



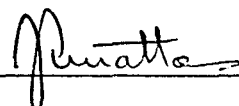
MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS FEIÇÕES MORFOLÓGICO-ESTRUTURAIS SENSORIAMENTO REMOTO LINEAMENTOS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY <i>Marco Antonio Raupp</i> Diretor Geral		
	AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR <i>Izabel Cristina Franchitto</i> Izabel Cristina Franchitto		REVISADA POR / REVISED BY <i>Liu Chan Chiang</i> Liu Chan Chiang		
CDU/UDC 528.711.7		DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION ☐ INTERNA / INTERNAL ☒ EXTERNA / EXTERNAL ☐ RESTRITA / RESTRICTED		DATA / DATE Dezembro, 1987	
TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-4458-TDL/316		ORIGEM ORIGIN PG/DPA		
	CONTRIBUIÇÃO À TECTÔNICA DA REGIÃO LESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO E ADJACÊNCIAS INTERPRETADA POR IMAGENS LANDSAT (TM E MSS) E SLAR		PROJETO PROJECT FRH/SER		
AUTORES/AUTHORSHIP Izabel Cristina Franchitto	Nº DE PAG. NO OF PAGES 146		ULTIMA PAG. LAST PAGE L.13		
	VERSÃO VERSION		Nº DE MAPAS NO OF MAPS 08		
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES Através do estudo de feições morfológico-estruturais de formas lineares (lineamentos) presentes em imagens orbitais dos sensores TM e MSS dos satélites da série LANDSAT e em imagens SLAR obtidas para o projeto Radambrasil, referente à região leste do Estado de São Paulo e adjacências, procura-se estabelecer as relações estruturais e a cronologia relativa entre os diversos sistemas de lineamentos existentes. São identificados sete sistemas de lineamentos. Os três sistemas mais antigos têm seus lineamentos distribuídos preferencialmente ao longo de faixas no terreno e representam zonas de cisalhamento proterozóicas ligados a um tectonismo transcorrente. Esses lineamentos são responsáveis pelas notáveis feições topográficas lineares da área, principalmente na direção E-NE. Os outros quatro sistemas identificados são mais novos e distribuem-se homogeneamente por toda a área. Estes são interpretados como ligados ao tectonismo meso-cenozóico e à abertura do Atlântico Sul, sendo associados ao modelo de cisalhamento de Riedel. No Meso-Cenozóico é verificada também a reativação de dois dos sistemas antigos de lineamentos.					
OBSERVAÇÕES/REMARKS Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em Outubro de 1987.					

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

Dr. Juércio Tavares de Mattos



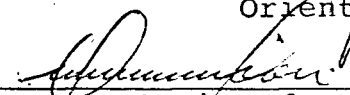
Presidente

Dr. Liu Chan Chiang



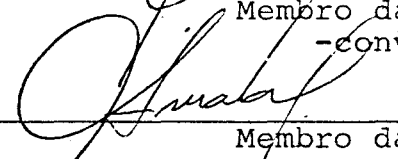
Orientador

Dr. Alberto Pio Fiori



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Gilberto Amaral



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Paulo Veneziani



Membro da Banca

Candidata: Isabel Cristina Franchitto Cacarelli

São José dos Campos, 28 de outubro de 1987

À José Carlos e Camila

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho; em particular ao Prof. Dr. Liu Chan Chiang pela orientação da pesquisa; ao Prof. Dr. Yocitery Hasui por sua colaboração e discussão acerca da tectônica regional; ao geólogo Edson Eygi Sano pela ajuda nos trabalhos de campo; a Jose Carlos Cecarelli pela leitura crítica e revisão do texto; e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fornecimento de meios à realização do trabalho.

ABSTRACT

Based on studying the linear morphostructural features (lineaments) exhibited in Landsat - TM and - MSS and SLAR images of the east region of São Paulo State and the neighboring terrains, structural relations and relative chronology of the diverse systems of lineaments can be deduced. There are seven systems of lineaments to be identified, and three of them, revealed by notable linear topographic features principally in E-NE direction and concentrated as belts, may represent as shear zones in relation to a wrench tectonism and may be older than other four systems which are distributed homogeneously in all study region. The younger four systems of lineaments may be in relation to the opening of the South Atlantic during the Mesozoic-Cenozoic tectonism, and the older three systems may also be reactivated in these events. Joints are interpreted to be associated with the Riedel shear model.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xv</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Objetivos	1
1.2 - Localização da área	1
1.3 - Material utilizado	2
<u>CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA</u>	5
2.1 - Princípios e conceitos geológicos básicos na aplicação de sensoramento remoto para mapeamento de estruturas geológicas ..	5
2.2 - Lineamentos: definição do termo e critérios de identificação.....	7
2.3 - Importância dos ângulos de elevação e azimuth solar na de terminação das feições reais no terreno	10
2.4 - Sequência operacional de trabalho.....	13
<u>CAPÍTULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</u>	21
3.1 - Descrição das unidades litológicas e estratigráficas.....	28
3.1.1 - Complexo Costeiro.....	28
3.1.2 - Complexo Paraíba do Sul.....	29
3.1.3 - Grupo Açungui	29
3.1.4 - Rochas granitóides	31
3.1.5 - Magmatismo ultrabásico à intermediário	32
3.1.6 - Magmatismo alcalino.....	33
3.1.7 - Sedimentos cenozóicos (Formações Caçapava, Tremembé e Resende).....	33
3.2 - Expressão geomorfológica.....	34
3.3 - Grandes estruturas	39
<u>CAPÍTULO 4 - LINEAMENTOS: EXPRESSÃO NA IMAGEM</u>	45
<u>CAPÍTULO 5 - CORRELAÇÃO ENTRE LINEAMENTOS E DADOS DE CAMPO</u>	57
<u>CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	67

	<u>Pág.</u>
6.1 - Introdução	67
6.2 - Geometria das zonas de ruptura	67
6.3 - Integração dos dados.....	75
<u>CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES</u>	85
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	89
APÊNDICE A - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS	
APÊNDICE B - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA B	
APÊNDICE C - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA C	
APÊNDICE D - MAPA DE FEIXES DE LINEAMENTOS DOS SISTEMAS A, B, C	
APÊNDICE E - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA D	
APÊNDICE F - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA E	
APÊNDICE G - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA F	
APÊNDICE H - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA G	
APÊNDICE I - DADOS ESTRUTURAIS DE CAMPO	
APÊNDICE J - MAPA DE PONTOS	
APÊNDICE L - REALCE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS ATRAVÉS DE TÉCNI- CAS DE FILTRAGENS DIGITAIS	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Localização da área	2
1.2 - Índice de recobrimento das imagens LANDSAT/TM e MSS e imagens SLAR	3
2.1 - Imagem TM/LANDSAT, passagem do dia 22/06/84, órbita 218/ponto 76, banda 4, elevação solar 30°, azimuth solar 42°.	11
2.2 - Imagem MSS/LANDSAT, passagem do dia 25/06/84, órbita 150/ponto 28, banda 7, elevação solar 22°, azimuth solar 49°..	12
2.3 - Imagem MSS/LANDSAT, passagem dia 31/01/78, órbita 150/ponto 28, banda 7, elevação solar 41°, azimuth solar 93°..	12
2.4 - Mosaico de imagem SLAR obtidas para o projeto Radambrasil com direção de iluminação E-W.....	13
2.5 - Diagrama de fluxo de trabalho.....	14
3.1 - Províncias estruturais do Brasil.....	21
3.2 - Evolução lito-estrutural do Pré-Siluriano.....	24
3.3 - Distribuição das unidades pré-cambrianas.....	25
3.4 - Possível evolução tectono-magmática da borda continental da bacia de Santos.....	27
3.5 - Distribuição dos corpos granitóides.....	31
3.6 - Unidades geomorfológicas	36
3.7 - Zonas de cisalhamento do sudeste brasileiro.....	39
3.8 - Principais falhas da região estudada.....	41
3.9 - Falhas de gravidade associadas à bacia de Taubaté.....	44
4.1 - Mapa de lineamentos estruturais fotointerpretados.....	45
4.2 - Mapa de feixes de lineamentos dos sistemas A, B, C.....	47
4.3 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema B.....	49
4.4 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema C	51
4.5 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema D	54
4.6 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema E	54
4.7 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema F.....	55
4.8 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema G	56
5.1 - Perfis percorridos no campo.....	59
5.2 - Diagrama de juntas. Perfil 1: São José dos Campos-Caragatatuba.....	60

	<u>Pág.</u>
5.3 - Diagrama de juntas. Perfil 2: Taubaté-Ubatuba	61
5.4 - Diagrama de juntas. Perfil 3: Aparecida-Parati.....	61
5.5 - Diagrama de juntas. Perfil 4: Barra Mansa-BR-101	62
5.6 - Diagrama de juntas. Perfil 5: Parati-Angra dos Reis	62
5.7 - Diagrama de juntas. Perfil 6: Taubaté-Paraisópolis.....	63
5.8 - Diagrama de juntas. Perfil 7: Lorena-Itajubá	63
5.9 - Diagrama de foliações	64
6.1 - Estilos de deformação dos níveis estruturais de Mattauer....	69
6.2 - Comparação entre estruturas de pico em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes.....	70
6.3 - Comparação entre estruturas de pós-picos em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes	71
6.4 - Comparação entre estruturas residuais em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes	72
6.5 - Modelo estrutural resultante de cisalhamento simples, no caso, produzido por esforços de direção E-W com cisalhamento destrai.....	73
6.6 - Tipos de falhas de rejeito produzindo subsidência de bacias em regime de extensão e elevação de blocos em regime de compressão.....	74
6.7 - Desenvolvimento de zona de falha transcorrente trançada	75
6.8 - Grandes estruturas obtidas através de geofísica no Estado de Minas Gerais	77
6.9 - Os sistemas de lineamentos D, E e F segundo o modelo de cisalhamento de Riedel	82
L.1 - Localização das áreas teste processadas nas escalas 1) 1:100.000, 2) 1:50.000 e 3) 1:25.000	L.3
L.2 - Máscara 3x3 utilizada na filtragem passa-baixa	L.5
L.3 - Composição colorida com bandas 3, 4 e 5 do TM (azul, verde e vermelho, respectivamente) obtida em escala 1:50.000.....	L.8
L.4 - Lineamentos estruturais extraídos a partir da Fig. L.3	L.8
L.5 - Primeira componente principal da área teste 2, com escala 1:50.000	L.9
L.6 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção NE	L.10
L.7 - Classificação dos lineamentos tonais na direção NE	L.10
L.8 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção NW.....	L.11
L.9 - Classificação de lineamentos tonais na direção NW.....	L.11

Pág.

L.10 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção E-W ...	L.12
L.11 - Classificação dos lineamentos tonais na direção E-W	L.12

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Unidades litológicas e litoestratigráficas do setor central da Província Mantiqueira	25
3.2 - Unidades geomorfológicas	36
4.1 - Direções dos sistemas de lineamentos fotointerpretados	46
5.1 - Sistemas de juntas obtidos através de dados de campo e <u>foto</u> interpretação	64

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região leste do Estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro, apresenta um quadro tectônico-estrutural bastante complicado, embora muitos estudos venham-se desenvolvendo na área nos últimos anos.

Constituída por rochas pré-cambrianas em sua grande maioria, a região ostenta feições estruturais típicas de zonas de cisalhamento, cujas expressões topográficas ocorrem sob formas lineares muito visíveis em imagens obtidas por sensoriamento remoto.

Este aspecto, aliado à visão regional que essas imagens oferecem, permite realizar uma avaliação acerca de suas relações estruturais baseada em análises fotointerpretativas.

1.1 - OBJETIVOS

Este trabalho propõe-se a oferecer uma contribuição ao conhecimento tectônico-estrutural do leste paulista e adjacências, mediante a utilização de métodos fotointerpretativos aplicados a imagens orbitais dos sensores "Thematic Mapper" (TM) e "Multispectral Scanner System" (MSS) do sistema LANDSAT, e de imagens SLAR obtidas para o projeto RADAMBRASIL.

A dissertação apoia-se ainda no estudo da morfologia, que através de sensoriamento remoto, pode ser utilizada na obtenção de informações sobre a tectônica regional.

1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada abrange a porção leste do Estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e sul do Rio de Janeiro. Corresponde à região contida na imagem TM, órbita 218/ponto 76, na passagem do dia 22/06/84, apresentada na Figura 1.1.

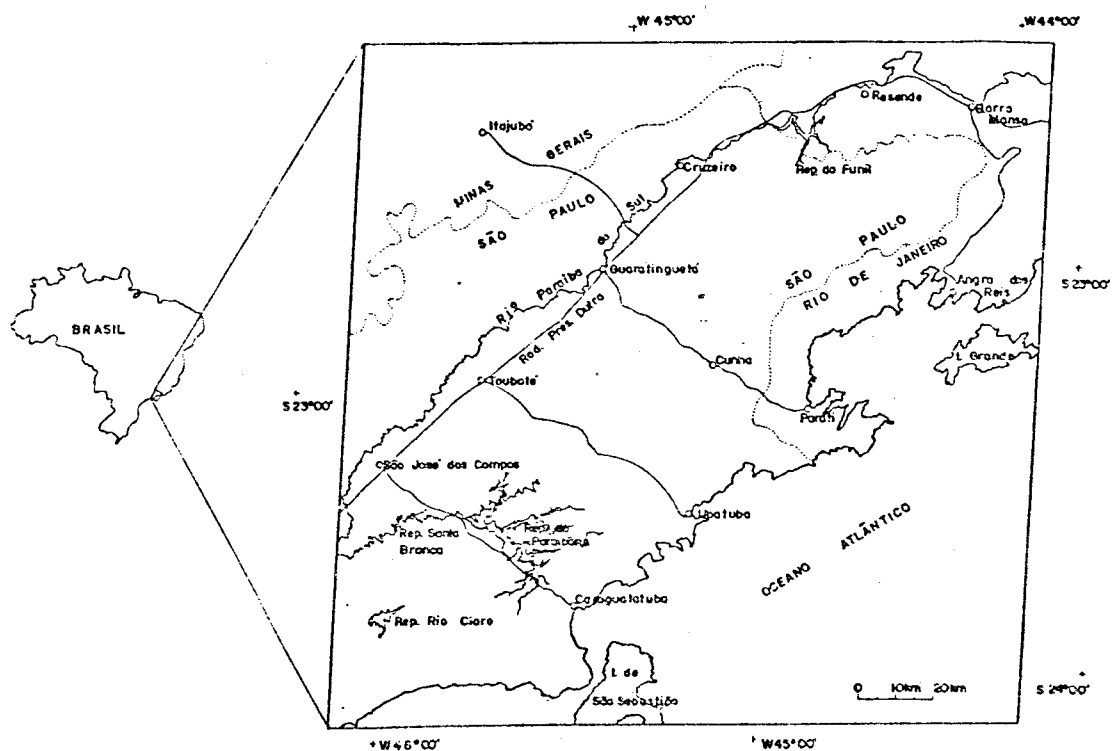


Fig. 1.1 - Localização da área.

1.3 - MATERIAL UTILIZADO

Foram utilizadas nesta pesquisa as seguintes imagens:

A - Imagens TM-LANDSAT INPE84174-122635.4 em papel fotográfico positivo referente à órbita 218, ponto 76, de 22 de junho de 1984, nas escalas:

1:1.000.000 - bandas 3, 4, 5, 7

1:500.000 - banda 4

1:250.000 - banda 4

B - Imagens MSS-LANDSAT em papel fotográfico positivo referente à órbita 150, ponto 28, de 25 de junho de 1976 (INPE-76177

-114204) e de 31 de janeiro de 1978 (INPE-78031-114657), nas escalas:

1:1.000.000 - 25 jun. 1976 - bandas 4, 5, 6, 7
- 31 jan. 1978 - bandas 4, 5, 6, 7

1:500.000 - 25 jun. 1976 - banda 7

1:250.000 - 25 jun. 1976 - banda 7
31 jan. 1978 - banda 7

C - Mosaicos SLAR na escala 1:250.000 com direção de iluminação E-W, compostos de "strips" obtidos em 1975/1976 com o radar GEMS-1000, tipo abertura sintética e visada lateral, banda X, para o Projeto RADAMBRASIL:

Folha SF-23-Y-B

Folha SF-23-Y-D

Folha SF-23-Z-A

Folha SF-23-Z-C

O recobrimento entre as diversas imagens é apresentado na Figura 1.2.

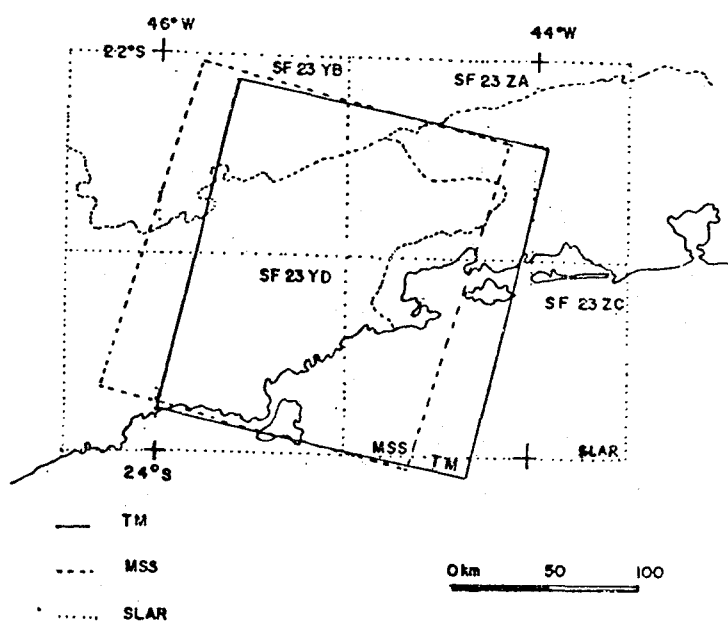


Fig. 1.2 - Índice de recobrimento das imagens LANDSAT (TM e MSS) e imagens SLAR.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

2.1 - PRINCÍPIOS E CONCEITOS GEOLÓGICOS BÁSICOS NA APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS

A chave principal para a aplicação de sensoriamento remoto em estudos estruturais é a aquisição dos dados em uma escala compatível com o tipo de feições que devem ser analisadas (Liu, 1984).

A configuração das grandes estruturas e seus enquadramentos regionais são convencionalmente estudados através da compilação de mapas geológicos em grandes escalas, havendo o perigo de informações ou detalhes topográficos serem transferidos sem a devida segurança durante o processo de compilação.

As técnicas de sensoriamento remoto orbital possibilitam a visão de grandes áreas, sendo particularmente valiosas para a geologia estrutural, na medida em que as formas de relevo, os padrões de formação estrutural e as redes de drenagem são comumente expressos em dezenas a centenas de quilômetros, que são geralmente os intervalos recobertos por uma imagem espacial (Liu, 1984).

Um dos princípios básicos para o estudo de padrões de formação e consequentes formas de relevo é o princípio morfotectônico.

Segundo o glossário geológico da AGI (Gary et alii, 1977), a morfologia é definida como uma feição topográfica que reflete a expressão de uma estrutura geológica.

A morfotectônica é definida como a interpretação de uma estrutura tectônica das feições morfológicas ou topográficas da superfície terrestre (Gary et alii, 1977).

Assim sendo, a morfotectônica pode ser entendida como o estudo das formas de relevo de significância regional ou tectônica, e como tal, é a base para a interpretação de estruturas geológicas em imagens de sensoriamento remoto (Loczy e Ladeira, 1976).

Outro importante conceito no estudo de estruturas através de sensoriamento remoto é o de descontinuidade estrutural.

Entende-se por descontinuidade primária em rochas sedimentares, os contatos geológicos entre as formações, as superfícies de acumamento e as incorformidades e, como descontinuidades secundárias, as feições estruturais impostas, tais como falhas, fraturas, juntas, clivagem e foliação, que tiveram um papel ativo durante a deformação (Loczy e Ladeira, 1976).

Comumente, nessas descontinuidades, as rochas se intemperizam mais rapidamente e são caracterizadas por um alinhamento negativo das feições topográficas, como segmentos de vales retilíneos, quebras negativas, gargantas, etc; ou ainda, quando preenchidas, podem ser expressas por cristas resistentes (Loczy e Ladeira, 1976).

Um outro conceito, o de estruturas superimpostas, está diretamente ligado a ocorrência de sucessivos eventos ou fases tectônicas que imprimem novas formas às estruturas pré-existentes e produzem interferências nos padrões estruturais, como é aparente em muitas faixas de dobramentos e na maioria dos embasamentos pré-cambrianos conhecidos (Ramsay, 1967). Este conceito é a principal base para se datar as estruturas relativamente umas às outras em rochas de deformações múltiplas (Loczy e Ladeira, 1976).

O acúmulo de pesquisas denota que os eventos ou fases tectônicas principais geram morfoestruturas dominantes, de modo que o conceito de estruturas superimpostas é fundamental nas determinações das diversas fases de deformação.

2.2 - LINEAMENTOS: DEFINIÇÃO DO TERMO E CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO

O arranjo retilíneo de estruturas em relação às feições topográficas tem sido observado e estudado há muito, principalmente depois do desenvolvimento e difusão de técnicas de sensoriamento remoto (Liu, 1984).

Não obstante, uma série de termos passaram a ser utilizados em trabalhos geológicos, cujas definições variam para diferentes autores. Esses termos, com os respectivos significados adotados no presente trabalho, são expostos a seguir.

O termo lineamento é utilizado aqui com o significado da do originalmente por Hobbs (1904), com as modificações introduzidas por O'Leary et alii (1976):

- "uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões de feições que lhe são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno da subsuperfície".

Sabins (1978), com base no trabalho de O'Leary et alii (1976), discutiu e redefiniu o termo lineamento: "compõe-se pelas feições lineares da superfície terrestre, podendo ser geomórficos (causados pelo relevo) ou tonais (causados por contrastes tonais). As feições no terreno podem ser formas de relevo, limites lineares entre diferentes tipos de terrenos ou quebras dentro de uma unidade uniforme. Cursos d'água retilíneos e segmentos alinhados de vales são expressões geomórficas características dos lineamentos. Um lineamento tonal pode ser o limite reto entre áreas de tons contrastantes ou mesmo uma faixa realçada sobre fundo uniforme. Diferenças na vegetação, teor de umidade ou composição dos solos ou rochas, podem conduzir a acentuados contrastes tonais".

Também os termos linear, lineação e alinhamento são geralmente utilizados na fotointerpretação com significados não bastante claros.

O termo alinhamento é com frequência erroneamente empregado como sinônimo de lineamento. Tal termo deve exprimir apenas uma conotação descritiva e genérica, como o arranjo alinhado retilíneo ou arqueado de formas na imagem (Soares et alii, 1982).

O termo linear por sua vez, foi definido por Sabin (1978) como "um adjetivo que descreve a natureza retilínea das feições no terreno ou nas imagens e mapas"

O termo lineação foi definido por O'Leary et alii (1976) como um alinhamento estrutural de uma só dimensão dos componentes internos de uma rocha e que não pode ser marcado em um mapa como uma feição individual.

Esclarecidos os significados dos termos ora empregados, passa-se a exposição dos critérios utilizados para o traçado e classificação de lineamentos.

De maneira geral, foram utilizados aqui os princípios, critérios e técnicas de fotointerpretação estabelecidos por Soares e Fiori (1976), que enfocam a expressão topográfica do relevo como consequência de fatores morfogênicos, morfológicos e deformacionais, que por sua vez controlam a textura e a estrutura da imagem.

Foram utilizados também os critérios estabelecidos por Veneziani e Anjos (1980) que visam especificamente a interpretação de imagens de sensores orbitais.

Para o reconhecimento e traçado de lineamentos, foram utilizados os critérios de Liu (1984), que envolvem as expressões dos elementos topográficos retilíneos do relevo, tais como: linhas ou seg

mentos de escarpas; alinhamentos de cristas, vales e trechos de rios; lagos ou linhas de costa alongados; depressões alongadas (dolinas). Segundo esses critérios, lineamentos são também identificados através de feições lineares que separam terrenos com diferentes texturas. Todos esses elementos acima relacionados são, segundo Liu (1984), quase sempre controlados estruturalmente.

