolle, C.M.; Carvalho, C.S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Solos e Rochas**,12: 27-36, 1989.

_____ Taludes naturais. In: Falconi, F.F.; Negro Jr. A. ed. **Solos do Litoral de São Paulo**. São Paulo, ABMS, 1994. cap. 8, p. 179-203.



762

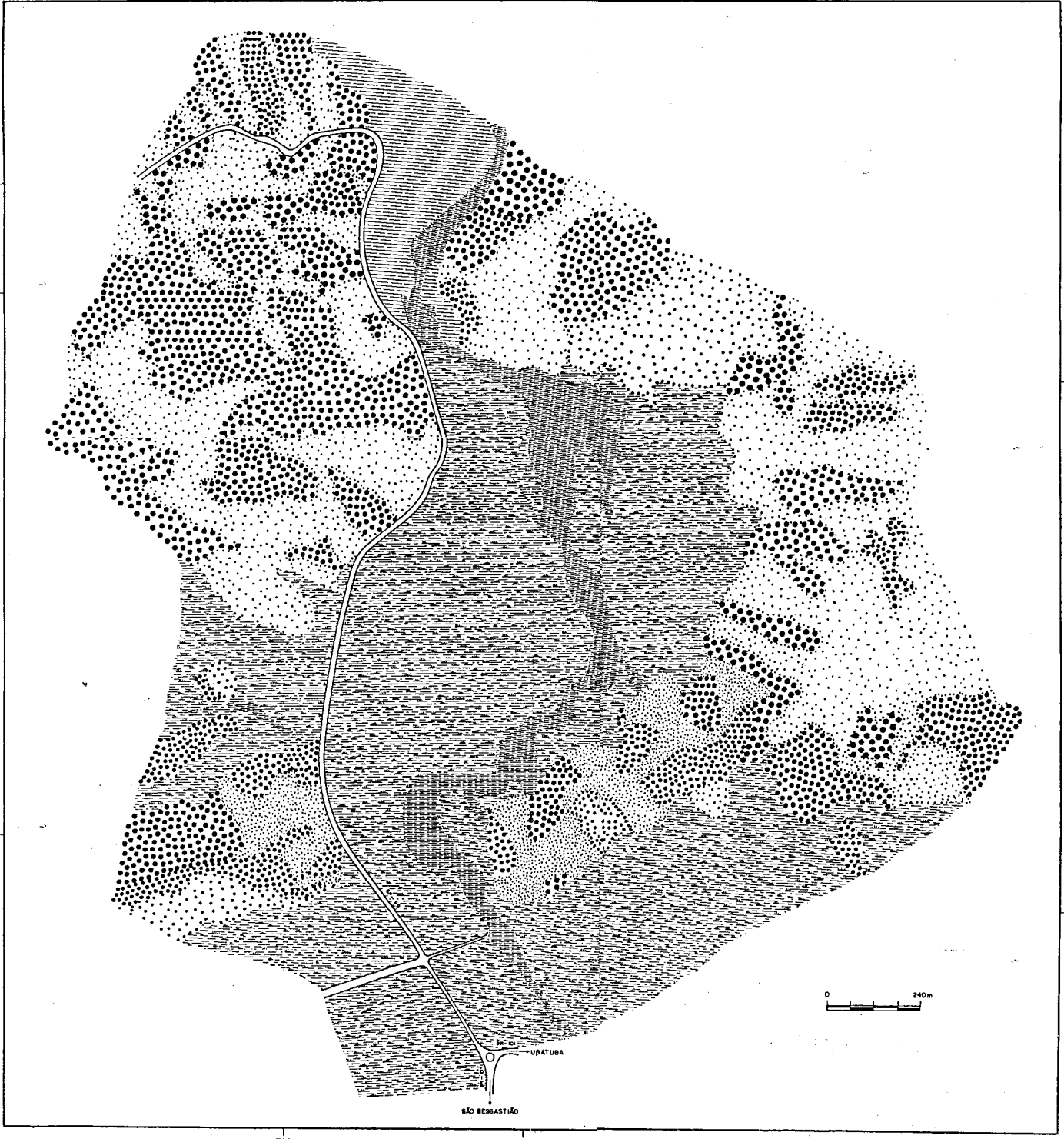
763

2388

2388

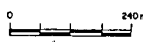
2386

2386



SÃO BERNARDINO

VRATUBA



762

763

ESCORREGAMENTO

- ALTO POTENCIAL / ALTO ATUAL
- ALTO MODERADO POT. / ALTO ATUAL
- MODERADO POTENCIAL / ALTO MODERADO ATUAL

- MODERADO BAIXO POTENCIAL / MODERADO ATUAL
- BAIXO POTENCIAL / MODERADO BAIXO ATUAL
- BAIXO POTENCIAL / BAIXO ATUAL

INUNDAÇÃO

- ALTO POTENCIAL / ALTO ATUAL
- ALTO MODERADO POT. / ALTO ATUAL
- MODERADO POTENCIAL / ALTO MODERADO ATUAL