Ainda segundo Liu (1984), os comprimentos dos lineamentos devem ser sempre objetivamente determinados. Deste modo, uma sequência de feições lineares com a mesma direção, mas não claramente contínua, deve ser representada como uma sequência de lineamentos cujos comprimentos sejam compatíveis com os comprimentos de cada feição que representam. Assim, a dedução sobre seu significado geológico na etapa seguinte da interpretação será mais correta e confiável.

O critério adotado para a classificação de lineamentos é aquele proposto por Liu (1984), que baseia-se no seu "trend" ou direção, uma vez que a direção não sofre mudanças com a variação da escala ou do observador, sendo um índice bastante objetivo.

Como existem algumas deficiências na classificação baseada apenas no trend dos lineamentos, principalmente no tocante a lineamentos curvos, Liu (1984) considera ainda outros seis fatores adicionais:

- a) padrões de distribuição (frequência);
- b) comprimentos relativos;
- c) relações mútuas de intersecção;
- d) grau de expressão;
- e) espaçamento entre lineamentos paralelos ou subparalelos;
- f) tendência ao agrupamento.

Com base nestes conceitos chama-se sistema de lineamentos a cada grupo com características similares de direção, padrões de distribuição, comprimentos relativos, etc.

2.3 - IMPORTÂNCIA DOS ÂNGULOS DE ELEVAÇÃO E AZIMUTE SOLAR NA DETERMINAÇÃO DAS FEIÇÕES DO TERRENO

As diferentes passagens do LANDSAT sobre uma mesma região são realizadas com o sol ocupando diferentes posições relativas ao alvo durante o ano.

Deste modo, ocorrem variações de iluminação da cena de uma imagem para outra, havendo necessidade de se levar em conta no estudo de estruturas geológicas, o efeito da variação dos ângulos de elevação e azimute solar sobre a discriminação das feições do relevo. Deve-se pois, considerar em que condições de iluminação a topografia aparente na imagem representa uma melhor aproximação da topografia real.

Se as diferenças de contrastes entre as imagens obtidas nas diversas passagens forem abstraídas, ainda restarão diferenças visíveis entre as cenas que não podem ser atribuídas apenas às variações na transmitância atmosférica, na irradiância solar, nas condições intrínsecas do alvo e no processamento fotográfico; tais diferenças resultam da variação do ângulo de incidência solar de uma data para outra (Novo, 1982).

O ângulo de iluminação solar ideal é função do relevo. Para a análise de formas de relevo em terrenos de topografia suave a moderada, a elevação solar ideal é em torno de 25° (Liu, 1984). Em regiões montanhosas, as formas de relevo são melhor analisadas com dados adquiridos sob maiores ângulos de elevação solar, a fim de reduzir o efeito de sombreamento que impede a detecção de detalhes da topografia (Liu, 1984).

A relação entre a direção de iluminação (dada pelo azimute solar) e as direções preferenciais das feições morfológicas no terreno é também muito importante. Estudos experimentais realizados por MacDonald et alii (1969) com imagens de radar, mostraram que a detectabilidade de uma feição aumenta à medida que o rumo de visada tende a tornar-se perpendicular à ela e vice-versa.

Essas relações também ocorrem em imagens LANDSAT. Novo (1982) demonstrou que os azimutes perpendiculares à direção de maior variação de atitudes topográficas nessas imagens são os mais favoráveis para discriminação das unidades de relevo que se diferenciam quanto à altitude, bem como Liu (1984) também o fez com relação à discriminação de lineamentos.

Com base nestes conceitos, foram utilizadas neste trabalho imagens multitemporais e ainda imagens de sensores diversos para evidenciar diferentes aspectos da superfície. Tais imagens e seus respectivos ângulos de elevação e azimuth solar são representados nas Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.



Fig. 2.1 - Imagem TM/LANDSAT, passagem dia 22/06/84, órbita 218/ponto 76, banda 4, elevação solar 30° , azimuth solar 42° .



Fig. 2.2 - Imagem MSS/LANDSAT, passagem dia 25/06/76, órbita 150/ponto 28, banda 7, elevação solar 22° , azimuth solar 49° .



Fig. 2.3 - Imagem MSS/LANDSAT, passagem dia 31/01/78, órbita 150/ponto 28, banda 7, elevação solar 41° , azimuth solar 93° .

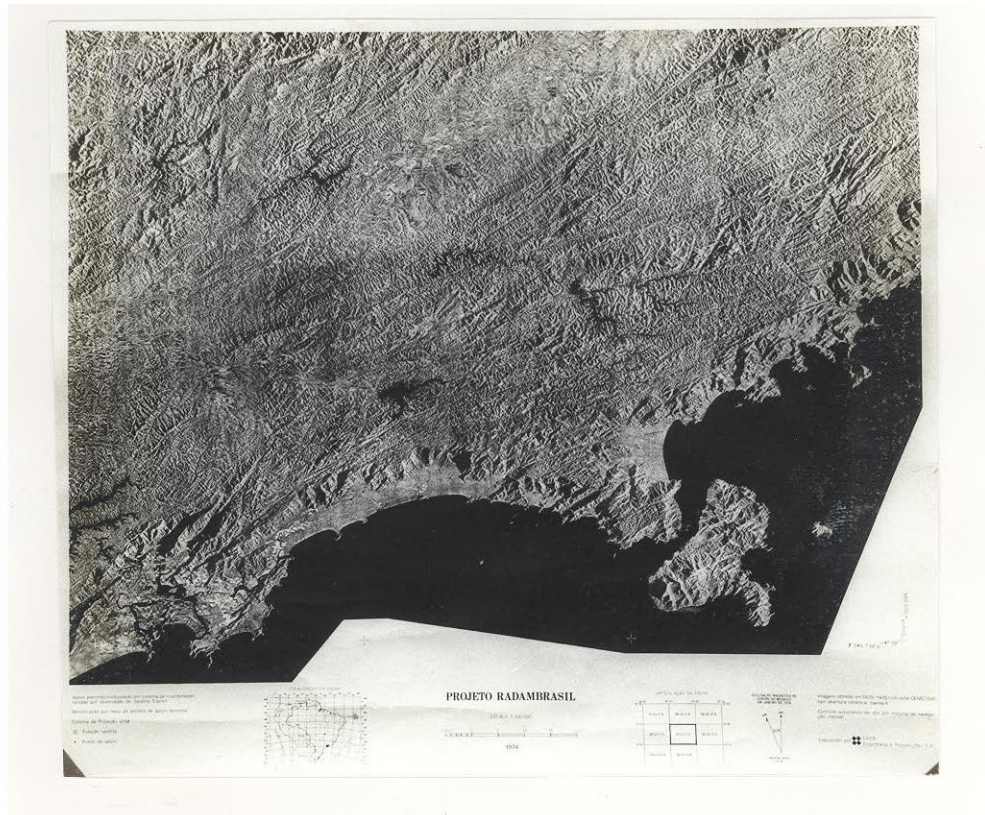


Fig. 2.4 - Mosaico de imagens SLAR obtidas para o Projeto RADAMBRASIL com direção de iluminação E-W.

As imagens SLAR obtidas por meio de sensores ativos com iluminação própria, não apresentam a mesma dependência da iluminação solar que as imagens LANDSAT, porém suas possibilidades na detecção de feições topográficas estão diretamente ligadas à direção de iluminação do sistema imageador.

2.4 - SEQUÊNCIA OPERACIONAL DO TRABALHO

A sequência operacional do trabalho é apresentada em diagrama na Figura 2.5, e as etapas são descritas a seguir.

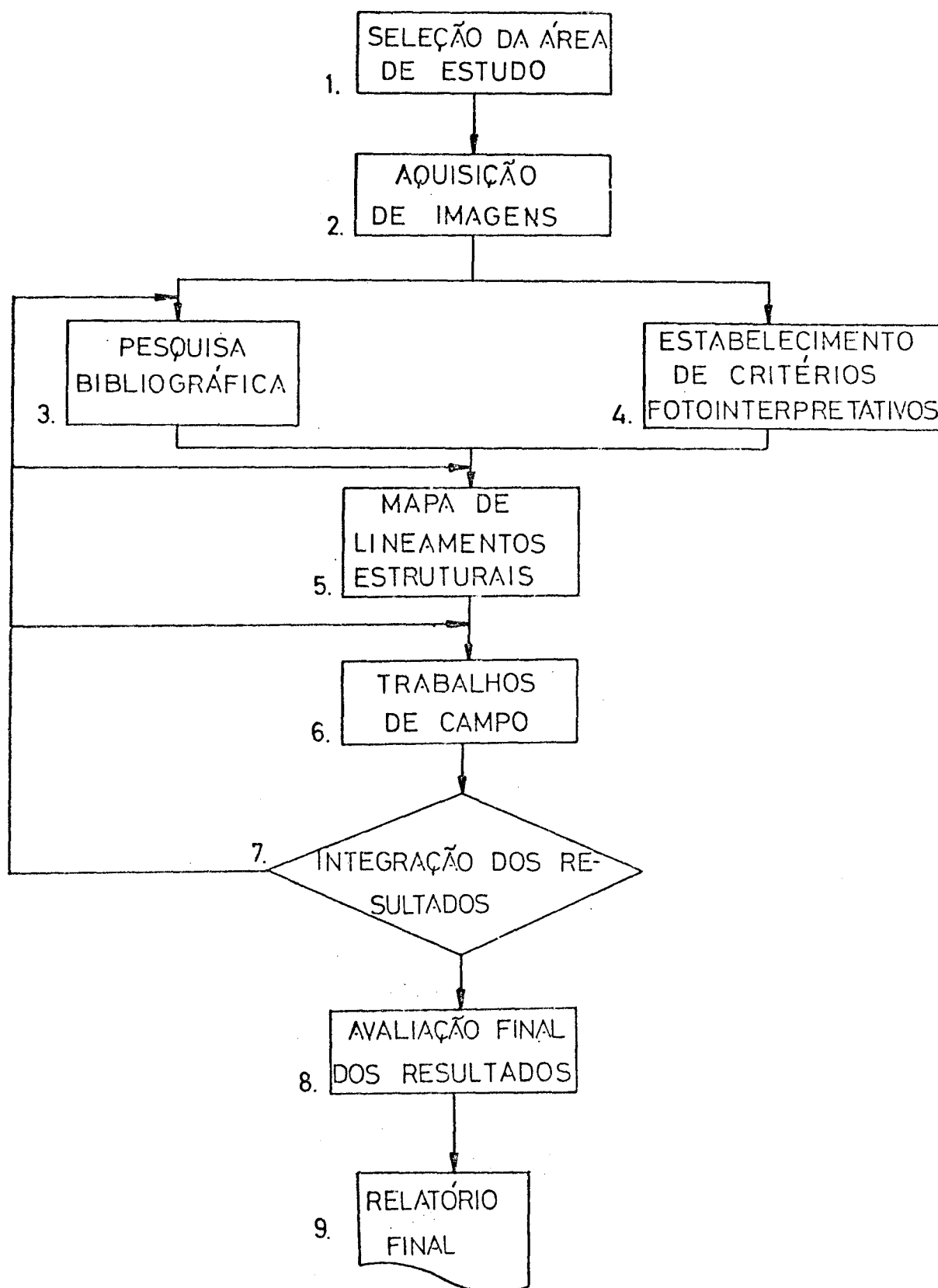


Fig. 2.5 - Diagrama de fluxo de trabalho.

Com o desenvolvimento desta pesquisa, verificou-se a existência de duas possibilidades para a análise de lineamentos estruturais em imagens orbitais: a interpretação visual, já consagrada pelo corrente uso, e a interpretação utilizando-se técnicas de realce por processamento digital, esta ainda em estágio inicial de desenvolvimento nas pesquisas realizadas no Brasil.

Foram efetuados de forma experimental, vários processamentos digitais sobre a imagem TM da área, gerando uma série de resultados preliminares. Trata-se de um método alternativo que procura auxiliar e dinamizar a interpretação visual.

Assim sendo, tem-se registrados aqui, dois caminhos seguidos para a interpretação de lineamentos estruturais através de sensoriamento remoto. A interpretação visual, objeto primeiro deste trabalho, que é descrita a seguir e a interpretação utilizando-se de técnicas de processamento digital como forma alternativa, que é descrita no Apêndice L deste volume.

1) Seleção da área de estudo

A área foi selecionada considerando-se dois aspectos básicos:

- ser constituída predominantemente por rochas pré-cambrianas exibindo intrincados sistemas de lineamentos que, apesar de muito estudados, não têm ainda o seu quadro tectônico-estrutural perfeitamente estabelecido.
- ser em parte já conhecida pela autora, devido a sua participação em trabalhos anteriores de mapeamento na região.

2) Aquisição de imagens

Foram utilizadas basicamente dois tipos de produtos de sensoriamento remoto: imagens orbitais do satélite LANDSAT

(Multispectral Scanner System e Thematic Mapper) e imagens de radar com visada lateral (imagens SLAR obtidas para o Projeto RADAMBRASIL).

Os intervalos espectrais utilizados das imagens LANDSAT foram os da banda 4 do TM e banda 7 do MSS. De maneira auxiliar utilizou-se também as bandas 5, 6 e 7 do TM e bandas 3, 5 e 7 do MSS, nas escalas 1:1.000.000.

Tomou-se ainda o cuidado de utilizar-se imagens multitemporais com ângulos de elevação e azimute solar variados, de modo a se conseguir uma melhor caracterização do relevo através de diferentes ângulos de iluminação.

3) Pesquisa bibliográfica

A aquisição do material bibliográfico foi realizada de forma sistemática durante todo o decorrer do trabalho, procurando-se manter atualizada a bibliografia quanto a trabalhos geológicos referentes à área e a conceitos e técnicas empregados em trabalhos semelhantes.

A pesquisa bibliográfica foi direcionada a estudos geológicos na área, tanto de síntese como específicos; a critérios e métodos de fotointerpretação de áreas metamórficas; a implicações geológicas no modelado do relevo; a elementos tectônicos na identificação de lineamentos estruturais; e a modelos tectônicos desenvolvidos em faixas de dobramentos.

4) Estabelecimento de critérios fotointerpretativos

As informações geológicas que podem ser obtidas a partir das imagens aqui utilizadas dependem de fatores intrínsecos aos produtos dos diversos sistemas de sensoriamento remoto (como por exemplo, resolução, banda espectral, escala) e de fatores que envolvem a interpretação fotogeológica.

Detalhes sobre os fatores intrínsecos aos produtos de sensores remotos são encontrados nos manuais de sensoriamento remoto e de fotointerpretação da American Society of Photogrammetry (Conwell, 1983) e em Slater (1980).

Os fatores que envolvem a interpretação fotogeológica constituem-se de conceitos e critérios que sistematizam as evidências geológicas nas imagens, sejam diretas ou indiretas. Para tanto, foram utilizados os critérios e conceitos estabelecidos por Soares e Fiori (1976), Veneziani e Anjos (1980) e Liu (1984).

5) Mapa de lineamentos estruturais

Esta etapa do trabalho iniciou-se com a interpretação das imagens TM na escala 1:1.000.000, seguindo-se sua interpretação na escala 1:500.000. Com o aumento gradativo da escala conseguiu-se uma visão regional, melhorada sucessivamente pelos detalhes oferecidos pelas escalas maiores.

A interpretação básica foi realizada sobre uma imagem TM, banda 4, em escala 1:250.000. A banda 4 oferece maiores detalhes sobre a topografia, embora também tenha-se utilizado de forma auxiliar, imagens de outras bandas deste sensor.

Os lineamentos encontrados foram traçados sobre a imagem com um lápis dermatográfico e examinados sucessivamente sob luz transmitida colocando-se a imagem sobre uma mesa de luz.

Posteriormente os lineamentos assim cartografados foram transferidos para um papel plástico estável.

Foram interpretadas também duas imagens MSS com ângulos azimutais e de elevação solar diferentes, e ainda imagens SLAR com direção de visada E-W, todos em escala 1:250.000.

Esses dados foram sobrepostos ao mapa de lineamentos feito com base na imagem TM de maneira a completá-lo, configurando-se então, um mapa de lineamentos estruturais.

Sobre o mapa de lineamentos estruturais foi efetuada a classificação dos lineamentos segundo o "trend" ou direção, de acordo com os critérios de Liu (1984).

Com a ajuda de um papel milimetrado transparente sobreposto ao mapa de lineamentos que permite fixar-se uma direção desejada, cada grupo de mesma direção foi transcrito para um segundo papel estável e a cada um foi atribuída uma cor diferente para facilitar sua transcrição e identificação. Obteve-se aqui um segundo mapa com os lineamentos classificados em diversos sistemas. Cada sistema classificado admitiu uma variação de $\pm 5^\circ$ em sua direção. Para melhor visualização, cada um dos vários sistemas foi ainda transferido para um papel estável distinto.

Os lineamentos agrupados segundo feixes, foram por sua vez transferidos para um papel estável diverso.

De posse destes mapas foram feitas as interpretações estruturais preliminares.

6) Trabalhos de campo

As observações de campo basearam-se em perfis efetuados ao longo de estradas, concentrando-se nas zonas marcadas nas imagens por fortes lineamentos ou cruzamentos de vários sistemas de lineamentos.

Nos trabalhos de campo foram tomadas medidas estruturais de planos de falhas, juntas, foliação metamórfica e lineações minerais. Foram descritas as litologias predominantes e observados os aspectos morfológicos e suas correspondentes feições nas imagens.

As medidas estruturais de campo estão registradas no Apêndice I e o mapa de pontos no Apêndice J deste trabalho.

7) Integração dos resultados

A integração dos dados de interpretação das imagens, dos bibliográficos e dados de campo foi feita visando sua análise global. A melhoria dos resultados se deu com a retomada da pesquisa bibliográfica, principalmente no tocante a modelos tectônicos aplicáveis à área, e também com a reinterpretação das imagens.

8) Avaliação final dos resultados

De posse dos resultados integrados definiu-se a cronologia relativa dos sistemas de lineamentos estruturais existentes.

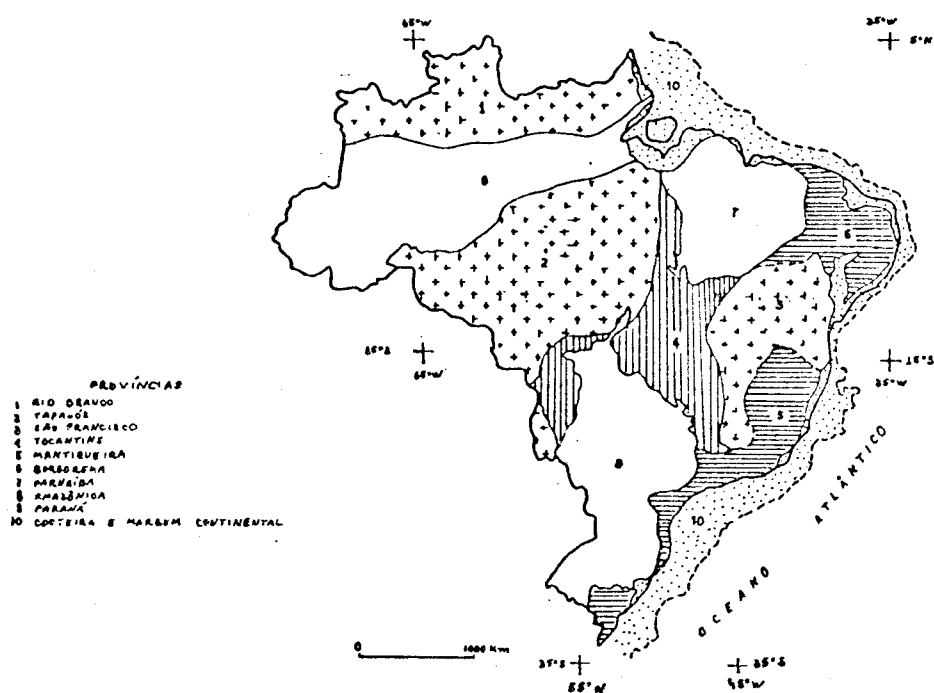
9) Relatório final

Elaborou-se o presente relatório que visa oferecer uma contribuição à tectônica da região e demonstrar como a morfologia, estudada através de imagens de sensores remotos, pode ajudar na elucidação de estruturas e tectônica de amplas áreas.

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região estudada faz parte da província estrutural Mantiqueira, definida por Almeida et alii (1977), conforme Figura 3.1, localizando-se aproximadamente em seu setor central.



Fíg. 3.1 - Províncias estruturais do Brasil.

FONTE: Almeida et alii (1977), p. 364.

A região vem sendo estudada há muito, porém é a partir da década de 70 que muitos mapeamentos sistemáticos e estudos de síntese são feitos. Um bom levantamento dos trabalhos até agora realizados na região, pode ser encontrado em Hasui e Oliveira (1984).

Com a evolução dos conhecimentos sobre esta área de rochas essencialmente arqueanas e proterozóicas, passou-se a enfocá-la em termos de sua compartimentação geotectônica, com um maior aporte de dados relativos ao Proterozóico Superior, diminuindo a medida em que se recua no tempo.

Relativamente ao Proterozóico Superior, de início caracterizou-se a região como domínio de atuação do Ciclo Brasileiro a sul e sudeste do cráton de São Francisco (Almeida, 1967), recebendo o nome de Cinturão Paraíba do Sul. Depois esse nome passou a designar uma unidade geotectônica transamazônica e se propôs o nome de Cinturão Ribeira para a unidade brasileira sobreposta àquela (Almeida et alii, 1973). Logo a seguir, verificou-se que as unidades dobradas e metamorfizadas do Proterozóico Superior configuravam faixas de dobramentos separadas por porções de rochas mais antigas, propondo-se chamar de Faixa de Dobramentos Apiaí àquela representada pelos domínios do Grupo Açungui (Hasui et alii, 1975).

A todo o conjunto de faixas, maciços e zonas retrabalhadas relativos ao Proterozóico Superior, Almeida (1976) denominou Região de Dobramentos Sudeste.

Pertinentes ao Proterozóico Inferior ocorrem as rochas supracrustais reunidas no Complexo Paraíba do Sul, situadas no Cinturão Paraíba do Sul ou Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul (Almeida et alii, 1973).

Relativos ao Proterozóico Inferior e Arqueano, Almeida et alii (1980) definiram com base em dados geológico-estruturais e geofísicos (Haralyi, 1978) os Cinturões Móveis Costeiro e Alfenas, contornando o Cráton do Paramirim, com evidências de grandes deslocamentos e incidência de processos termotectônicos de ciclos diversos. No Cinturão Móvel Costeiro, dentro dos domínios da área estudada, ocorrem as rochas reunidas sob o nome de Complexo Costeiro, de idade arqueana (Hasui et alii, 1984).

Segundo Hasui et alii (1984) esses cinturões móveis retrabalharam a crosta siânica arqueana, acolheram supracrustais e foram sítios de processos termotectônicos proterozóicos. Seus limites variaram no tempo de modo que as unidades geotectônicas acima citadas são em suma, unidades dos cinturões móveis relativas aos tempos do Proterozóico Superior e Inferior, num esquema de evolução ensiânica (Figura 3.2).

Estudos mais recentes ainda em andamento (Hasui, comunicção verbal) têm identificado na região uma foliação metamórfica, com direção N-S, gerada por eventos tectônicos arqueanos (Haralyi, 1978; Haralyi et alii, 1985), presente nas rochas do Complexo Costeiro, do Complexo Paraíba do Sul e do Grupo Açungui. Assim sendo, todas essas unidades estratigráficas passariam a ser datadas como arqueanas, gerando a necesidade de se rever toda a conceituação geológica a respeito das rochas geradas durante o Proterozóico.

De uma forma ou de outra, o nível atual de conhecimentos permite apenas discriminar grandes unidades litoestratigráficas ou litológicas e estruturais para o Proterozóico e Arqueano. Essas unidades podem ser visualizadas de maneira geral na Figura 3.3 e Tabela 3.1.

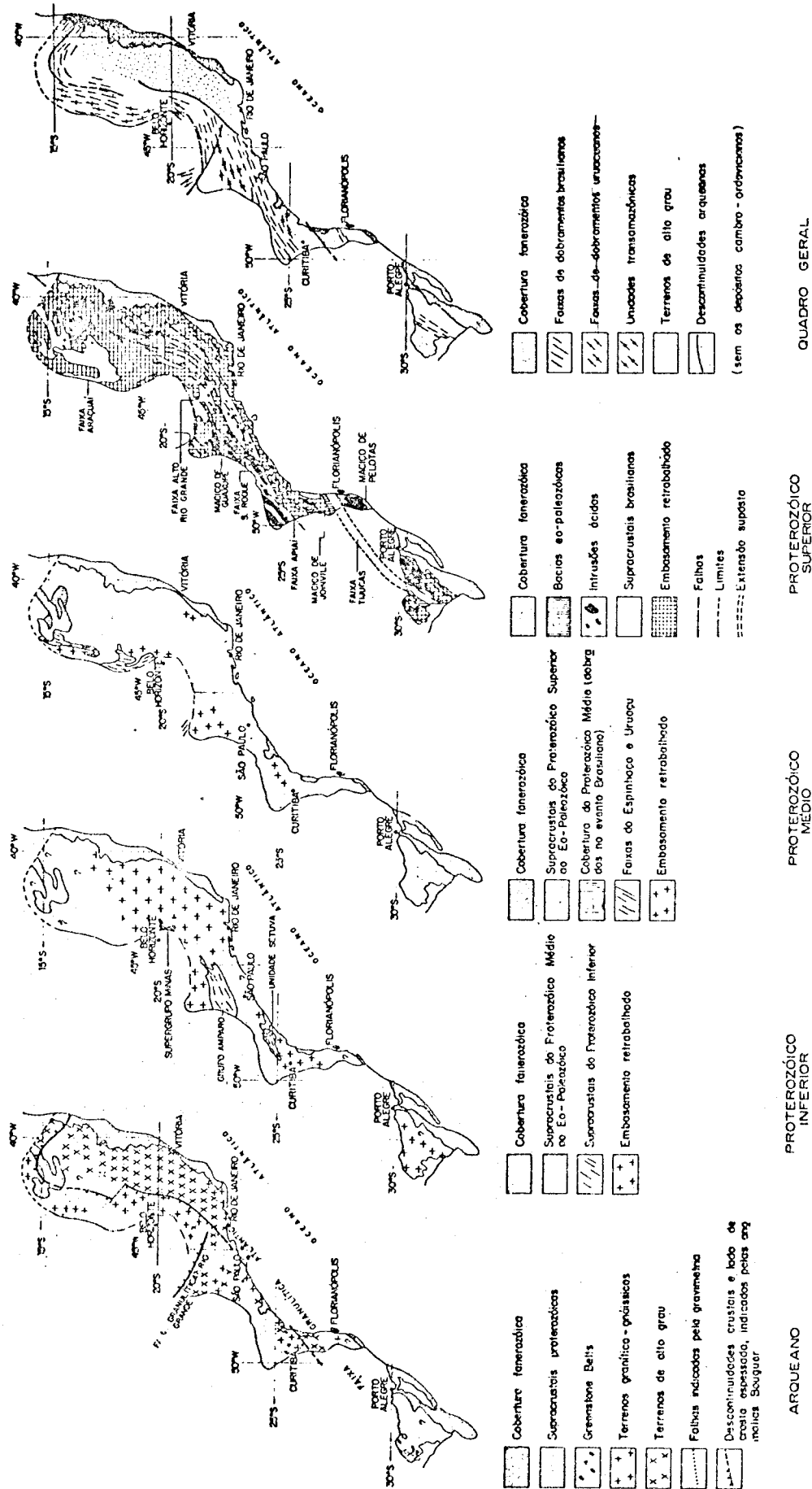


Fig. 3.2 - Evolução lito-estrutural do pré-siluriano.

FONTE: Hasui et alii (1982), p. 83.

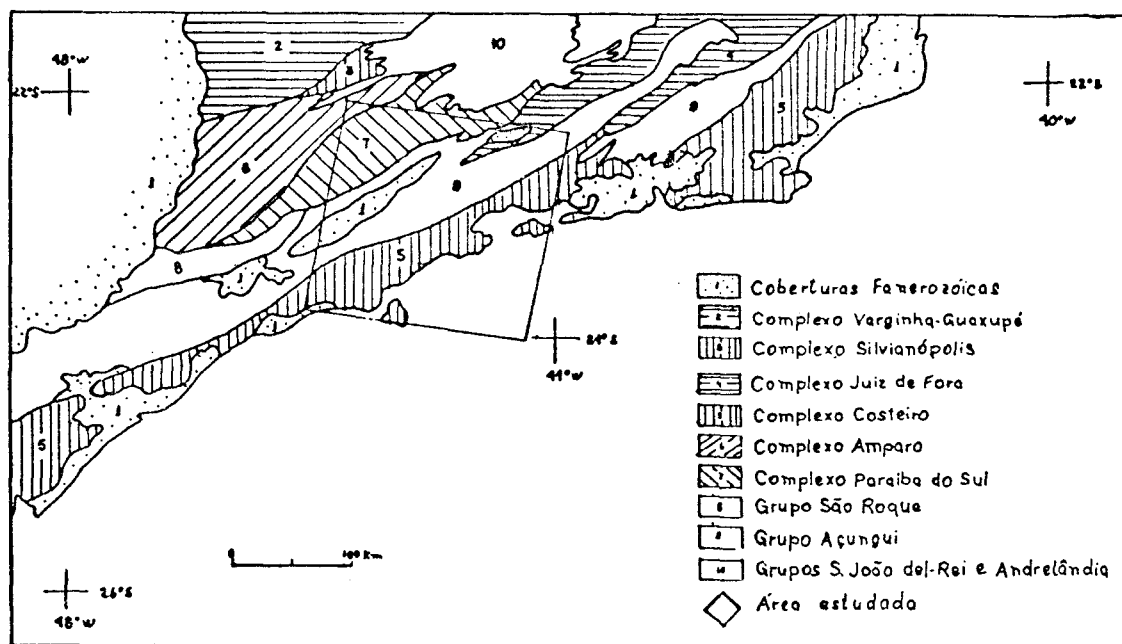


Fig. 3.3 - Distribuição das unidades prē-cambrianas.
FONTE: Hasui et alii (1984), p. 309.

TABELA 3.1

UNIDADES LITOLÓGICAS E LITOESTRATIGRÁFICAS DO SETOR
CENTRAL DA PROVÍNCIA MANTIQUEIRA

IDADE		EVENTOS TERMO-TATÔNICOS		UNIDADES LITOLÓGICAS E LITOESTRATIGRÁFICAS	
Fanerozoico	Cenozoico	II	450 m.a.	Depósitos sedimentares	
	Mesozoico			Rochas básicas e alcalinas em diques, chaminés e stocks	
	Paleozoico				
Proterozoico	Superior	II	Brasiliano 850 1000	Granitóides em batólitos, stocks e diques Grupo Açungui	
	Médio		Uruguiano		
	Inferior	II	Transamazônico 1800 2200		
			2500		
Arqueano		II	Jequié	Complexo Costeiro	Complexo Paraíba do Sul

[Modificado de Hasui e Oliveira (1983), p. 313].

Com relação aos tempos fanerozóicos, sabe-se que a chamada Plataforma Sul Americana (Almeida, 1967) estabilizou-se no Ordoviciano e só a partir do Jurássico Superior sobrevieram novas condições de instabilidade paraplataformais (Hasui et alii, 1982).

As estruturas, morfologia e coberturas sedimentares relativas a esse período têm sido invariavelmente vinculadas à tectônica regional que originou o sistema de rifts no continente e grabens e a bacia de Santos na plataforma continental.

Os movimentos tectônicos ocorridos e seus reflexos na morfologia permitem enfocar a área conforme o modelo de evolução de margem continental atlântica, segundo o qual a região sudeste do Brasil seria considerada marginal à linha de ruptura do Atlântico Sul e teria sua evolução tectônica meso-cenozóica relacionada ao desenvolvimento do oceano (Le Pichon e Hâges, 1971; Asmus, 1978; Asmus e Ferrari, 1978).

No continente, um sistema de rifts como o do Paraíba se desenvolveu acompanhado de intensa atividade vulcânica do tipo central alcalino, bordejando a bacia de Santos (Sadowski, 1976), já no Cretáceo (Hasui et alii, 1978c). Seguiu-se então um processo de morfogênese do relevo atual e a implantação de bacias continentais como as de Taubaté, São Paulo, Resende e Volta Redonda no Terciário Superior e/ou Pleistoceno (Hasui et alii, 1978f; Melo, 1984).

As feições estruturais ligadas aos processos anteriormente descritos apareceram nas zonas dos cinturões móveis arqueanos, aproveitando provavelmente antigas zonas de fraqueza da crosta (Almeida, 1976; Sadowski, 1976; Hasui et alii, 1982).

A evolução do sistema de rifts continentais bordejando a bacia de Santos é apresentada esquematicamente na Figura 3.4, segundo Almeida (1976).

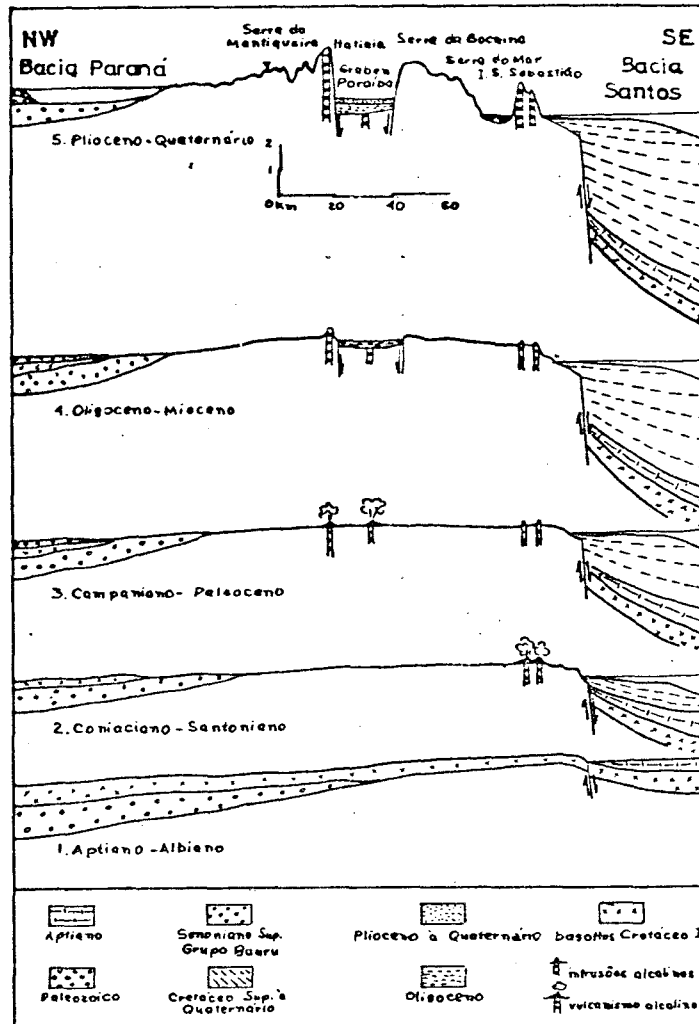


Fig. 3.4 - Possível evolução tectôno-magmática da borda continental da bacia de Santos.

FONTE: Almeida (1976), p. 21.

3.1 - DESCRIÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS E ESTRATIGRÁFICAS

As unidades litológicas e estratigráficas presentes são descritas a seguir de maneira sucinta, segundo sua suposta ordem cronológica.

3.1.1 - COMPLEXO COSTEIRO

O Complexo Costeiro constitui uma faixa larga e extensa em forma de arco, mais ou menos paralelo à costa, desde o Estado do Espírito Santo até Santa Catarina (Figura 3.3).

Trata-se de um complexo atribuído genericamente ao Arqueano que engloba diversas unidades e conjuntos litológicos heterogêneos, a maioria dos quais, incipientemente estudados e cujas relações entre si não são claras (Hasui et alii, 1984).

É composto por rochas de fácies anfibólito e granulito que sofreram migmatização e granitização em graus variáveis. Os tipos mais comuns são gnaisses e migmatitos de estrutura bandada e facoidal, aparecendo intercalados minoritariamente rochas calcossilicáticas, calcários, metavulcânicas, formações ferríferas, quartzitos, magnetita quartzitos, corpos máficos e ultramáficos, além de xistos, dioritos, monzonitos e sienitos. As rochas de fácies granulito apareceram em forma de faixas, bolsões e núcleos esparsos, onde foram obtidas datações arqueanas, transamazônicas e brasileiras, sendo estas duas últimas devidas a retrabalhamento (Hasui et alii, 1984).

Não se distinguiu ainda no Complexo Costeiro rochas de embasamento e supracrustais, descrevendo-se apenas processos de retrabalhamento de rochas antigas; porém, a existência de pacotes metasedimentares já é reconhecida no Estado do Paraná e sul de São Paulo (Hasui et alii, 1984).

3.1.2 - COMPLEXO PARAÍBA DO SUL

O Complexo Paraíba do Sul situa-se na porção NW da região (Figura 3.3), entre as falhas de Jundiuvira (Hasui et alii, 1978a) e Camanducaia (Cavalcante et alii, 1977) sendo ainda mal conhecido segundo Hasui et alii (1984).

Constitui-se de gnaisses e migmatitos diversos, predominantemente bandados, com granitóides e dioritos monzoníticos gnaissicos associados. Aparecem ainda intercalações de mármore dolomíticos, rochas calcossilicáticas, xistos feldspáticos, calcixistos, talcoxistos e metabasitos: rochas granulíticas ácidas e básicas formam núcleos dispersos mais ou menos migmatizados (Hasui et alii, 1984).

No conjunto tratam-se de rochas de fácies anfibolito e subordinadamente granulito que sofreram feldspatização, migmatização e intrusões ácidas (Hasui e Oliveira, 1984).

Tem-se caracterizado para essas rochas uma evolução metamórfica policíclica com datações indicando idades transamazônica, uruguaiana e brasileira (Cordani et alii, 1973; Hasui et alii, 1978c).

Seu padrão estrutural é intrincado com pelo menos uma fase de dobramentos anterior àquelas que podem ser consideradas brasileiras (Hasui et alii, 1978c).

3.1.3 - GRUPO AÇUNGUI

As rochas do Grupo Açungui estão distribuídas sob a forma de uma faixa com orientação SW-NE localizada na porção central da região em questão (Figura 3.3). Seus limites com as unidades adjacentes são marcados, na maior parte, pelas falhas de Jundiuvira, Taxaquara e Cubatão, sendo ainda mal definidos no extremo leste paulista e oeste fluminense (Hasui e Oliveira, 1984).

Trata-se de um pacote essencialmente metapelítico, exibindo metamorfismo de fácies xisto verde e localmente anfibolito, de baixa pressão e temperatura (Hasui et alii, 1984).

Ocorre neste grupo uma passagem gradativa de rochas xistosas para gnaisses e migmatitos, já notada por diversos autores (Moraes Rego, 1933; Almeida, 1953 e outros).

Suas rochas ecníticas situadas no leste paulista são representadas por xistos diversos, quartzitos, dolomitos, rochas calcio-silicáticas e metabasitos, aparecendo em calhas sinclinais e em extensos trechos nas zonas das falhas de Taxaquara, Cubatão, Buquira e Jundiuvira (Hasui e Oliveira, 1984).

O conjunto migmatítico é representado por migmatitos diversos, predominando os de estrutura estromática. Aparecem como "resisters" muitas lentes de quartzitos, anfibolitos, rochas cálcio-silicáticas e mármore (Hasui et alii, 1978c).

Não se conseguindo uma subdivisão estratigráfica satisfatória do conjunto, procurou-se separá-lo em rochas ecníticas e migmatíticas, sob os nomes de Complexo Pilar e Embu, respectivamente (Hasui e Sadowski, 1976). Essas unidades, embora não representem pacotes estratigráficos, refletem níveis distintos do Grupo Açungui (Hasui et alii, 1980).

O padrão de deformação do Grupo Açungui consiste em dobras recumbentes, transpostas e redobradas, contemporâneas ao metamorfismo regional; superpõem-se crenulações locais, juntas e falhas transcorrentes e normais (Hasui e Sadowski, 1976; Hasui et alii, 1980). Tais deformações dificultam sobremaneira sua reconstituição estratigráfica.

A idade dos sedimentos originais não está estabelecida, já que as datações paleontológicas não permitem determinar cifras seguras (Fairchild, 1977) e as datações radiométricas apontam processos tectônicos superimpostos; a atribuição do Grupo ao Proterozóico Superior é portanto arbitrária (Hasui e Oliveira, 1984).

3.1.4 - ROCHAS GRANITÓIDES

A região de Dobramentos Sudeste é caracterizada por um intenso magmatismo granitóide, quer em área, quer em número e tipos de corpos com caráter sin e pós-tectônico (Wernick, 1979b).

O termo granitóide é usado aqui no sentido proposto por Streckeisen (1973) e sua distribuição é apresentada na Figura 3.5. Essas rochas têm sido atribuídas generalizadamente ao Ciclo Brasileiro por sua associação com rochas tidas como do Proterozóico Superior, embora não se possa excluir a possibilidade de existirem gerações mais antigas ainda não discriminadas (Hasui et alii, 1984).

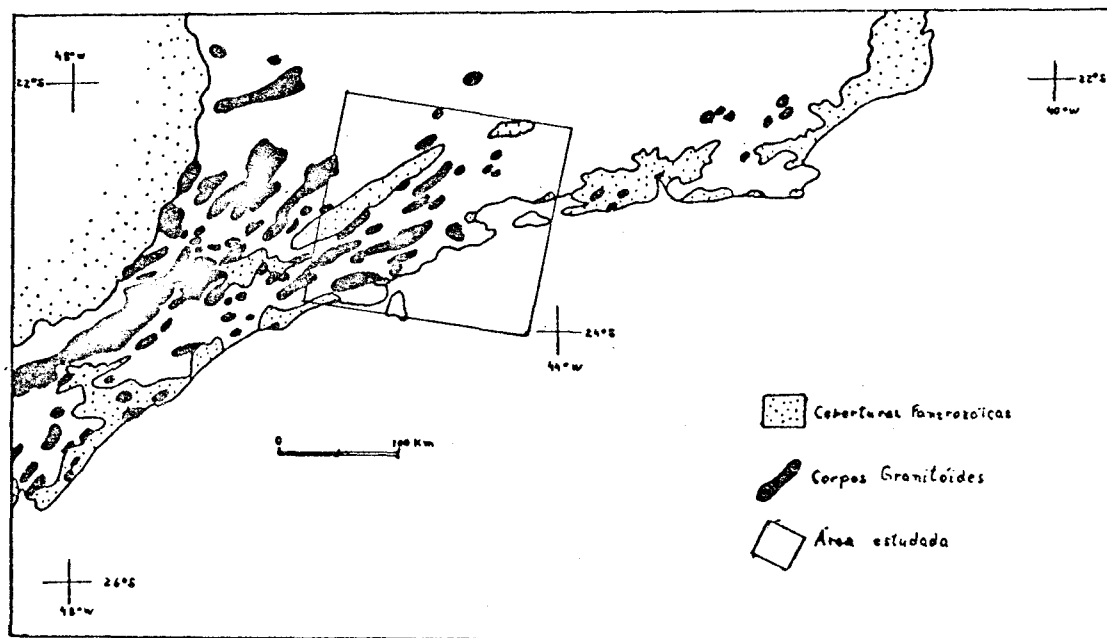


Fig. 3.5 - Distribuição dos corpos granitóides.

[Modificado de Hasui et alii (1984), p. 318]

Hasui et alii (1978b) e Wernick (1979a, b) reuniram os diversos tipos de rochas granitóides em dois grupos:

- o grupo mais frequente é o formado por rochas foliadas, com composição variando de tonalítica a granítica, perfazendo mais de 90% dos corpos mapeados. Os corpos granitoides possuem formas alongadas paralelas aos eixos de dobras de uma das fases de deformação das rochas do Grupo Açungui. Têm caráter autóctone, para-autóctone, ou alóctone, classificáveis de sintectônicos, com datação girando em torno de 600-650 Ma, segundo Wernick (1979b).
- outro grupo menos frequente, inclui rochas mais homogêneas, não foliadas, de composição granodiorítica a granítica em corpos discordantes, classificáveis como pós-tectônicos. As datações, segundo Wernick (1979b), estão em torno de 500 Ma.

Os grandes lineamentos tectônicos exerceram controle na distribuição e localização das diversas suites, sendo atestada sua natureza profunda por várias evidências geológicas. Esses lineamentos funcionaram como canais térmicos ao longo dos quais ocorreram os fenômenos granitogênicos e a ascensão das diferentes gerações de massas granitoides (Wernick, 1979b).

3.1.5 - MAGMATISMO ULTRABÁSICO A INTERMEDIÁRIO

Diques e sills de rochas ultrabásicas a intermediárias o correm dispersamente, com maior presença próximo à costa, tendo espesura de centímetros a algumas dezenas de metros, o que não permite serem cartografadas (Hasui et alii, 1978b).

Termos como lamprófiro, diabásio, olivina-diabásio, dia básio-traquiandesito, andesito pórfiro e outros têm sido reconhecidos, predominando os básicos e toleíticos (Cavalcante e Kaefer, 1974).

A idade desse magmatismo foi determinada pelo método K/Ar no intervalo de 147 a 119 Ma (Amaral et alii, 1966; Cordani e Tei xeira, 1979 e outros) entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior.

As atitudes desses corpos não são sempre mensuráveis, mas onde observadas apresentam grande coincidência com sistemas de juntas e foliação metamórfica das rochas encaixantes (Hasui et alii, 1978b).

3.1.6 - MAGMATISMO ALCALINO

Na província alcalina do Brasil Meridional, dois grupos gerais de idade podem ser distinguidos: um do Cretáceo Inferior, contemporâneo ao magmatismo toleítico e outro do Cretáceo Superior ao Terciário Inferior (Amaral et alii, 1967).

Na área em questão, as ocorrências mais importantes pertencem ao segundo grupo e são representadas pelos maciços de Passa Quatro e Itatiaia, tendo sido este último datado por Amaral et alii (1967) em 66 Ma. Petrologicamente esses maciços são semelhantes, constituindo corpos zonados com nefelina-sienitos, alcalissienitos e brechas mágnéticas, cortados localmente por alcaligranitos (Penalva, 1967).

As rochas alcalinas da ilha de São Sebastião, datadas em 81 Ma por Hennies e Hasui (1968) são também pertinentes ao segundo grupo. Constituem-se de três "stocks" com fraturas concêntricas, possivelmente representando zoneamento petrográfico; afloram rochas essencialmente plutônicas, desde nordmarkitos até teralitos (Hennies e Hasui, 1968).

Rochas alcalinas se fazem presentes ainda sob a forma de diques e raros sills de até 2 m de espessura, não cartografados (Hasui et alii, 1978c).

3.1.7 - SEDIMENTOS CENOZÓICOS (FORMAÇÕES CAÇAPAVA, TREMEMBÉ E RESENDE)

No sudeste do Brasil existem quatro bacias sedimentares principais, dispostas segundo um eixo de orientação E-NE, paralelamente à linha de costa, ligadas a uma série de rifts continentais (Hasui et alii, 1978f). São as bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e São Paulo.

Nestas bacias distinguem-se três tipos de fácies sedimentares:

- a) uma fácies grosseira desenvolvida ao norte das bacias de Taubaté e Resende, proveniente de cones de dejecção próximos a importantes escarpamentos tectônicos (Hasui e Ponçano, 1978; Melo et alii, 1983).
- b) uma fácies lacustre argilosa desenvolvida nos compartimentos mais internos da bacia de Taubaté, constituindo a Formação Tremembé (Melo, 1984).
- c) uma fácies fluvial com sedimentos de granulometria variada e imaturidade mineralógica e textural (Melo, 1984). Essa fácies seria formada por um sistema de drenagem anastomosado entre as bacias de Taubaté (Suguio, 1969), Resende (Amador, 1975; Melo et alii, 1983) e Volta Redonda (Melo et alii, 1983) e por um sistema de planícies de inundação na bacia de São Paulo (Suguio, 1980). Os depósitos dessa fácies, interdigitados ou não com os da fácies grosseira, são denominados Formação Caçapava (interdigitados com a Formação Tremembé na bacia de Taubaté), Formação Resende (nas bacias de Resende e Volta Redonda) e Formação São Paulo (na bacia de São Paulo).

Moraes e Rego (1932) e outros consideraram os depósitos como do Plioceno. Couto e Mezzalana (1971) através de estudos de fósseis, sugeriram Oligoceno-Mioceno. Ferreira e Santos (1982), Lima e Amador (1983) em análises palinológicas e ainda Riccomini et alii (1983) por datações de lavas intercaladas nos sedimentos, sugeriram Eoceno Superior e Oligoceno.

3.2 - EXPRESSÃO GEOMORFOLÓGICA

O relevo do leste paulista e regiões vizinhas possui características fortemente ligadas ao tectonismo cenozóico atuante sobre uma estrutura geológica diversificada e complexa (Hasui et alii, 1982).

O atual relevo acidentado é resultante, em sua maior parte, da erosão diferencial de uma superfície de aplainamento antiga, que condicionou as altitudes até as quais se elevam as cristas serranas mantidas por rochas mais resistentes (Hasui et alii, 1978c). Trata-se da chamada superfície Japi, estabelecida no Paleoceno, com altitudes entre 1200 m e 1300 m, alcançados por um soerguimento epirogênico regular que afetou a região (Almeida, 1964).

A litologia e as estruturas da área se refletem de modo sensível na fisiografia, possibilitando a compartimentação do relevo em províncias geomorfológicas, zonas e subzonas, para facilitar o seu estudo (Almeida, 1964; Ponçano et alii, 1979).

Na região em questão estão representadas as províncias geomorfológicas do Planalto Atlântico e Costeira (Figura 3.6) com suas respectivas zonas e subzonas listadas na Tabela 3.2.

A província geomorfológica do Planalto Atlântico constitui-se, topograficamente, de uma sequência de planaltos profundamente trabalhados em sucessivos ciclos de erosão. Esses planaltos apresentam-se em altitudes diferentes por provirem de superfícies de erosão em bacias hidrográficas distintas, ou por terem sido tectonicamente desnivelados no Cenozóico (Hasui et alii, 1982). As zonas e subzonas dessa província geomorfológica são descritas a seguir.

Na porção noroeste da área estudada, no Estado de Minas Gerais, localiza-se a zona do Planalto do Alto Rio Grande (Ponçano et alii, 1981), quase inteiramente drenada para a bacia do Rio Grande. Trata-se de um planalto de estrutura complexa, maturamente dissecado, desfeito em morros, serras lineares e chapadas, sendo notável o fato de muitos de seus maiores coletores da rede de drenagem terem seu traçado independente das direções estruturais, sugerindo ter sido esta, previamente estabelecida sobre uma superfície de aplainamento tão evoluída que tais estruturas não apresentariam obstáculos significativos à drenagem.

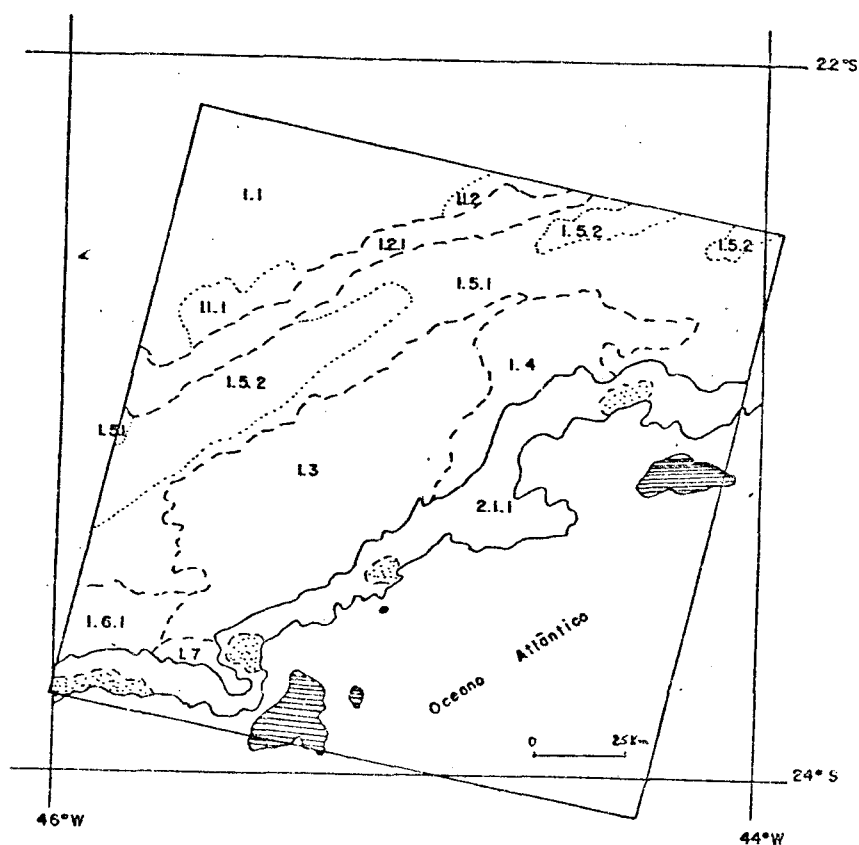


Fig. 3.6 - Unidades geomorfológicas.

[Modificado de Hasui et alii (1982), p. 63]

TABELA 3.2

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

PROVÍNCIAS	ZONAS	SUBZONAS
1. Planalto Atlântico	1.1 - Planalto do Alto Rio Grande 1.2 - Serra da Mantiqueira 1.3 - Planalto do Paraitinga 1.4 - Planalto do Bocaina 1.5 - Médio Vale do Paraíba 1.6 - Planalto Paulistano 1.7 - Planalto do Juqueriquerê	1.1.1 - Planalto de Campos do Jordão 1.1.2 - Maço de Itatiaia 1.2.1 - Paulista 1.5.1 - Morros Cristalinos 1.5.2 - Colinas Sedimentares 1.6.1 - Morraria do Embu
2. Província Costeira	2.1 - Serrania Costeira 2.2 - Maços Litorâneos 2.3 - Baixadas Litorâneas	2.1.1 - Serra do Mar

[Modificado de Hasui et alii (1982), p. 63]

Destaca-se aqui como subzona o Planalto de Campos de Jordão, nivelando a crista da Serra da Mantiqueira a 1700-2000 m de altitude e evoluindo a partir da superfície de aplainamento do Japi; outra subzona presente na área é o Maço de Itatiaia, constituída por dois corpos de intrusões alcalinas, formando um relevo que não chegou a ser totalmente arrasado pela erosão que nivelou a superfície de Japi, ali erguida a 2000-2100 m.

A zona geomorfológica Serra da Mantiqueira, situada ao sul da zona acima descrita, aparece representada pela sua Subzona Paulista. Mostra-se como uma linha de altas escarpas, localmente rebaixadas por gargantas, com cimos da serra notadamente nivelados pela superfície do Japi (Hasui et alii, 1982). No sopé as escarpas cedem lugar a um relevo de baixas serras lineares e morros mais ou menos isolados (Almeida, 1964), em transição para o "mar-de-morros" do Médio Vale do Paraíba (Hasui et alii, 1982).

A zona do Planalto do Paraitinga (Almeida, 1964) é a região drenada para o rio Paraíba do Sul, a montante da cidade de Guararema. É um planalto cristalino, de estrutura complexa, maturamente dissecado, relevo tipo "mar-de-morros" e longas serras longitudinais de direção E-NE, situadas nos principais divisores, com altitudes de até 1300 m. A rede de drenagem encontra-se extremamente adaptada à estrutura muito fraturada do planalto por acentuada erosão diferencial (Hasui et alii, 1982).

O Planalto do Bocaina é uma pequena zona muito elevada (aproximadamente 2000 m de altitude), situada na nascente do rio Paraíba do Sul, entre a Serra do Mar e o Médio Vale do Paraíba. Apresenta-se muito esculpida pela erosão, caindo para o mar em abruptas escarpas. É geologicamente semelhante ao Planalto do Paraitinga, mantendo-se como provável testemunho de um bloco homólogo ao do Alto Rio Grande, falhado ou fortemente flexurado, que teria sido quase inteiramente destruído pela erosão regressiva que originou o Planalto do Paraitinga (Hasui et alii, 1982).

A zona do Médio Vale Paraíba do Sul (Ab Saber e Bernardes, 1956) ocorre aqui com duas subzonas, caracterizadas por relevo, gênese e estrutura geológica contrastantes: Morros Cristalinos e Colinas Sedimentares.

A subzona de Morros Cristalinos constitui-se de rochas metamórficas do Grupo Açungui num relevo de morros alongados (mar-de-morros) alcançando 200 m a 350 m sobre o rio Paraíba. Representa relevo de transição para a Serra da Mantiqueira (Hasui et alii, 1982).

A subzona de Colinas Sedimentares ocorre nas bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda, com seus sedimentos constituindo colinas achatadas ou baixo relevo tabular, raramente alcançando 100 m de altura sobre o rio (Ab Saber e Bernardes, 1956).

A zona do Planalto Paulistano se faz presente ao SW da área através de sua subzona denominada Morraria do Embu. Esta subzona é desenvolvida em rochas cristalinas, apresentando aspectos de morros com altitudes entre 800 m e 900 m, refletindo a posição da superfície de erosão do Alto Tietê (Almeida, 1964).

O Planalto do Juqueriquerê apresenta-se como uma saliência costeira na região da serra homônima, situada em frente a ilha de São Sebastião (SP) com topos e morrotes das áreas aplainadas de cimeira nivelados entre 650 m e 750 m (Almeida, 1964). A drenagem do planalto escoa diretamente para o oceano, e o desnível existente entre o Planalto de Juqueriquerê e planaltos adjacentes, sugere ter sido o mesmo originado por abatimento de blocos (Hasui et alii, 1982).

A segunda província geomorfológica presente na área é a Costeira, drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. Aparecem aqui a subzona Serra do Mar, pertencente à zona Serrania Costeira e as zonas denominadas Maços Litorâneos e Baixadas Costeiras.

A subzona Serra do Mar constitui uma escarpa erosiva muito bem adaptada a resistência diferencial de suas rochas, erguendo-se junto ao Planalto da Bocaina. Apresenta altitudes entre 800 m e 1200 m, condicionadas pela altitude das superfícies de aplainamento que nivelam o topo do planalto (Hasui et alii, 1982). As escarpas podem ter sido originadas por abatimentos tectônicos em blocos de falha (De Martone, 1943), ou por acentuado flexionamento da superfície do planalto, estando esses processos ligados à separação dos continentes, no Cretáceo Superior (Hasui et alii, 1982).

3.3 - GRANDES ESTRUTURAS

Abrangendo parte dos Estados do Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, desenvolve-se um extenso cinturão de cisalhamentos heterogêneos essencialmente transcorrentes (Sadowski, 1983), conforme mostra a Figura 3.7).

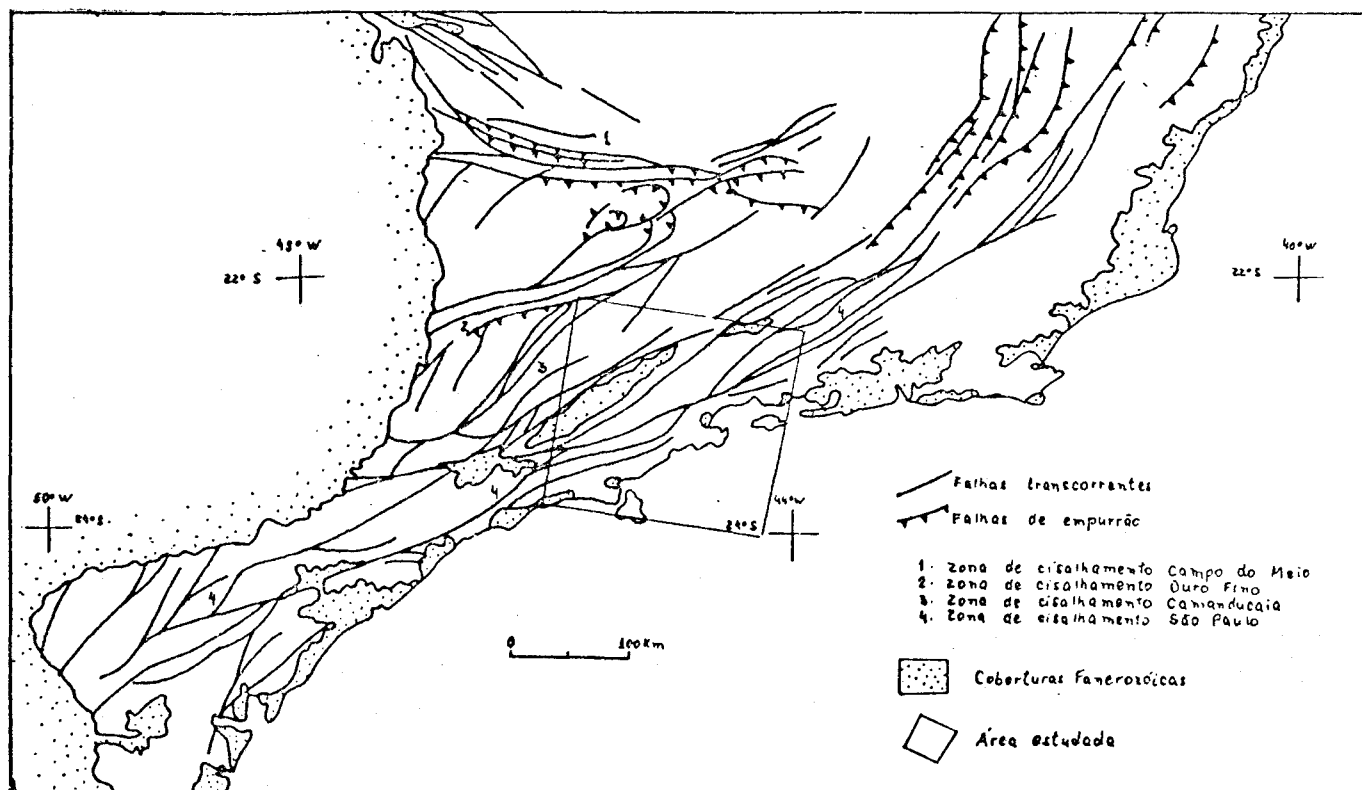


Fig. 3.7 - Zonas de cisalhamentos do sudeste brasileiro.
[Modificado de Hasui et alii, (1980), p. 65]

Inicialmente essa zona ou cinturão de cisalhamentos foi denominada zona de transcorrências de São Paulo (Hasui et alii, 1975) e incluída na faixa rúptil Paraíba do Sul (Braun e Baptista, 1977), correspondendo ao sistema Mantiqueira de Cavalcante et alii (1977). Atualmente considera-se que a melhor qualificação para tal estrutura é de "faixa ou zona de cisalhamento", recebendo o nome de São Paulo (Hasui et alii, 1982).

As faixas de cisalhamento constituem uma característica dos cinturões móveis, traduzindo os intensos deslocamentos do fim do Ciclo Brasileiro, contudo, sua idade tardi-brasileira diz respeito somente à última movimentação transcorrente ocorrida (Hasui et alii, 1982).

A Faixa de Cisalhamentos São Paulo constitui-se de um feixe de falhas com direção média E-NE no qual se destacam, por serem melhor estudadas, as falhas de Jacutinga (Ebert, 1968; Cavalcante et alii, 1979 e outros), Jundiuvira (Hasui et alii, 1978 e outros), Taxaquara (Hennies et alii, 1967a; Hasui et alii, 1978; Hasui et alii, 1980 e outros), Cubatão (Almeida, 1953; Sadowski, 1974; Hasui et alii, 1978a e outros) e Além Paraíba (Almeida et alii, 1975; Campanha, 1980 e outros).

Toda a extensão entre as falhas de Cubatão, Taxaquara e Além Paraíba é referida pelo nome de falha de Cubatão por Hasui et alii (1980), porém tal linearidade não está suficientemente provada, podendo todo o conjunto ser apenas um reticulado complexo de falhas (Sadowski, 1983).

Outras falhas menos conhecidas em detalhe, embora dignas de nota, são as de Monteiro Lobato, Buquira, Jaguari, Natividade, Freires, Caucaia, Cipó, etc (Sadowski, 1983).

Todas essas falhas seccionam rochas da Faixa de Dobramentos Apiaí e/ou seu embasamento ao longo das direções E-NE, isolando blocos de formas alongadas e sub-lenticulares. Tais falhas estão em sua maioria, localizadas na área estudada, conforme pode ser visto na Figura 3.8.

Algumas falhas como as de Cubatão e Jundiuvira apresentam características ora de empurrão, ora de transcorrência e ora de gravidade, embutindo blocos alongados de metassedimentos de grau metamórfico mais baixo que os migmatitos e granulitos adjacentes (Sadowski, 1974; Sadowski, 1983).

Haralyi et alii (1985), em estudos geofísicos, têm identificado nessa região anomalias de origem profunda que se traduziriam em extensas zonas de cavalgamento de baixo ângulo, expondo nas suas porções limítrofes os níveis crustais inferiores dos blocos cavalgantes.

Tais estruturas são reportadas por esses autores ao Arqueano, tendo-se sobreposto a elas os feixes de descontinuidades transcorrentes, presumivelmente no Proterozóico Inferior e depois reativados no Ciclo Brasileiro.

Além das falhas, algumas estruturas maiores de caráter antiformal e sinformal têm sido reconhecidas, como o sinclinal de Itava no Estado do Rio de Janeiro (Fonseca et alii, 1979), os sinclínorios de Bonsucesso, Ribeira e Guarapiara e os anticlinórios de Cunha poranga, Agudos Grandes e Três Córregos nos domínios do Grupo Açungui (Hasui et alii, 1980), bem como a própria estrutura em geossinclíneo já reconhecida por Ebert (1968) nas rochas do Grupo Açungui e Complexo Paraíba do Sul.

Uma opinião correntemente aceita para a tectônica do sudeste brasileiro é aquela em que o pré-cambriano teria uma compartimentação em blocos justapostos, limitados por grandes falhamentos transcorrentes, estilo esse, reconhecido pela primeira vez por Hennessey et alii (1967b) e largamente utilizado por outros autores desde então. Essa estrutura é tida como devida a falhamentos transcorrentes vinculados ao Ciclo Brasileiro (Hasui e Sadowski, 1976; Hasui et alii, 1977; Hasui et alii, 1978a; Hasui et alii, 1982 e outros).

Somente mais recentemente, à luz de teorias sobre cisalhamento dúctil e rúptil, tem-se sugerido para a área um cisalhamento em condições dúcteis mais antigo (provavelmente no Proterozóico Inferior) e sua reativação como falhas transcorrentes sob tectônica rúptil no Ciclo Brasileiro (Hasui, comunicação verbal).

As estruturas mais novas pertinentes ao Fanerozóico, têm sido invariavelmente relacionados à reativação da Plataforma Sul Americana durante a abertura do Atlântico Sul.

Tal reativação teria ocorrido por meio de uma tectônica de aparente tensão, com a formação de grabens e rifts ao longo da antiga linha de fraqueza representada por lineamentos pré-cambrianos (Sadowski, 1976).

Assim, têm-se como principais estruturas correlatas, a bacia de Santos, os inúmeros grabens na plataforma continental e o sistema de rifts no continente, onde se situam as quatro principais bacias sedimentares da região: as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda.

As bacias sedimentares da região tiveram seu desenvolvimento fortemente ligado ao tectonismo meso-cenozóico.

A bacia de Taubaté, por exemplo, é um complexo graben, onde as falhas principais de direção E-NE mergulham para SE e cujos movimentos foram rotacionais, com basculamentos de blocos para N (Carneiro et alii, 1976). A configuração da bacia é melhor compreendida considerando-se as falhas longitudinais e os seus altos topográficos transversais, identificados por Hasui e Ponçano (1978). Tais altos topográficos compartimentam a bacia em quatro sub-bacias de sedimentação e estão ligados a lineamentos de direção N-NE, visíveis também nas rochas cristalinas adjacentes (Hasui et alii, 1978c), conforme a Figura 3.9.

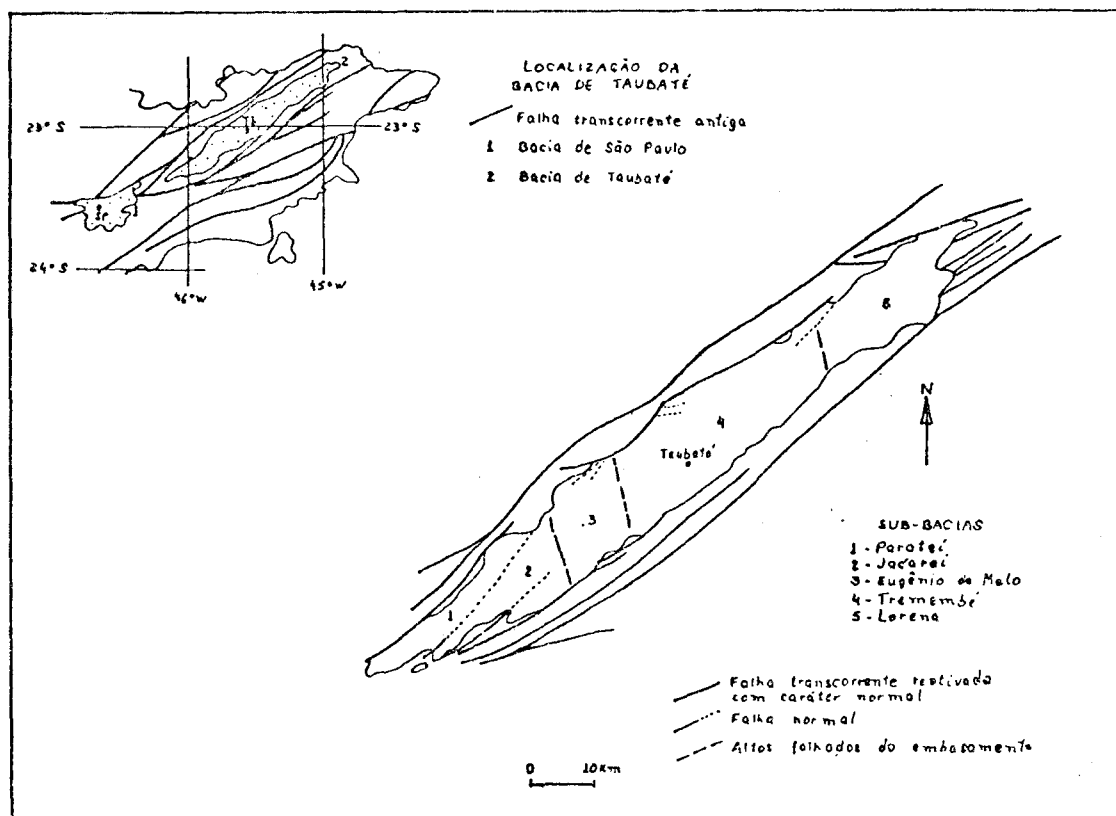


Fig. 3.9 - Falhas de gravidade associadas à bacia de Taubaté.
 FONTE: Hasui e Ponçano (1978), p. 369.

Os movimentos tectônicos ocorridos não foram s_o s_{incro} nos à sedimentação, mas também afetaram as últimas camadas depositadas através de falhas de gravidade (Hasui et alii, 1978c; Melo, 1984).

CAPÍTULO 4

LINEAMENTOS: EXPRESSÃO NA IMAGEM

Os lineamentos analisados neste trabalho podem ser agrupados basicamente em duas categorias: aqueles cuja distribuição se concentra ao longo de faixas bem definidas no terreno e aqueles que são distribuídos por toda a área.

Todo o conjunto de lineamentos fotointerpretados a partir de imagens de sensores remotos é apresentado em um mapa de lineamentos estruturais, na Figura 4.1 e no Apêndice A deste trabalho.

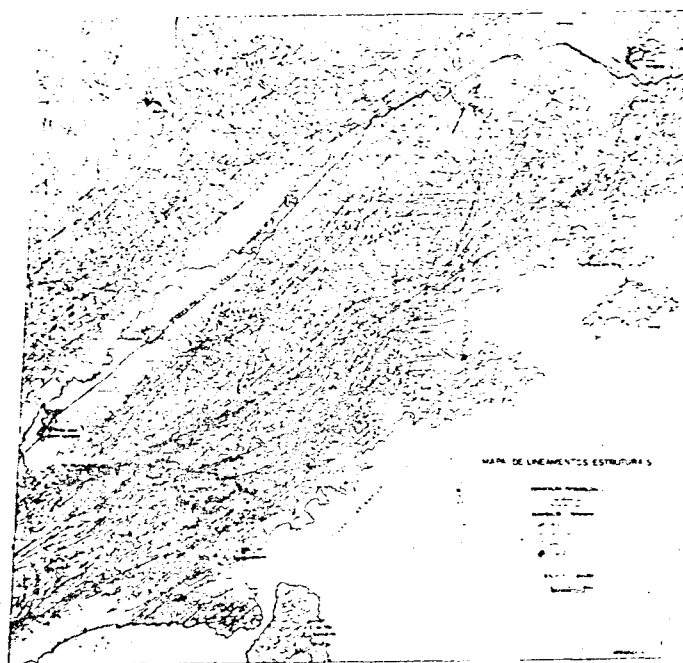


Fig. 4.1 - Mapa de lineamentos estruturais fotointerpretados.

De acordo com os critérios enumerados no Capítulo 2, foram distinguidos na fase de interpretação de imagens, sete sistemas de lineamentos. Três desses sistemas são concentrados preferencialmente em feixes e sua origem ligada a eventos tectônicos antigos, proterozóicos

sendo que suas feições registradas atualmente teriam sido geradas em zonas de cisalhamento. Os lineamentos dos outros quatro sistemas apresentam-se por toda a área, obedecendo determinados padrões de distribuição e sua origem é associada ao evento tectônico que gerou a abertura do Atlântico Sul, no Meso-Cenozóico. Além disso, no Meso-Cenozóico, é verificada também a reativação de dois dos sistemas antigos de lineamentos.

Os sistemas de lineamentos são designados pelas letras A, B, C, D, E, F e G, conforme a Tabela 4.1. Os sistemas A e C, embora apresentem a mesma direção, constituem feixes de lineamentos gerados por eventos distintos, conforme se explicará adiante.

TABELA 4.1

DIREÇÕES DOS SISTEMAS DE LINEAMENTOS FOTOINTERPRETADOS

SISTEMAS DE LINEAMENTOS FOTOINTERPRETADOS	DIREÇÃO DOS SISTEMAS
A	N70E
B	N20E
C	N70E
D	N80W
E	N20W
F	N60W
G	N50W

Os sistemas de lineamentos são descritos a seguir, obedecendo a sua ordem cronológica relativa, estabelecida a partir de observações fotointerpretativas.

Nada impede que algum dos sistemas aqui considerados meso-cenozóico tenha se aproveitado de direções antigas de fraqueza na crosta e represente em última análise, uma reativação. Porém, o que

se registra em imagens de sensoriamento remoto são as relações espaciais entre os lineamentos e através delas é que se busca reconstituir as relações temporais.

Os lineamentos dos sistemas A, B e C encontram-se concentrados preferencialmente ao longo de faixas no terreno, constituindo o que se chama de feixes de lineamentos, embora também existam lineamentos correlatos a esses sistemas distribuídos homogeneamente pela área.

A Figura 4.2 e Apêndice D deste trabalho, apresentam os lineamentos pertinentes a esses três sistemas, concentrados ao longo de faixas, para que se possa visualizar as relações existentes entre eles.

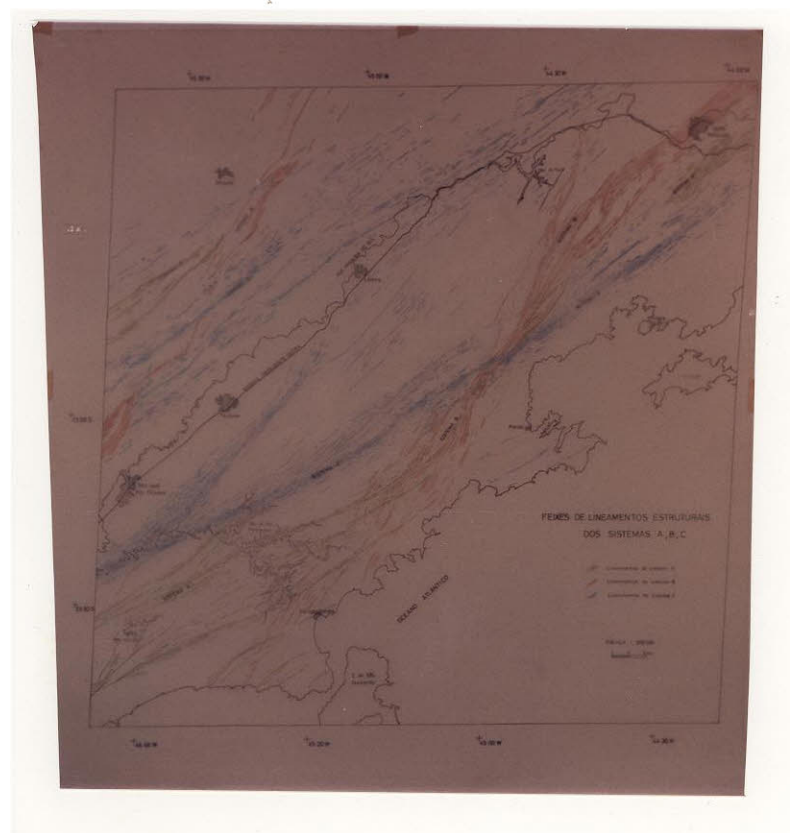


Fig. 4.2 - Mapa de feixes de lineamentos dos sistemas A, B, C.

O sistema A corresponde ao sistema mais antigo, com direção N70E, representado sobretudo por vales alongados, cujos lineamentos são perceptíveis principalmente nas extremidades nordeste e sudoeste das imagens analisadas.

Assume-se que os lineamentos do sistema A, em passado remoto, constituíram um feixe de lineamentos que atualmente apresenta-se truncado e deslocado de maneira a evidenciar a ação de falhamentos transcorrentes a ele sobrepostos. Este sistema é o mais antigo identificado na área, por apresentar características de feixe de lineamentos, gerado necessariamente por tectônica de transcorrência (portanto proterozóico segundo a bibliografia) e por não afetar nenhum outro feixe de lineamentos; ao contrário, é afetado por estes.

Os lineamentos do sistema A são truncados e deslocamentos sinistralmente pelos lineamentos do sistema B, separando-se o sistema numa porção situada a nordeste e outra a sudoeste da área. Na porção nordeste da área, já nos limites do Estado do Rio de Janeiro, onde localiza-se a falha de Além Paraíba, percebe-se um pequeno feixe de lineamentos com direção aproximada N70E, um tanto tortuosos, que se perdem sob os lineamentos do sistema B, na região da Serra dos Órgãos com características de arrasto por transcorrência. Na porção sudoeste da área, na região das falhas de Bairro Alto e Cubatão, os lineamentos do sistema A formam pequenos feixes com direção aproximada N70E, que se perdem igualmente ao encontrarem os lineamentos do sistema B, exibindo feições de deslocamento sinistral (ver Figuras 3.8 e 4.2).

Ambos sistemas de lineamentos, A e B, são posteriormente deslocados por transcorrência dextral dos lineamentos do sistema C, a eles sobreposto.

O sistema de lineamentos denominado B é representado na Figura 4.3 e Apêndice B deste trabalho. Constitui-se de lineamentos longos, contínuos e bem visíveis, marcados por vales rasos e abertos, com direção em torno de N20E. Os lineamentos do sistema se concentram ao longo de um feixe bem marcado próximo à linha do litoral passando pe

los Estados do Rio de Janeiro e São Paulo; outro feixe menos pronunciado existe à NW da área, entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais, na região da falha do Paioí Grande. Além dos lineamentos concentrados em feixes, existe uma profusão de outros lineamentos distribuídos pela área com a mesma direção N20E e igualmente atribuídos ao sistema B.

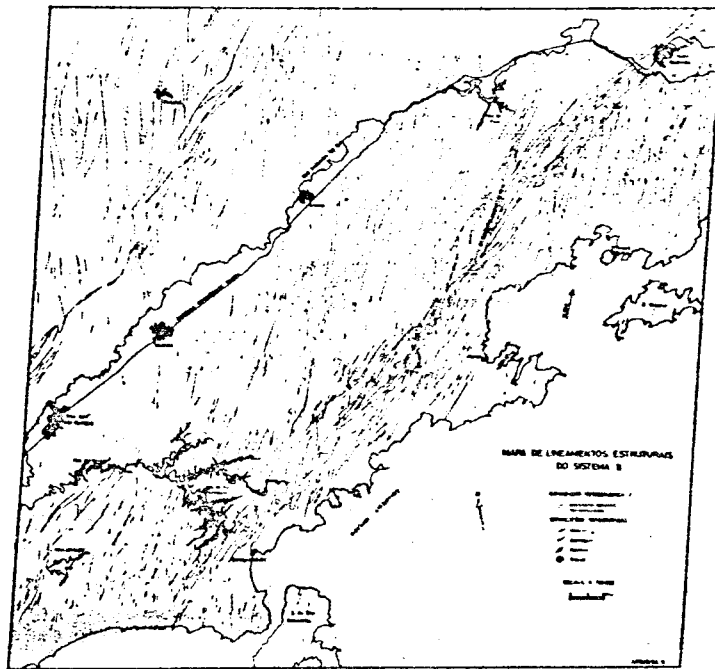


Fig. 4.3 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema B.

O feixe de lineamentos do sistema B que corre nas proximidades do litoral, apresenta um entrelaçamento característico que chega a lembrar o que Badgley (1965) chamou de zonas de falhas transcorrentes trançadas, resultado da convergência e divergência de blocos em zonas de tensão e compressão.

Os feixes de lineamentos do sistema B apresentam uma componente horizontal de rejeito sinistral, acusada principalmente pela atual distribuição dos lineamentos do sistema A.

Posteriormente, os feixes de lineamentos dos sistemas A e B sofrem grandes deslocamentos destrais, causados por movimentos de rejeito horizontal nos lineamentos do sistema C. Este último, com sua transcorrência destal na direção N70E, modifica sobremaneira, a direção preferencial dos feixes de lineamentos do sistema B.

Também pertinentes ao sistema B, existem lineamentos que não estão agrupados em feixes, mas distribuídos de maneira mais ou menos homogênea pela área. Esses lineamentos apresentam-se de maneira geral, levemente curvos, como que sob a ação de um binário de forças com movimentos destrais que teria agido na direção do feixe de lineamentos do sistema C (N70E). Apesar do traçado um tanto curvo, observado principalmente nos lineamentos mais longos, estes conservam a direção preferencial do sistema, em torno de N20E (Figura 4.3).

O sistema de lineamentos denominado C (Figura 4.4 e Apêndice C) constitui-se dos lineamentos mais evidentes de toda a imagem, configurando-lhe feições marcantes de direção N70E. Os lineamentos do sistema apresentam-se distribuídos regularmente pela área, sempre com extrema retilinearidade. Bordejando a costa atlântica, concentram-se em um extenso feixe de lineamentos que atravessa todo o Vale do Paraíba no Estado de São Paulo e adentra o Estado do Rio de Janeiro com direção N70E. Esse feixe constitui a chamada zona de cisalhamentos São Paulo (Hasui et alii, 1982), onde se localiza principalmente a falha de Taxaquara (ver Figura 3.8).

Os lineamentos do sistema C são longos e bem definidos; topograficamente são expressos por cristas e vales muito alinhados e bastante persistentes através de diferentes litologias e zonas geomorfológicas. Na zona geomorfológica do Planalto do Paraitinga, particularmente, a drenagem é extremamente encaixada nos vales alinhados segundo a direção do sistema.

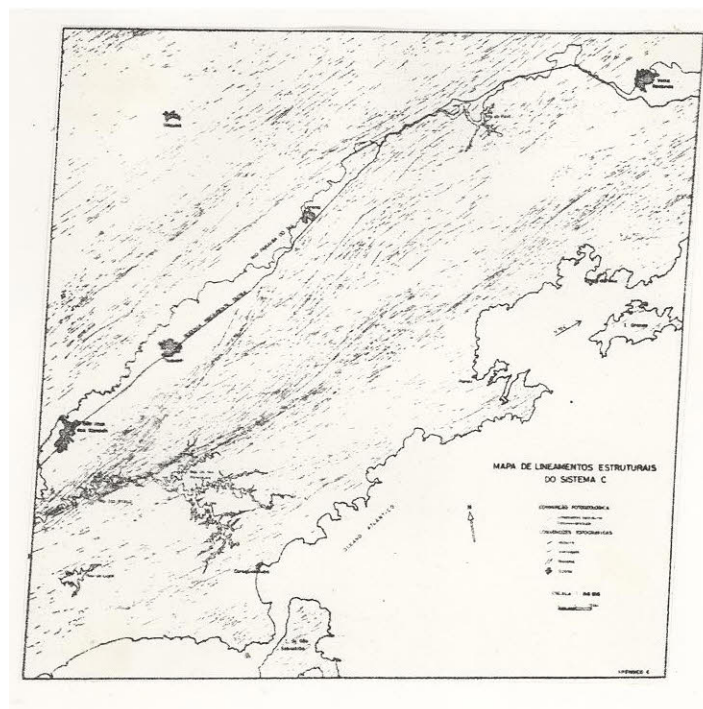


Fig. 4.4 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema C.

O principal feixe de lineamentos do sistema C subdivide-se ao norte da represa de Paraibuna, onde localiza-se a falha do Alto da Fartura, dando origem a um novo feixe que faz ângulo de aproximadamente 20° com a direção principal do sistema.

Conforme exposto anteriormente, o feixe de lineamentos do sistema C que constitui a zona de cisalhamentos São Paulo, apresenta feições de deslocamentos horizontais com rejeito destrai. Desloca assim, os lineamentos do sistema B de maneira geral, deslocamento este especialmente visível nos seus feixes de lineamentos. Por conseguinte, desloca igualmente os lineamentos do sistema A (Figura 4.2).

Apesar dos sistemas A e C apresentarem aproximadamente a mesma direção, eles têm sua diferenciação baseada em cuidadosa análise de diversas imagens de sensores remotos, uma vez que observações de campo detalhadas não foram possíveis por fugirem do escopo deste trabalho.

A principal característica diagnóstica entre os sistemas A e C é que os lineamentos do sistema A não apresentam a mesma continuidade e retilinearidade que têm os do sistema C, por serem estes últimos mais novos. Além disso, apresentam pequenas diferenças em suas direções quando analisados num contexto de feixes de lineamentos. Com relação ao sistema C percebe-se que um feixe de lineamentos com direção E-NE atravessa toda a imagem com extrema retilinearidade e persistência, sobrepondo-se aos outros trends existentes. Um outro feixe de lineamentos, o sistema A, um pouco mais ao norte em relação ao primeiro, vem através do Estado do Rio de Janeiro com a mesma direção N70E e, na altura da Serra dos Órgãos, parece vergar-se ligeiramente para sul, perdendo-se entre os lineamentos dos sistemas B e C que aí se cruzam (Figura 4.2).

Intrincadas sobreposições de estruturas têm lugar nas proximidades da Serra dos Órgãos, entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, onde se interceptam os três feixes de lineamentos acima descritos. Configura-se aí, uma região bastante conturbada estruturalmente, mas infelizmente, ainda pouco estudada, talvez pela dificuldade de acesso.

Os sistemas de lineamentos B e C, gerados a partir de eventos pré-cambrianos, apresentaram no Meso-Cenozóico, uma discreta reativação. Neste período a chamada reativação Wealdeniana, responsável pela abertura do Atlântico Sul, imprimiu a essas fraturas pré-existentes, movimentos de caráter predominantemente vertical, assunto do qual se falará ainda a seguir.

Os sistemas de lineamentos denominados D, E, F e G de acordo com a interpretação realizada, são associados neste trabalho à tectônica meso-cenozóica.

Os lineamentos desses quatro sistemas caracterizam-se por sua distribuição mais ou menos homogênea por toda a área, tendo cada sistema, variações próprias no padrão de distribuição, comprimento relativo, grau de expressão e espaçamento de seus lineamentos. Não ocorre aqui, a concentração em feixes, característica dos sistemas de lineamentos A, B e C, anteriormente descritos.

Os sistemas de lineamentos D, E, F e G possuem lineamentos extremamente retilíneos e, via de regra, estão presentes nos sedimentos das bacias sedimentares da região, não deixando dúvidas quanto a sua origem vinculada à tectônica meso-cenozóica.

Os lineamentos do sistema D, com direção N80W, compõem alinhamentos bem definidos por grandes extensões. São representados por cristas e principalmente vales alongados. Seus traços são longos, com boa continuidade junto à costa e na região da Serra dos Órgãos, tornando-se mais sutis e representados por pequenos segmentos de vales alinhados à medida em que adentram no continente. Sua distribuição é relativamente homogênea por toda a área, inclusive nos sedimentos da bacia sedimentar de Taubaté. Percebe-se pelas imagens, notadamente nas SLAR, que os lineamentos desse sistema possuem uma componente de rejeito horizontal que desloca destalmente os lineamentos dos sistemas B, E e G. (Figura 4.5 e Apêndice E).

O sistema de lineamentos denominado E tem direção aproximada N20W e apresenta grande variação na direção média de seus componentes. É caracterizado por lineamentos curtos, expressos por vales rasos e amplos, bastante visíveis, mas que não definem grandes alinhamentos. Seus lineamentos deslocam sinistralmente os lineamentos do sistema B, afetam os sedimentos da bacia de Taubaté e ainda são deslocados destalmente pelos lineamentos do sistema C, este último obviamente agindo aqui sob regime de reativação. Os lineamentos do sistema E são apresentados na Figura 4.6 e Apêndice F.

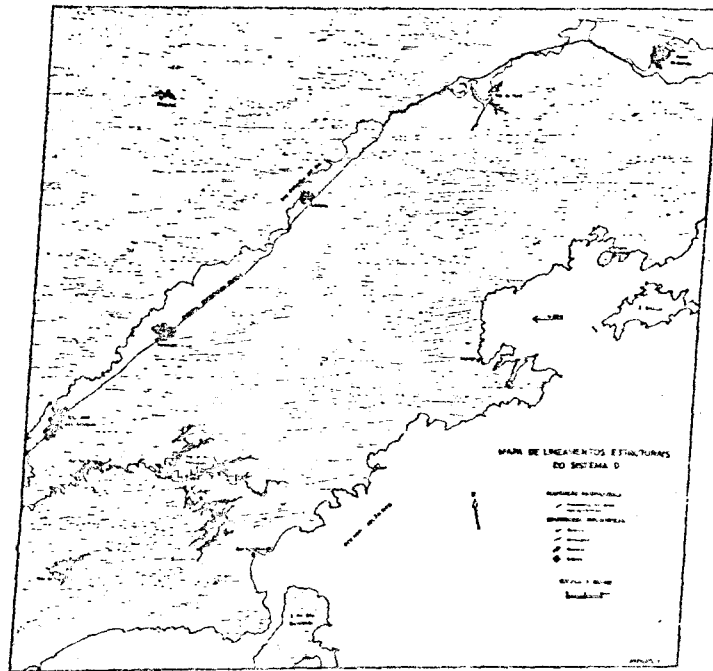
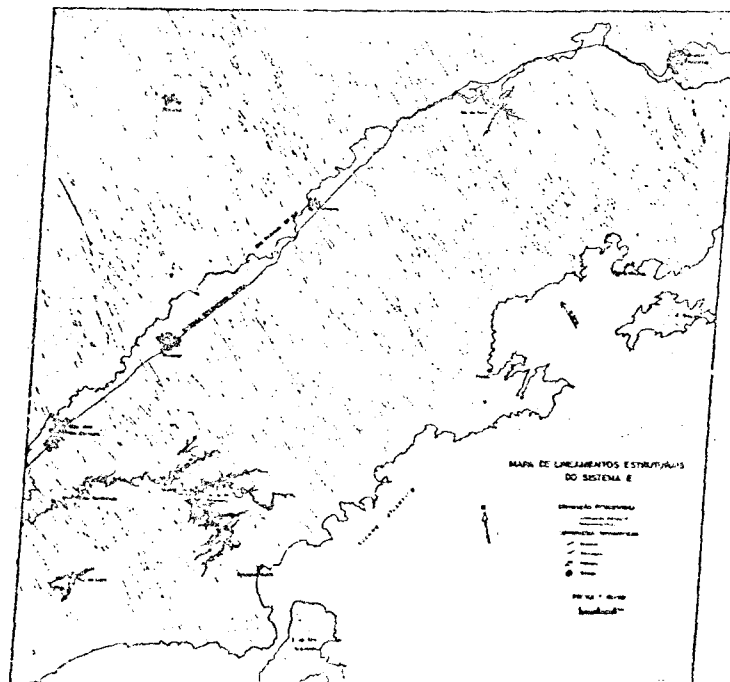


Fig. 4.5 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema D.



O sistema de lineamentos F tem direção aproximada N60W, com lineamentos curtos, regularmente distribuídos e com baixa densidade, dados pelo alinhamento de vales alongados e colinas suaves. Não foram encontradas evidências que pudessem estabelecer sua posição na cronologia relativa entre os sistemas estudados. Os lineamentos do sistema F afetam os sedimentos da bacia de Taubaté. A inflexão do eixo da bacia de Resende com relação à de Taubaté e a morfologia da linha de costa sugerem um deslocamento dextral para esse sistema (Melo, 1984). O mapa de lineamentos estruturais do sistema F é apresentado na Figura 4.7 e Apêndice G.

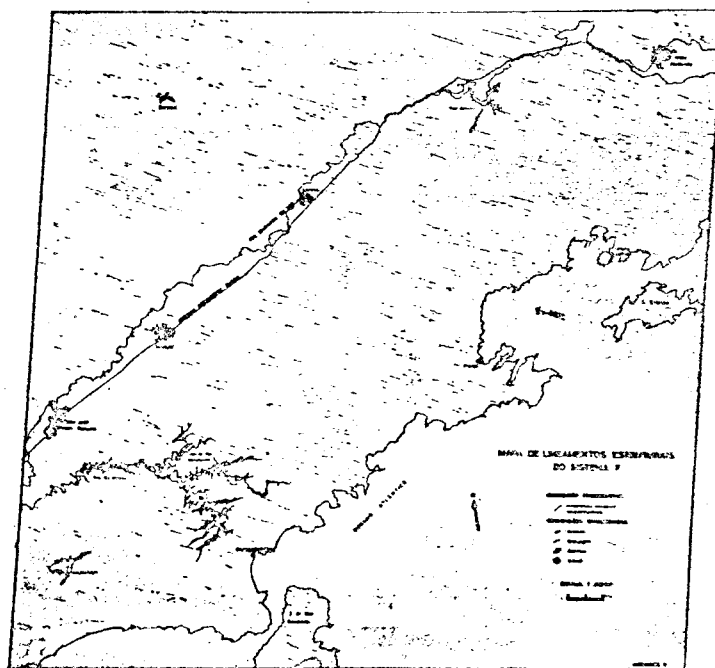


Fig. 4.7 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema F.

O sistema de lineamentos denominado G compõe-se de lineamentos relativamente longos, muito evidentes e bem distribuídos em toda a área com direção aproximada N50W. É caracterizado pelo alinhamento geral das pequenas feições do relevo, segmentos de vales ou lineamentos tonais em áreas de relevo arrasado, onde a drenagem é muito encaixada, ou

ainda, caracteriza-se por grandes sulcos na Serra da Mantiqueira e na Serra do Mar (Figura 4.8 e Apêndice H). Não foram encontradas evidências de componente horizontal de deslocamento. Não obstante, os lineamentos do sistema G são deslocados destralmente pelo sistema D e também afetam os sedimentos da bacia de Taubaté.

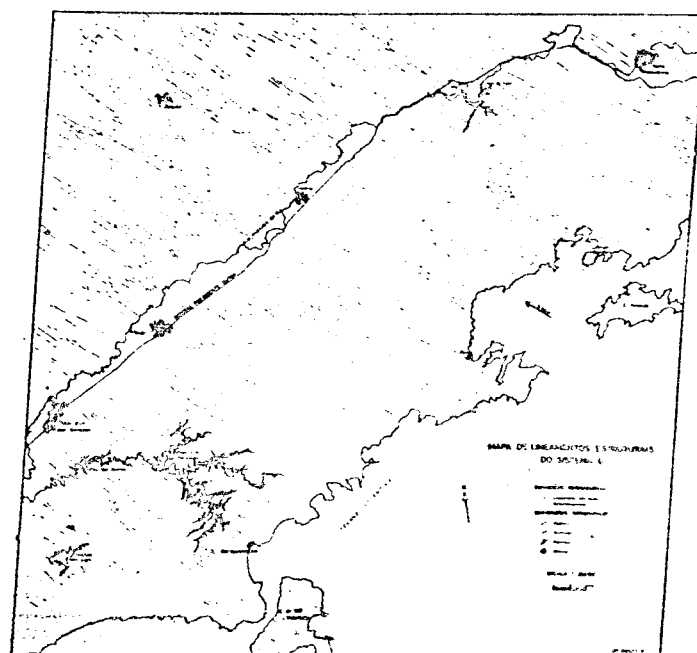


Fig. 4.8 - Mapa de lineamentos estruturais do sistema G.

Os sistemas D, E, F e G apresentam condicionamento mútuo entre seus traços estruturais, sendo que os lineamentos de cada sistema concentram-se exatamente onde existem "espaços vazios" deixados pelos outros.

Do exposto a respeito das relações verificadas entre os sistemas de lineamentos associados à tectônica meso-cenozóica, depreende-se que o sistema D é posterior ou concomitante aos sistemas E e G e que houve uma reativação dos lineamentos do sistema C afetando o sistema E; portanto, também esta reativação é posterior a E.

CAPÍTULO 5

CORRELAÇÃO ENTRE LINEAMENTOS E DADOS DE CAMPO

A grande maioria dos autores considera que os lineamentos revelados por imageamentos de grande altitude, por serem muito extensos têm seus cursos representados por vales tão amplos que as escalas ordinárias de observação tornam-se, às vezes, muito detalhistas para detectá-los.

Em regiões de rochas cristalinas os lineamentos são extremamente abundantes, mas a intemperização profunda das rochas e o preenchimento dos vales por depósitos aluvionares contribuem para mascarar as suas evidências no campo.

Também os trends estruturais regionais podem sofrer inflexões tão localizadas que sô poderiam ser examinadas em escalas de observação a nível de afloramento, ou ainda, podem sofrer variações de escala tão regional que somente poderiam ser examinadas sob escalas compatíveis com as imagens orbitais. Com esta concepção, certamente diversas direções estruturais em escala de afloramento não serão totalmente concordantes com as mapeadas nas imagens.

Tem-se ainda que a frequência de afloramentos com boas exposições é quase sempre baixa e esses distribuem-se, às vezes, de forma não muito conveniente, dificultando a relação entre os dados de campo e de imagens de sensores remotos.

A aquisição de dados de campo neste trabalho foi feita de modo a escolher dentre as várias estruturas visíveis no afloramento, aquelas que mais diretamente influem no desenvolvimento das formas topográficas, pois apenas esses dados podem permitir uma boa correspondência com os lineamentos topográficos.

As estruturas consideradas foram as juntas, que quase sempre controlam declives agudos nas regiões montanhosas e a foliação que muitas vezes é concordante com formas alongadas de relevo e cursos retos de rios (Liu, 1984).

Afloramentos de falhas e zonas miloníticas foram considerados à medida que relacionados com algum sistema de juntas ou à foliação metamórfica regional. Dobras em escala mapeável não foram consideradas porque necessitariam para sua definição, de mapeamento litológico e medidas de detalhe que fogem ao objetivo deste trabalho. Quando encontradas, foram tomadas também, medidas de lineações minerais.

Os dados de campo foram tomados em sete perfis de modo a cobrir toda a área (Figura 5.1):

- 1) São José dos Campos - Caraguatatuba
- 2) Taubaté - Ubatuba
- 3) Aparecida - Parati
- 4) Barra Mansa - BR-101
- 5) Parati - Angra dos Reis
- 6) Taubaté - Paraisópolis
- 7) Lorena - Itajubá

As medidas estruturais tomadas em campo e o mapa de pontos encontram-se respectivamente nos Apêndices I e J.

De maneira geral, constatou-se nas observações de campo o seguinte:

- a foliação cataclástica é generalizada paralelamente à principal direção de cisalhamento da região, ou seja, aproximadamente N70E. O cisalhamento em muitas vezes é concentrado em estreitas faixas, originando zonas miloníticas na mesma direção, inclusive com recristalização de minerais com seu eixo maior paralelo à xistosidade.

dade. Tal direção de cisalhamento corresponde, na fotointerpretação, ao sistema de lineamentos C, onde se encontram lineamentos devidos a juntas, falhas e foliação metamórfica, principalmente.

- várias lineações minerais sub-horizontais foram encontradas na direção deste cisalhamento, indicando movimentos horizontais a sub-horizontais sob regime de transcorrência.
- a foliação no campo varia bastante de um afloramento a outro, não obstante seja bem constante nas imagens orbitais, visto a diferença de escalas existente.

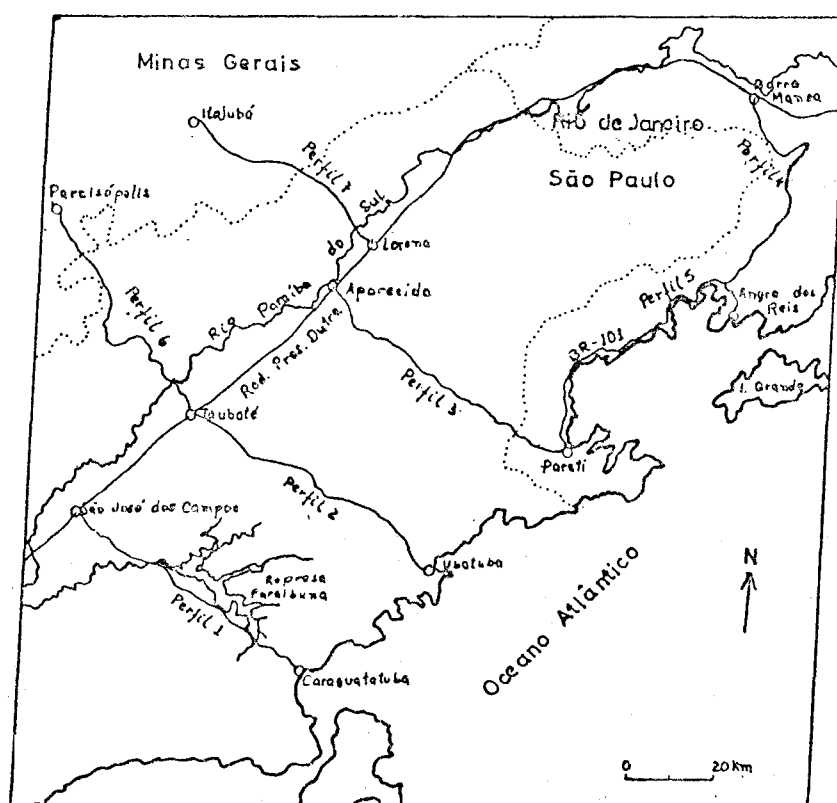


Fig. 5.1 - Perfis percorridos no campo.

As medidas estruturais de juntas foram projetadas em diagramas do tipo equiareal de Schmidt e tratadas estatisticamente no diagrama de contagem de Kalsbeck. Verificou-se a existência de sete sis

temas de juntas correspondentes aos sistemas de lineamentos encontrados com a fotointerpretação, apresentando apenas diferenças de poucos graus quanto às suas direções preferenciais.

Seguem-se os diagramas de juntas para cada perfil realizado (Figuras 5.2 a 5.8), onde considerou-se como indicação de um sistema de juntas, apenas aglomerados significativos de pontos, desprezando-se as baixas concentrações.

Na Figura 5.9, apresenta-se o diagrama de foliações da área, no qual verificam-se valores na direção NE, com caimentos tanto para SE como para NW.

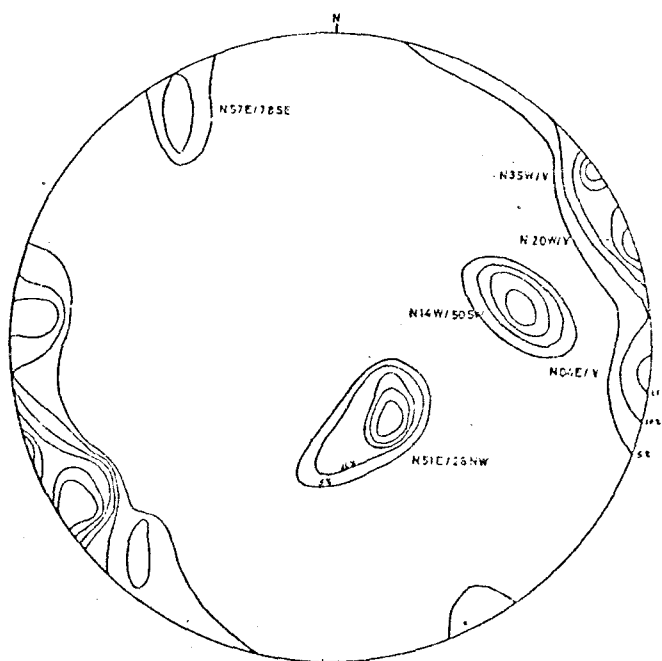


Fig. 5.2 - Diagrama de juntas (329 medidas).
Perfil 1: São José dos Campos - Caraguatatuba

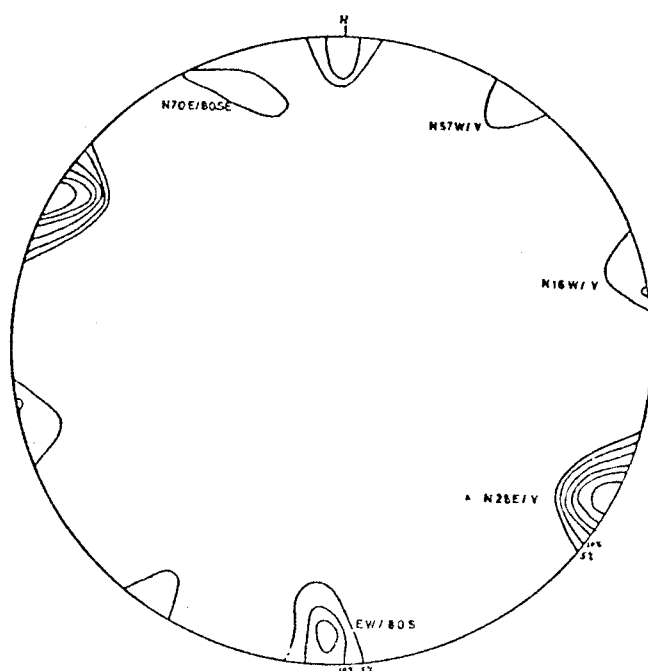


Fig. 5.3 - Diagrama de juntas (221 medidas).
Perfil 2: Taubaté - Ubatuba.

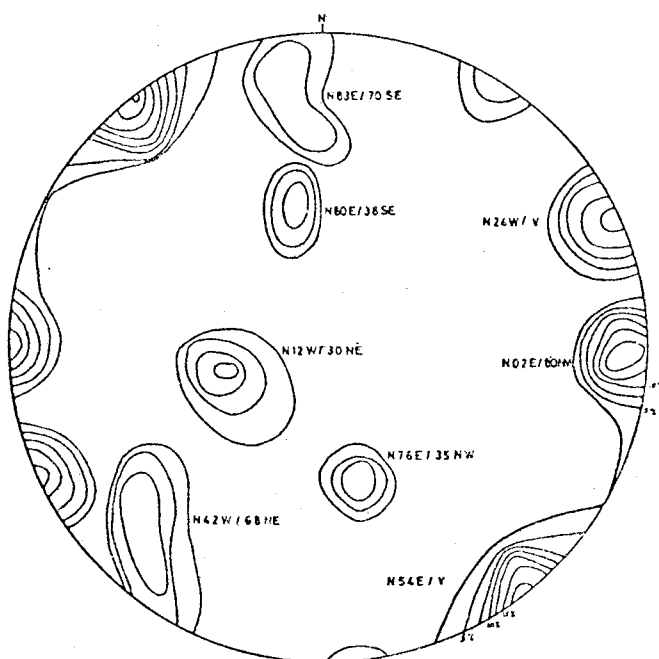


Fig. 5.4 - Diagrama de juntas (459 medidas).
Perfil 3: Aparecida - Parati.

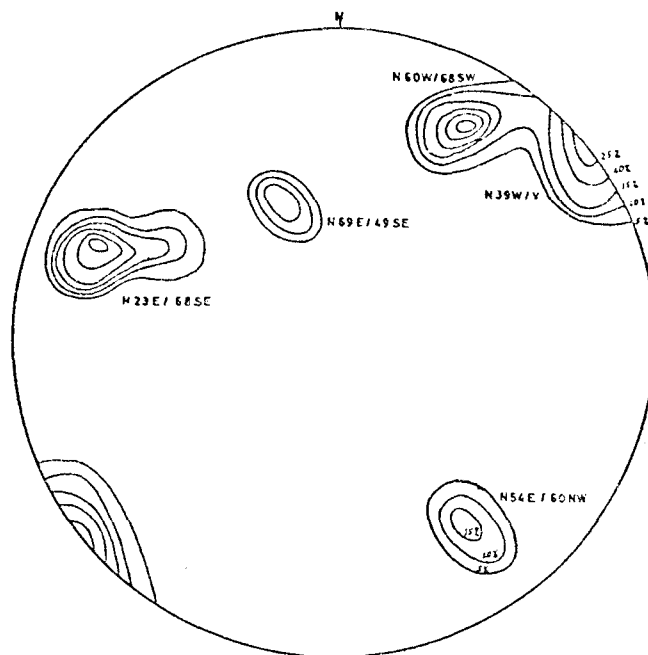


Fig. 5.5 - Diagrama de juntas (109 medidas).
Perfil 4: Barra Mansa - BR-101.

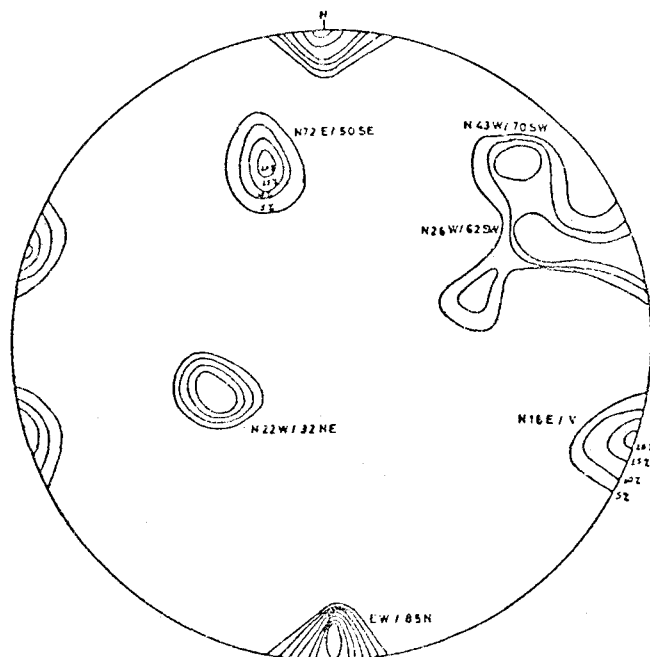


Fig. 5.6 - Diagrama de juntas (175 medidas).
Perfil 5: Parati - Angra dos Reis.

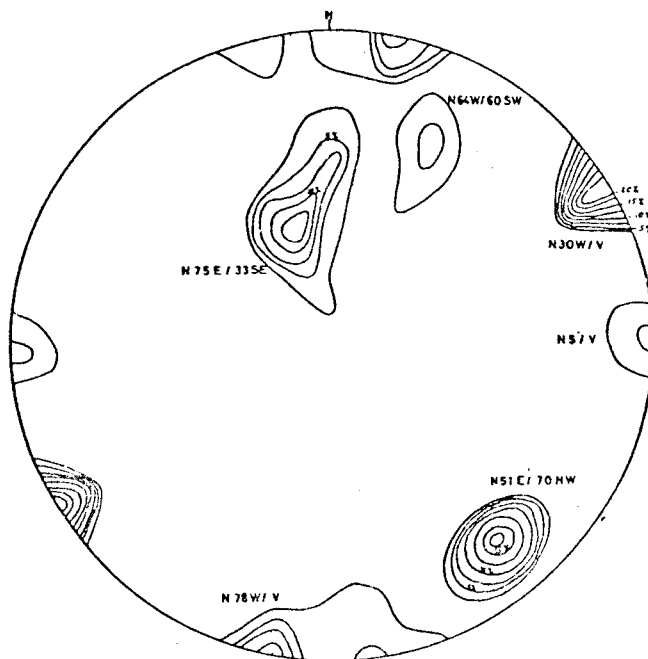


Fig. 5.7 - Diagrama de juntas (276 medidas).
Perfil 6: Taubaté - Paraisópolis.

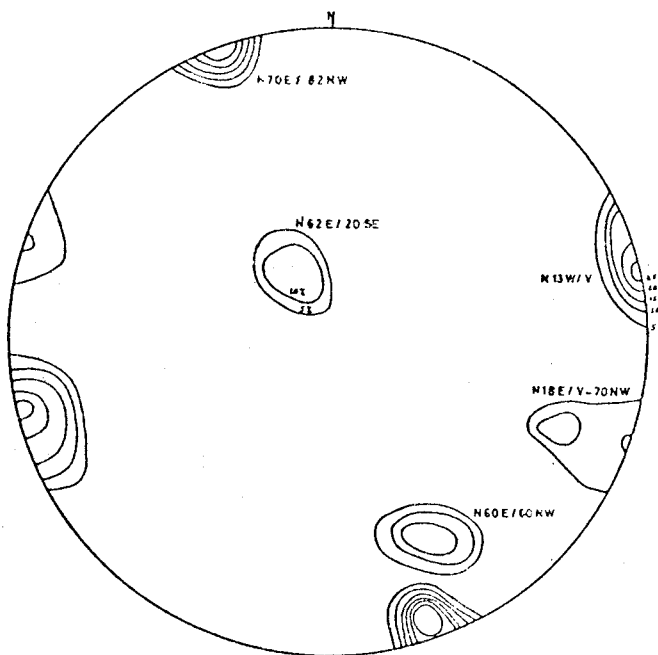


Fig. 5.8 - Diagrama de juntas (202 medidas).
Perfil 7: Lorena - Itajubá.

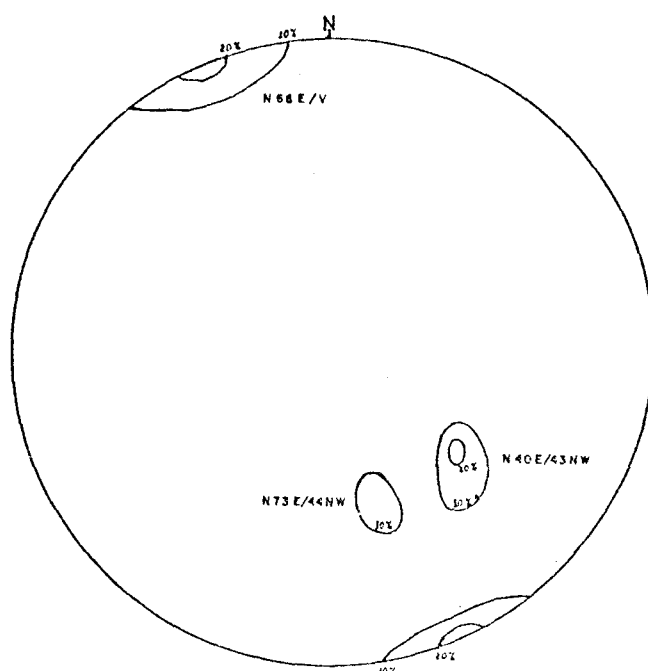


Fig. 5.9 - Diagrama de foliações (112 medidas).

Para maior facilidade de visualização, os sistemas de juntas representados em cada diagrama são sintetizados na Tabela 5.1, juntamente com os sistemas de juntas fotointerpretados a que correspondem.

TABELA 5.1

SISTEMAS DE JUNTAS OBTIDOS ATRAVÉS DE DADOS DE CAMPO E FOTOINTERPRETAÇÃO

SISTEMAS DE JUNTAS	DIREÇÕES FOTOINTERPRETADAS	DIREÇÕES OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DE CAMPO						
		PERFIL 1 SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-CARÁ GUATATUBA	PERFIL 2 TAUBATÉ - UBATUBA	PERFIL 3 APARECIDA- PARATI	PERFIL 4 BARRA MANGA -ER-101	PERFIL 5 PARATI-AN GRA DOS REIS	PERFIL 6 TAUBATÉ- PARAÍSOPO LTS	PERFIL 7 LORENA- ITAUBA
A - C	N70E/V	N57E/78SE	N70E/80SE	N83E/70SE	-	-	-	N70E/62NW
B	N20E/V	N17E/53SE	N28E/V	-	N23E/68SE	N18E/V	-	N18E/80NW
D	N80W/V	-	EW/80N	-	-	EW/85N	N78W/V	-
E	N20W/V	N20W/V	N16W/V	N24W/V	-	-	N30W/V	N15W/V
F	N60W/V	-	N57W/V	-	N60W/68SW	-	N64W/50SW	-
G	N50W/V	N35W/V	-	N42W/68NE	N39W/V	N35W/60SW	-	-
Sistema de juntas in- clinadas	-	N51E/26NW	-	N76E/35NW	-	-	-	-

Com relação ao sistema C, tem-se a dizer que os lineamentos expressos na topografia e possíveis de serem traçados ao longo de depressões e elevações retilíneas, são realces de uma erosão litológica dentro e ao longo de rochas extremamente cisalhadas para as quais a xistosidade, as bandas composicionais e as fraturas paralelas à foliação exercem um importante controle.

Essas faixas nas quais os lineamentos se concentram densamente, são a representação topográfica de uma zona de cisalhamentos. Não obstante, este cisalhamento é também distribuído por toda a área, tornando-se mais aparente nos diagramas de juntas correspondentes aos perfis que atravessam as principais zonas de cisalhamento, como nos casos dos perfis São José dos Campos-Caragatatuba, Taubaté-Ubatuba e Aparecida-Parati..

Os lineamentos distribuídos pela área, que apresentam a mesma direção de feixes de lineamentos, representam pequenas fraturas, foliações cataclásticas e clivagens relacionadas ao mesmo evento que gerou a zona de cisalhamento correspondente.

Ao norte da represa de Paraibuna (Figura 4.4) ocorre um desvio na direção da faixa principal de cisalhamento com direção aproximada de N50E/V, perfeitamente identificável na fotointerpretação e nos dados de campo.

Os sistemas B, E, F e G são bem representados nos diagramas de juntas dos diversos perfis realizados. O sistema de lineamentos fotointerpretado D, apresenta boa correspondência nos diagramas de juntas, porém aqui com direção EW/V.

Aparecem em alguns perfis um sistema de juntas na direção NS/V mal individualizado. Tal direção não se identifica na fotointerpretação como um sistema, mas sim como variações de direção dos sistemas vizinhos, principalmente o sistema B. Essa direção é ainda parti

cularmente interessante no que diz respeito ao realce topográfico, constituindo em afloramento, enormes paredões de rochas talhadas verticalmente.

Também verificou-se em campo a existência de juntas de baixo mergulho que aparecem nos diagramas com direção N75E/35SE. Nos perfis, várias outras atitudes foram apontadas em baixas concentrações. Tal sistema não foi detectado na fotointerpretação por sua não verticalidade e pela coincidência de direção com o principal sistema de lineamentos da área.

As juntas de distensão encontradas em campo, preenchidas geralmente com material quartzo-feldspático, não caracterizaram uma única direção de modo a associarem-se a um único sistema.

As medidas de foliação metamórfica, embora tenham sido tomadas em número relativamente pequeno, indicam via de regra direções E-NE com mergulhos variáveis.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 - INTRODUÇÃO

A interpretação tectônica de lineamentos estruturais, segundo Gold (1980), atualmente é baseada na similaridade estrutural com terrenos bem conhecidos, ou feita por analogia com modelos conceituais baseados em teorias tectônicas.

Extrapolações da geometria tridimensional das formas estruturais a partir da análise com base em dados bidimensionais de sensoriamento remoto podem ser feitas, porém, a análise da dinâmica de grandes feições estruturais e tectônicas é controvertida e especulativa (Liu, 1984).

Assim, em termos de cartografia, pode-se reproduzir a geometria estrutural de uma área; em termos de entendimento, pode-se saber quais foram os movimentos tectônicos ocorridos, recompondo-se sua cinemática; porém, a interpretação dinâmica na qual se deseja saber quais foram as forças que agiram sobre a região, continua sendo especulativa.

6.2 - GEOMETRIA DAS ZONAS DE RUPTURA

Segundo Billings (1954), "rupturas nas rochas da crosta terrestre estão envolvidas na formação de juntas, falhas e algumas variedades de clivagem. Todas as rupturas podem ser classificadas como fraturas de tração ou fraturas de cisalhamento. As fraturas de tração podem resultar não apenas de tração, mas também da ação de um binário e até de compressão. Fraturas de cisalhamento podem se desenvolver não apenas sob compressão, mas também a partir de um binário ou de tração".

A fratura é, pois, uma deformação causada por esforços de compressão, tração ou cisalhamento (Liu, 1984).

Ramsay (1980) considera que a componente básica em praticamente todas as zonas de cisalhamento é o cisalhamento heterogêneo simples, gerado pela ação de esforço de um binário de forças.

Um fator muito importante no tipo de estrutura gerada por um sistema de esforços é a profundidade da massa rochosa. Diversos pesquisadores tiveram a oportunidade de demonstrar o efeito da pressão confinante, temperatura, pressão de poros, velocidade de aplicação de esforços, soluções de fluidos agressivos, tempo, etc na ductibilidade das rochas (Badgley, 1965; Hobbs et alii, 1976).

No entanto, de forma relativamente empírica, o conceito de níveis estruturais propostos por Mattauer (in Badgley, 1965) envolve um aumento da ductibilidade aproximadamente homogêneo com a profundidade, resultando em diferentes tipos de deformação (Figura 6.1)

O conceito de níveis estruturais e tipos de estruturas geradas é imprescindível no reconhecimento de sistemas de lineamentos gerados em diferentes condições, bem como sua separação no tempo, quando são usadas técnicas de sensoriamento remoto.

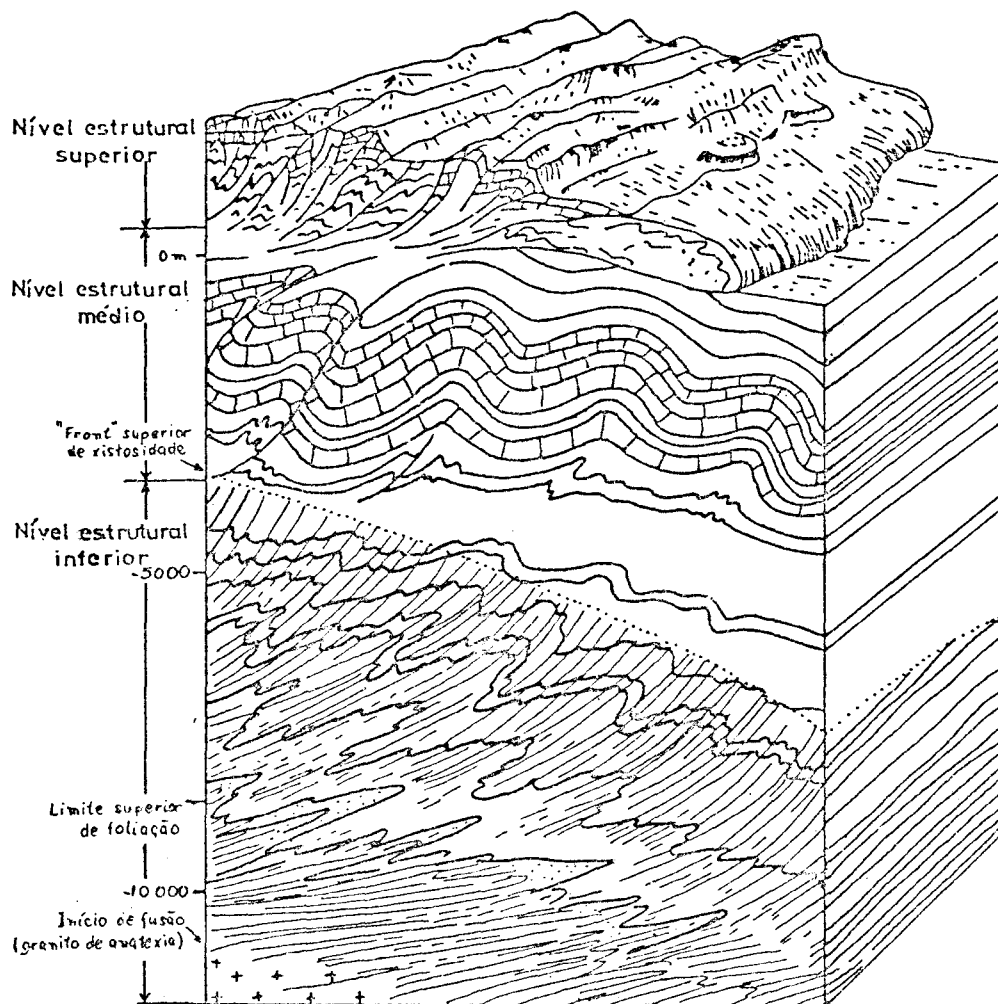


Fig. 6.1 - Estilos de deformação dos níveis estruturais de Mattauer.
FONTE: Sadowski (1983), p. 12.

Com relação ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, deve-se entender que são válidos aqui, todos os conceitos e teorias aplicados em escala microscópica ou de afloramento.

Ilustrando tal fato, Tchalenko (1970) desenvolveu um experimento onde analisou o desenvolvimento de zonas de cisalhamento em escala microscópica em cristais cisalhados, em escala intermediária com

modelos de argila em laboratório, e em escala regional analisando fraturas ligadas a terremotos, demonstrando resultados similares para a aplicação do modelo de cisalhamento de Riedel em todas as escalas. Tchalenko (1970) analisou ainda, separadamente, as estruturas formadas no pico da deformação (Figura 6.2), as estruturas de pós-pico (Figura 6.3) e as estruturas residuais (Figura 6.4), mostrando assim a sua progressividade.

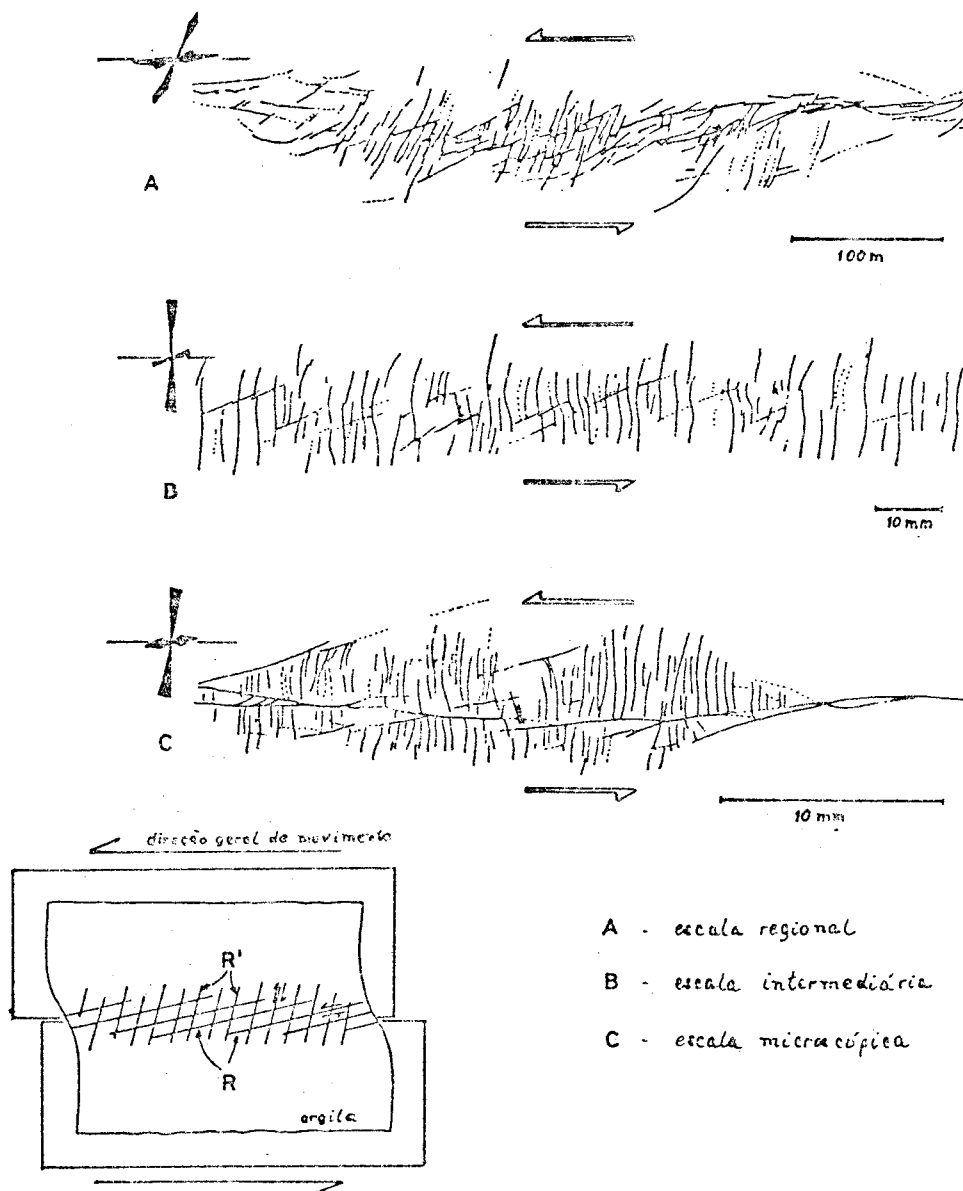


Fig. 6.2 - Comparação entre estruturas de pico em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes.

FONTE: Tchalenko (1970), p. 1626 e p. 1635.

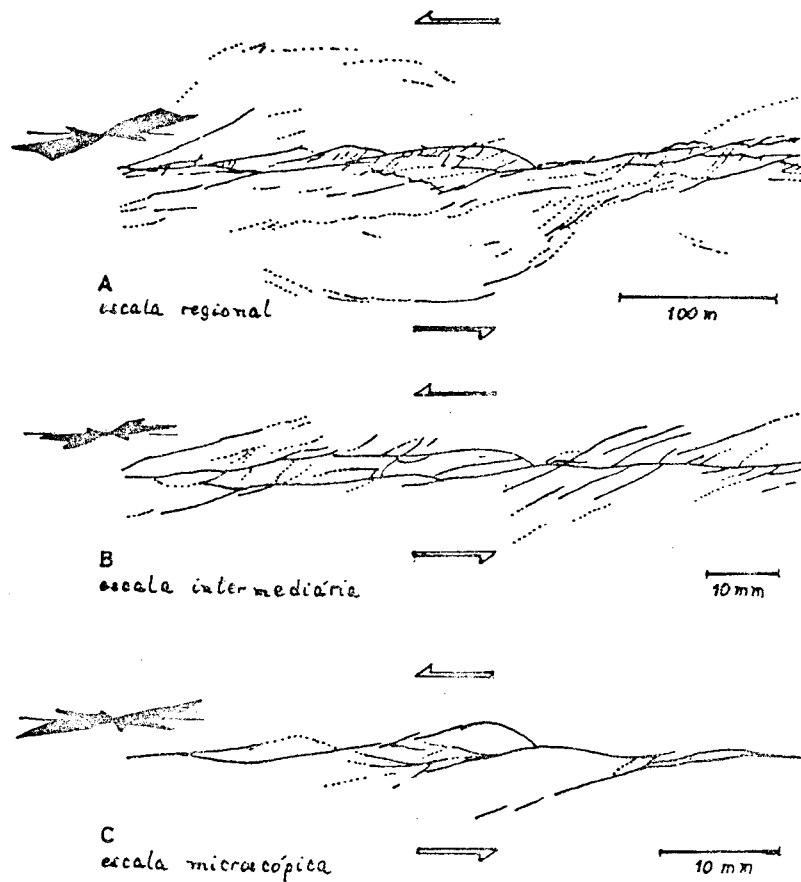


Fig. 6.3 - Comparação entre as estruturas de p̄o pico em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes.

FONTE: Tchalenko (1970), p. 1636.

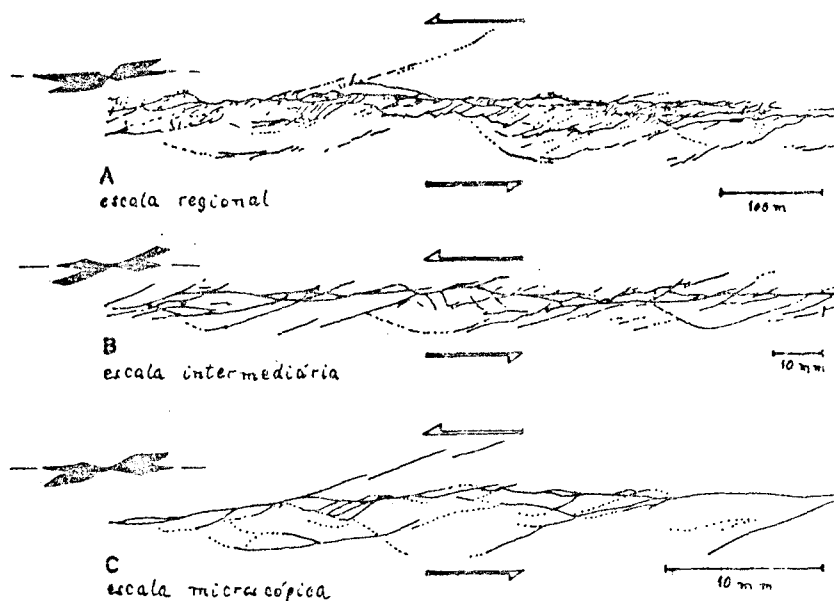


Fig. 6.4 - Comparação entre as estruturas residuais em zonas de cisalhamento de diferentes magnitudes.

FONTE: Tchalenko (1970), p. 1637.

O modelo de cisalhamento a que se refere Tchalenko (1970) é aquele estabelecido por Riedel.

Riedel em 1929 (in Sadowski, 1983) definiu de forma extremamente básica para uma zona de cisalhamentos, quatro famílias de fraturas secundárias que se desenvolveriam em função dos esforços de compressão e tração associados a um binário de forças. Tais fraturas foram designadas T, R, R' e P. A primeira (T) é de tração; R e R' são de cisalhamento sintético e antitético, formando um par conjugado com ângulo entre si de aproximadamente 60° e simétricas em relação a T. P é uma fratura simétrica a R em relação à direção de cisalhamento maior e também sintética.

No caso das falhas transcorrentes, as famílias R e R' são verticais (Wilcox et alii, 1973). As fraturas R apresentam um ângulo de 10° a 30° com a direção principal de cisalhamento enquanto R', 70° a 90° . Essas fraturas conjugadas ora apresentam-se como falhas, ora co

como juntas, ou ambas. O ângulo diedro de R e R' seria de 60° a 70° e seu bissetor seria a direção de máxima compressão.

O quadro geral resultante é o da Figura 6.5.

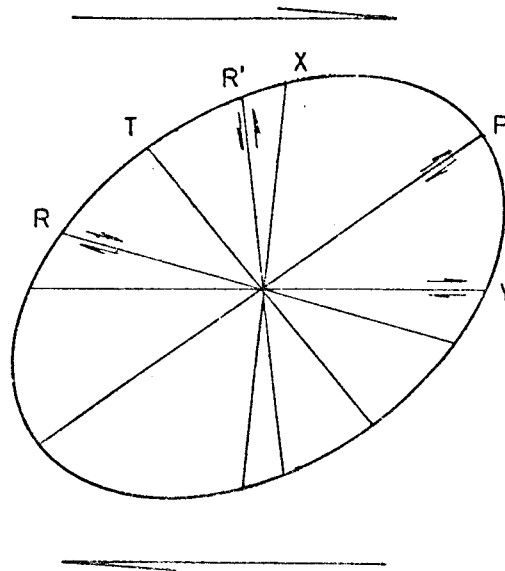


Fig. 6.5 - Modelo estrutural resultante de cisalhamento simples, no caso, produzido por esforços de direção E-W com cisalhamento destrai.

[Modificado de Wilcox et alii (1973), p. 82]

A transcorrência, contudo, também produz rotação interna e externa entre as fraturas e os efeitos de rotação interna devido ao acunhamento e de rotação externa devido ao tensionamento são distintos nas falhas sintéticas e antitéticas, modificando assim, os ângulos entre as fraturas que figuram no modelo proposto (Wilcox et alii, 1973).

Acredita-se que a rotação dos planos de cisalhamento com o aumento do ângulo de conjugação original é a mais provável explicação para as discrepâncias entre as teorias de cisalhamento e de deformações (Badgley, 1965).

Assim, a distribuição das fraturas de Riedel R, R', T e P, embora provadas em laboratório, nem sempre é de fácil distinção no campo, face à progressão dos movimentos e consequente rotação dos planos.

Ainda com relação ao cisalhamento simples, Reading (1980), escreve que ao longo de grandes sistemas de falhas de rejeito é possível haver zonas alternadas em pequena escala de extensão e compressão. Elas contribuem para a curvatura ao longo da falha de rejeito ou para o entrelaçamento de falhas com o sistema de falhas de rejeito (Figura 6.6).

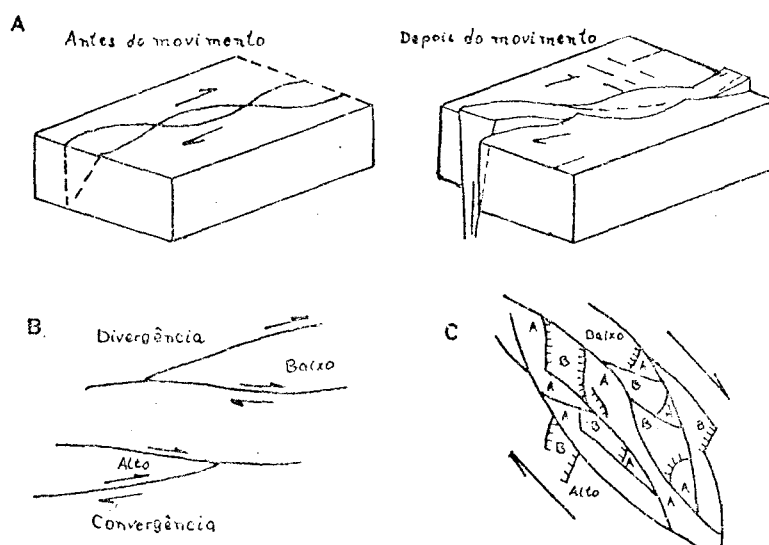


Fig. 6.6 - Tipos de falhas de rejeito produzindo subsidência de bacias em regime de extensão e elevação de blocos em regime de compressão: a) traços curvos de falha; b) modelo de falhas divergentes e convergentes; c) falhas anastomosadas.

FONTE: Reading (1980), p. 12.

As zonas onde ocorrem esse tipo de falhas de rejeito, Badgley (1965) chamou de zonas de falhas transcorrentes em trança, numa alusão ao aspecto trançado que apresentam. O seu desenvolvimento ocorre a partir de um binário de forças, e pode ser visto na Figura 6.7.

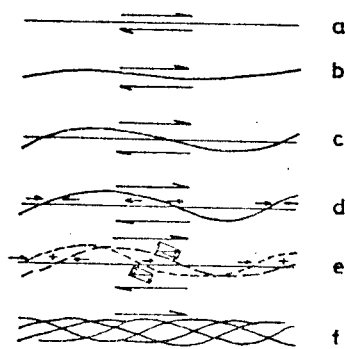


Fig. 6.7 - Desenvolvimento de zona de falha transcorrente trançada.

FONTE: Badgley (1965), p. 429.

6.3 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Com base nas análises fotointerpretativas, observações de campo e nas teorias tectônicas expostas, chega-se a uma evolução cronológica para as estruturas lineares da área, sugerindo-se quando possível, sua correlação com eventos tectônicos conhecidos.

Seguindo a ordem cronológica relativa estabelecida no Capítulo 4 para os sistemas de lineamentos, tem-se que o sistema mais antigo detectado na área é o sistema A. Este é distribuído segundo um feixe de lineamentos muito conturbado por duas transcorrências superimpostas: a do sistema B e do sistema C.

Entre os lineamentos que fazem parte do sistema A na região sudoeste da área, estão as chamadas falhas de Cubatão (em seu sentido primitivo, segundo Almeida, 1953), Bairro Alto, Natividade Camburu.

Na porção nordeste da área, supõe-se aqui que os lineamentos que fazem parte do sistema A, sejam coincidentes com a zona de

lineamentos que inclui o chamado lineamento de Al^{em} Para^{iba} (de Al^{mei} da et alii, 1975; Campanha, 1980 e outros).

O lineamento de Al^{em} Para^{iba} constitui uma faixa de blas^{tomilonitos} com idade transamaz^{ônica}, remobilizados durante o Ciclo Bra^{siliano} segundo Delhal et alii (1969), Cordani et alii (1973) e Campa^{nha} (1980). Isso, de certa forma, coincide com o suposto neste traba^{lho}, ou seja, os lineamentos do sistema A seriam o registro atual de uma fase de grandes transcorrências de um evento tect^{ônico} antigo, que foram remobilizados em eventos mais novos, estes coincidentes com as transcorrências representadas pelos lineamentos do sistema B e mais tarde, do sistema C.

O sistema B é cronologicamente o segundo sistema de li^{neamentos} da área. Suas características sugerem tratar-se de uma zona de cisalhamentos com transcorrência sinistral, como já exposto no Cap^{ít}ulo 4, deslocando os lineamentos do sistema A. Constituem um feixe de lineamentos com características que lembram o que Badgley (1965) cha^{mou} de zona das falhas trançadas (Figuras 6.6 e 6.7) em alusão a linea^{mentos} tortuosos e entrelaçados lembrando cabelos trançados. Em zonas de cisalhamento deste tipo, segundo Wilcox et alii (1973) e Reading (1980), ocorrem regiões alternadas em pequena escala de extensão e com^{pressão} contribuindo para a curvatura ao longo da falha de rejeito.

Com relação ao sistema de lineamentos B, Haralyi et alii (1985) observaram em estudos gravimétricos ao sul do Estado de Minas Gerais, que certas anomalias gravimétricas (chamadas de descontinui^{da} de com espessamento crustal) indicam descontinuidade com faixas adja^{centes} de algum espessamento crustal (Figura 6.8).

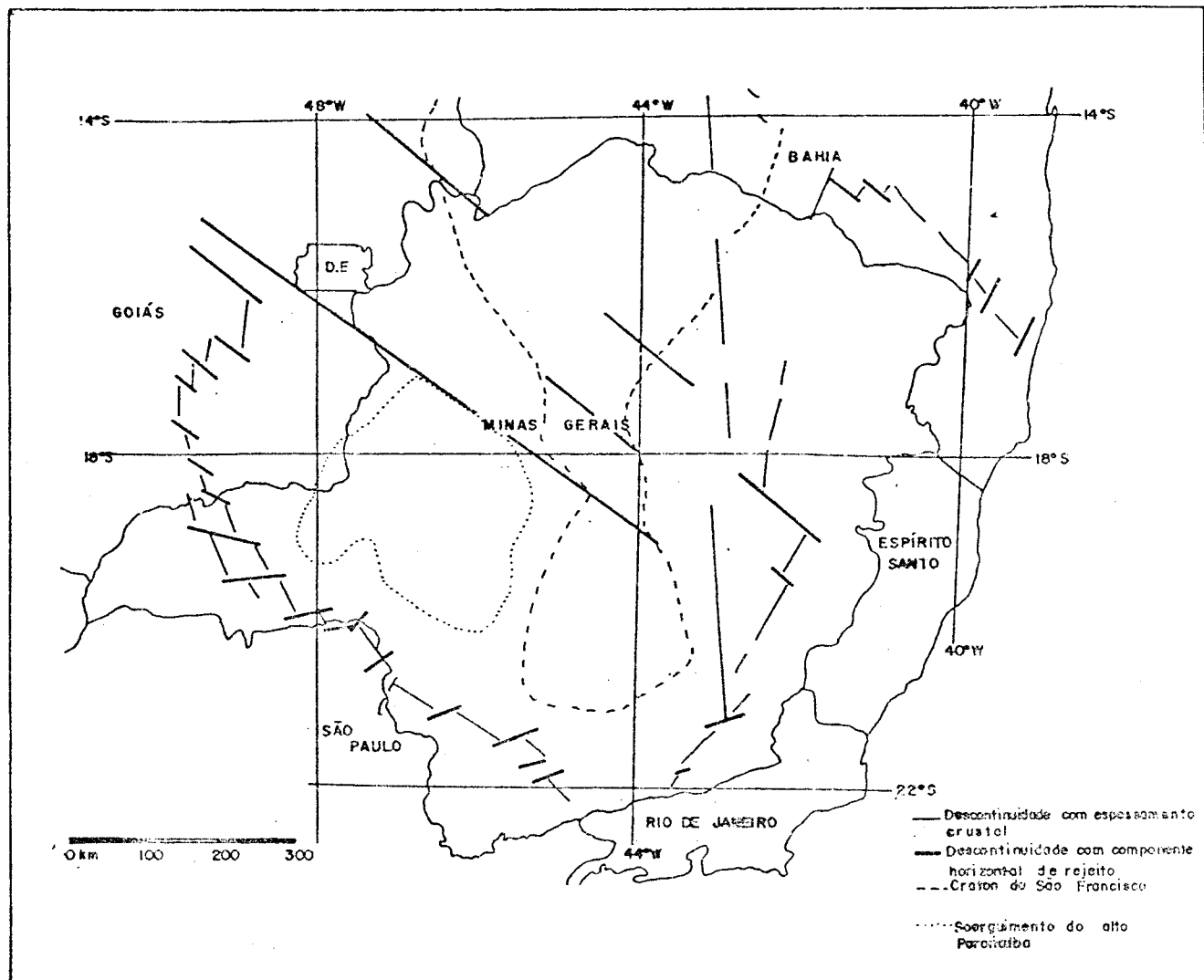


Fig. 6.8 - Grandes estruturas obtidas através de geofísica no Estado de Minas Gerais.

[Modificado de Haralyi (1985), p. 90]

As descontinuidades identificadas por estes autores apresentam direções que combinam muito bem com as apresentadas pelo sistema B, quando se extrapola a sua continuidade para o sudeste do Estado de São Paulo, sugerindo existir aí, uma direção antiga de cisalhamento que não se verifica nos mapas geológicos existentes atualmente.

Ao exposto, vem-se adicionar o fato de recentemente ter-se encontrado lineações minerais com direção NS tidas como do Proterozóico Inferior afetando diversas rochas do sudeste paulista (Hasui, comunicação verbal), o que pode ser relacionado ao mesmo cisalhamento que originou os lineamentos do sistema B.

Assim, sugere-se neste trabalho, que o feixe de lineamentos representado pelo sistema B, constitui uma antiga zona de cisalhamentos, que é atualmente mascarada pela sobreposição do cisalhamento imposto na área pelo sistema C.

Haralyi et alii (1985) também verificaram em seus estudos gravimétricos, a existência de anomalias que representam descontinuidades com componente horizontal de rejeito de direções E-NE (Figura 6.8). Essas anomalias deslocam destralmente as anomalias com espessamento crustal, correlatas ao sistema de lineamentos B. Assim sendo, pode-se relacionar tais anomalias de rejeito horizontal com o sistema de lineamentos C.

Os autores acima citados discutem ainda a idade desses deslocamentos, colocando as anomalias relacionadas ao sistema B como as mais antiga da área, porém posteriores à estruturação crustal arqueana, e as anomalias correlatas ao sistema C como do Proterozóico Inferior, uma vez que não truncam as supracrustais meso/neoproterozóicas.

O sistema de lineamentos C, é o terceiro cronologicamente. Seus lineamentos estão presentes em toda a área, seja distribuídos homogeneamente, seja sob a forma de feixes. O principal desses feixes é o que se estende vizinho à costa, sobre a chamada falha de Taxaquara (Hennies et alii, 1967a; Hasui et alii, 1978a) ou falha de Cubatão (Hasui et alii, 1980).

Tal feixe de lineamentos constitui uma zona de cisalhamentos com movimentos transcorrentes destrais que desloca os feixes de lineamentos anteriormente descritos, pertencentes aos sistemas A e B, provocando ainda, feições sigmoidais nos lineamentos dispersos deste último sistema.

O feixe de lineamentos que se estende sobre a falha de Taxaquara caracteriza-se por sua extrema persistência e retilinearidade. Além disso, suas relações com os sistemas A e B o colocam como sendo o mais novo dos três sistemas de lineamentos que definem zonas de cisalhamentos proterozóicos da área.

Com relação à direção E-NE, pode-se dizer sem dúvida que é uma velha direção de fraqueza do continente sul americano (Almeida, 1967), atestada pela reincidência de eventos aí localizados. A própria existência de dois sistemas de lineamentos, A e C, com mesma direção e sobrepostos em boa parte de sua extensão vem ratificar tal premissa.

O sistema de lineamentos C é o mais evidente da área estudada, conferindo às imagens de sensores remotos da região, uma estrutura notável com direção em torno de N70E.

Segundo Hasui et alii (1980), o extenso feixe de lineamentos que margeia o litoral de São Paulo e Rio de Janeiro (aqui representado pelo feixe de lineamentos do sistema C), contém como principal falhamento aquele denominado por estes autores de falha de Cubatão. (ver Figuras 3.8 e 4.4). Ainda segundo estes autores, esta falha que atravessa todo o Vale do Paraíba, desde a cidade de São Paulo até adentrar pelo Estado do Rio de Janeiro, inclui em seu traçado as falhas anteriormente descritas com os nomes de Cubatão (em seu senso primitivo, segundo Almeida, 1953), Taxaquara (Hennies et alii, 1967a) e Além Paraíba (Almeida et alii, 1975); todas elas originadas em um mesmo ciclo tectônico.

Neste trabalho porém, a interpretação dada para este conjunto de falhas é diferente.

Sugere-se aqui que o lineamento de Além-Paraíba e o lineamento de Cubatão (em seu senso primitivo, segundo Almeida, 1953), pertençam a um mesmo ciclo tectônico antigo, ao qual estão ligados os lineamentos do sistema A. O lineamento de Taxaquara teria surgido poste

riormente, com direção N70E, em um outro ciclo tectônico, provocando a reativação dos lineamentos de Alêm-Paraíba e Cubatão, pré-existentes. O lineamento de Taxaquara seria correlacionado aos lineamentos do sistema C e, juntamente com parte dos lineamentos reativados, constituiria o extenso feixe de lineamentos de direção E-NE presente na região. (ver Figura 4.2).

Porém, faz-se aqui a recomendação de não chamar-se tais feições propriamente de lineamentos, mas sim de zonas ou feixes de lineamentos, uma vez que é assim que se configuram no terreno e é assim que devem figurar nos mapas, quando a escala o permitir.

O enquadramento dos sistemas de lineamentos acima descritos, em um contexto tectônico mais amplo não é fácil e dirige-se para o campo das hipóteses.

Conforme discutido no Capítulo 3, muitos autores situam a área em uma zona de dobramentos com evolução ensiânica cuja história teria início ainda no Arqueano (Almeida et alii, 1973; Hasui et alii, 1978c e outros). Ou então, enquadram-na no contexto de tectônica de placas com a abertura e o fechamento de um oceano proto-Atlântico, já no Proterozóico Superior (Porada, 1979)

Certamente, aplicando-se aqui o modelo de cisalhamento de Riedel (1929), se observaria a presença de fraturas associadas, porém as fraturas existentes atualmente no terreno estão mais seguramente ligadas a eventos mais novos, como a abertura do Atlântico Sul, a qual se passará a enfocar logo a seguir.

As fraturas mais novas correlacionadas a eventos meso-cenozóicos, podem ou não ocupar a mesma posição das fraturas antigas que teriam agido como zonas de fraqueza, direcionando os novos esforços. Porém, sua caracterização é demasiada difícil em se tratando apenas de fotointerpretação, atendo-se este trabalho, no que diz respeito a lineamentos gerados no Proterozóico, somente àqueles que se concentraram em

feixes e caracterizaram zonas de cisalhamento, possibilitando sua de tecção.

Com relação à tectônica meso-cenozóica, ligada ao con ceito de tectônica de placas com a abertura do Atlântico Sul, observa-se na área, todo um reticulado de fraturamentos distribuídos basicamente segundo quatro direções, caracterizando os sistemas de lineamentos D, E, F e G, que são discutidos a seguir.

A direção estrutural E-W é muito bem marcada pelos lineamentos do sistema D, que são extremamente alinhados e retilíneos com movimentos de rejeito horizontal destrai. Tais lineamentos são muito visíveis próximo à costa e tornam-se sutis à medida em que adentram no continente.

Analisando em conjunto os lineamentos do sistema D, sistema E e sistema F, verifica-se que os três se adaptam muito bem ao modelo de cisalhamento de Riedel, considerando-se o sistema D como representante da direção principal de cisalhamento, ligado talvez, ao regime de tensões a que se submeteram as placas tectônicas durante a abertura do Atlântico Sul. Nesse modelo de cisalhamento, os lineamentos do sistema F representariam as fraturas sintéticas de Riedel e os lineamentos do sistema E, as fraturas antitéticas (Figura 6.9).

As falhas conjugadas, sintética e antitética, do modelo de Riedel, representadas respectivamente pelos sistemas F e E, têm ângulo entre si em torno de 40° . Esse ângulo, embora um pouco menor que aquele do modelo seguido, pode ser facilmente explicado por rotação do sistema de falhas (Wilcox et alii, 1973).

Os lineamentos do sistema E possuem componente horizontal de rejeito sinistral bastante visível nas imagens interpretadas. Sua direção N20W faz um ângulo de 120° com a direção de cisalhamento principal, condizente com o modelo de Riedel. Seus lineamentos afetam os sedimentos da bacia de Taubaté e deslocam os lineamentos do sistema B, mas

são, contudo, deslocados destralmente pelos lineamentos do sistema C, agindo sob regime de reativação durante o Meso-Cenozóico.

Os lineamentos do sistema F, de direção N60W, são menos pronunciados que os anteriormente descritos, porém têm características de distribuição, espaçamento e comprimento relativo semelhantes aos apresentados pelo sistema E. A inflexão do eixo da bacia de Resende com relação à de Taubaté e a morfologia da linha de costa sugerem a existência de uma componente horizontal de deslocamento destral. Esse sistema apresenta ângulo de 20° com a direção principal de cisalhamento.

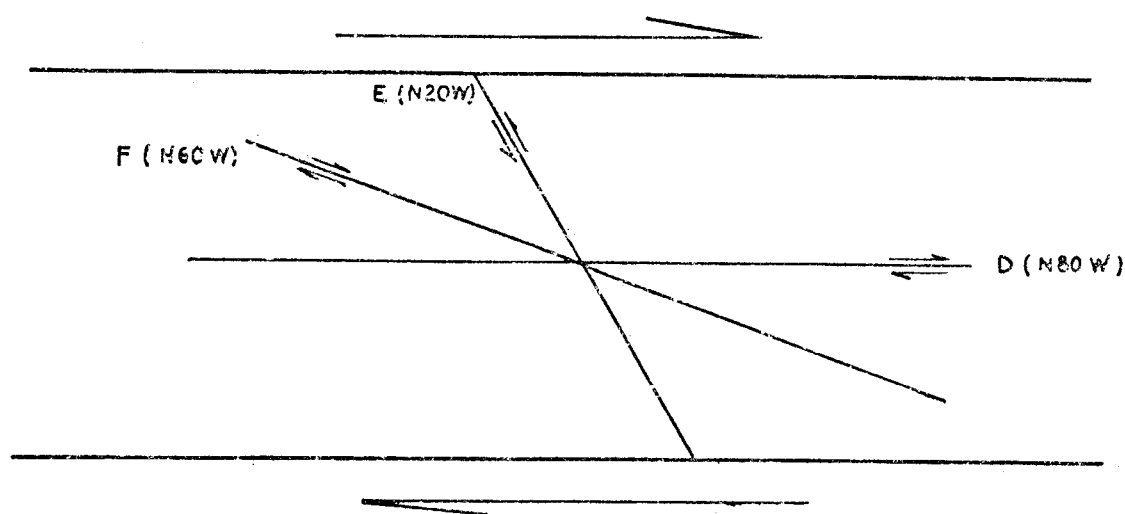


Fig. 6.9 - Sistemas de lineamentos D, E e F segundo modelo de cisalhamento de Riedel.

Também Melo (1984), em trabalhos fotointerpretativos e de campo desenvolvidos na região da bacia de Resende, encontrou um sistema de lineamentos com direção N-NW com rejeito horizontal dominantemente sinistral e um sistema W-NW com rejeito horizontal destral, vinculando-os às fraturas R e R' de Riedel para um cisalhamento aproximadamente E-W.

Os lineamentos do sistema G não apresentam nas imagens evidências de componente horizontal de rejeito, o que também não foi detectado nos trabalhos de campo. Esses lineamentos situam-se aproximadamente como sendo a bissetriz das fraturas R e R', a 30° - 40° da direção de cisalhamento principal, ou seja, na direção da tensão principal onde se geram as chamadas fraturas T de Riedel, que são fraturas de tensão. Esses lineamentos afetam os sedimentos das bacias sedimentares de Taubaté e Resende. São bastante visíveis e bem distribuídos pela área, tratando-se certamente de uma direção recente de quebra, fato atestado pela expressão topográfica dos lineamentos muito retilíneos e por suas relações com os demais sistemas.

A direção N-NE dada pelos lineamentos do sistema B funcionou neste contexto da tectônica meso-cenozóica, com uma antiga zona de fraqueza em que os lineamentos, sob novo regime de esforços tensionais, foram reativados com caráter predominantemente vertical (como falhas de gravidade). Tal sistema parece ter exercido papel fundamental no condicionamento da bacia de Resende com falhas de rejeito vertical de até 150 m (Melo, 1984). Essa direção foi também responsável pela compartimentação tectônica da bacia de Taubaté (Hasui e Ponçano, 1978), fato nitidamente observado sobre as imagens interpretadas.

Também os lineamentos do sistema C sofreram reativações no Meso-Cenozóico. Os planos desse sistema, quando investigados nos sedimentos das bacias de Taubaté e de Resende, apresentam uma componente vertical com caimento S-SE dominante, embora existam exemplos de planos de deslocamento horizontal (Melo, 1984). Sabe-se porém que os lineamentos de direção N70E foram reativados predominantemente sob regime vertical, responsáveis pelas estruturas de grabens e rift-valleys do sudeste brasileiro.

Assim, além da origem de quatro sistemas de lineamentos ligada ao tectonismo meso-cenozóico (os sistemas D, E, F e G), verifica-se também a reativação sob regime predominantemente vertical dos sistemas de lineamentos B e C, cuja origem remonta a eventos proterozóicos.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Com a integração dos dados de sensoriamento remoto, campo e literatura chegou-se à série de resultados discutidos no Capítulo anterior, nos quais se apoiam as seguintes conclusões:

- sete sistemas de lineamentos foram identificados na área e designados de sistemas A, B, C, D, E, F, e G.
- em três sistemas, A, B e C, os lineamentos são distribuídos homogeneamente pela área, porém, apresentam a característica marcante de serem concentrados ao longo de faixas, onde constituem zonas de cisalhamento, situadas em cinturões orogênicos e relacionáveis a eventos tectônicos proterozóicos.
- o sistema A é o mais antigo com direção N70E. Corresponde, em parte, ao lineamento de Alêm-Paraíba na porção nordeste da área e ao lineamento de Cubatão (de Almeida, 1953) na porção sudoeste. Este sistema apresenta-se truncado na porção central da área estudada.
- o sistema B tem direção N20E e apresenta movimento transcorrente sinistral, deslocando os lineamentos do sistema A. Tem configuração semelhante a uma zona de falhas transcorrentes trançadas (Badgley, 1965).
- o sistema C, de direção N70E, é o mais persistente na área e tem movimentação transcorrente dextral, deslocando os lineamentos dos sistemas A e B. Configura uma extensa zona de cisalhamentos que se estende ao longo da costa, correspondendo basicamente ao lineamento de Taxaquara, sobrepondo-se também aos lineamentos de Alêm-Paraíba e Cubatão.

- na altura das Serras dos Órgãos entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, os feixes de lineamentos A, B e C se intercep tam, configurando-se aí uma região bastante conturbada estrutu ralmente.
- os três feixes de lineamentos A, B e C, estão ligados a eventos tectônicos distintos.
- o que se chama correntemente de falha de Cubatão ou falha de Taxaquara/Cubatão/Além Paraíba, não é um único lineamento, mas sim uma zona de lineamentos decorrentes de cisalhamentos ocor ridos em mais de um ciclo tectônico.
- os sistemas de lineamentos D, E, F e G são relacionados ao tecto nismo meso-cenozóico da abertura do Atlântico Sul. Também os sis temas B e C, são reativados sob os esforços tensionais de tal tectonismo.
- com relação a esse tectonismo, os lineamentos dos sistemas D, E e F são correlacionados ao modelo de cisalhamento de Riedel.
- o sistema de lineamentos D, com direção N80W é interpretado co mo representante da direção principal de cisalhamento no regime de tensões a que se submetem as placas durante a abertura do Atlântico Sul. Esse sistema apresenta uma componente de rejeito horizontal dextral.
- os sistemas F (direção N60W) e E (direção N20W) são interpreta dos como R e R', fraturas sintéticas e antitéticas, respe ctivamente.
- o sistema G, de direção N50W, pode ser relacionado às fraturas de tensão no modelo de cisalhamento de Riedel, assumindo-se a existência de um esforço compressional paralelo a esse sistema.

- o sistema de lineamentos B é reativado pelo tectonismo meso-cenozóico com caráter de falhas de gravidade, influenciando fortemente a estruturação das bacias sedimentares de Resende e Taubaté. Provoca ainda, a compartimentação tectônica desta última em várias sub-bacias de sedimentação (Hasui e Ponçano, 1978).
- o sistema C é também reativado pelo tectonismo meso-cenozóico com caráter predominantemente vertical, sendo responsável pelos falhamentos que deram origem aos rifts e grabens da região.
- as estruturas lineares refletidas na geomorfologia e analisadas através de técnicas de sensoriamento remoto, possibilitaram uma contribuição ao conhecimento tectônico da área, mediante a integração de dados bibliográficos, fotointerpretativos e de campo, demonstrando a viabilidade da técnica utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB SABER, A.N.; BERNARDES, N. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. Engenharia, Mineração e Metalurgia, 24(143): 284-292, 1956.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Considerações sobre a geomorfogênese de Cubatão. Boletim Paulista de Geografia, 15:3-17, 1953.
- _____. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, 41:169-263, 1964.
- _____. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Boletim da Divisão de Geologia Mineral, (241):241, 1967.
- _____. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48:15-26, 1976. Suplemento.
- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. The Precambrian evolution of the South American Cratonic Margin South of Amazon River. The Ocean Basin and Margins, 1:411-446, 1973.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. O lineamento de Além Paraíba. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47(3-4):575, 1975.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; DAVINO, A.; HARALYI, N.L.E. Informações geofísicas sobre o oeste mineiro e seu significado geotectônico. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 52(1):49-60, 1980.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; NEVES, B.B. de B.; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 1., Campina Grande, 1977. Atas. Campina Grande, SBG, 1977, V. 1, p. 363-391.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. Enhancement of digital maps through band ratio techniques for geological applications. São José dos Campos, INPE, 1982, 15 p. (INPE-2604-PRE/250).

- AMADOR, E. da S. Estratigrafia e sedimentação da Bacia de Resende, RJ. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47:181-225, 1975. Suplemento.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. Geochmich Cosmochmich Acta, 30(2):154-180, 1966.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon dates of alkaline rocks from Southern Brazil. Geochmich Cosmochmich Acta, 31(2):117-142, 1967.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Remote Sensing. 2 ed., Falls Church, VI, 1983, V. 1 e V. 2.
- ASMUS, H.E. Hipóteses sobre a origem dos sistemas de zonas de fraturas oceânicas/alinhamentos continentais que ocorrem nas regiões sudeste e sul do Brasil. Projeto Remac, Rio de Janeiro, 4:39-73, 1978.
- ASMUS, H.E.; FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. Projeto Remac, Rio de Janeiro, 4:75-88, 1978.
- BADGLEY, P.C. Structural and tectonics principles. New York, Harper and Row, 1965, 521 p.
- BILLINGS, M.P. Structural geology. New York, Prentice-Hall, 1954, 514 p.
- BRAUN, O.P.G.; BAPTISTA, M.M. Considerações sobre a geologia pré-cambria na da região sudeste e parte da região centro-oeste do Brasil. Publicação especial da SBG, 3:225-368, 1977.
- CÂMARA NETO, G.; ARAÚJO, G.O.; MASCARENHAS, N.D.A.; SOUZA, R.C.M. de. Realce visual de imagens de recursos naturais: aplicações em geologia. São José dos Campos, INPE, 1980, 53 p. (INPE-1952-RPE/267).
- CAMPANHA, G.A.C. O lineamento de Além-Paraíba na região de Três Rios (RJ). Revista Brasileira de Geociências, 11(3):159-171, 1981.
- CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. Estrutura da bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Belo Horizonte, SBG, 1976, V. 4, p. 247-256.

- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.S.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.;
ROCHA, J.M. de; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.N.; YAMAMOTO, K.;
DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. Projeto Sapucaí: relatório
final de geologia. São Paulo, DNPM-CPRM, 1977, V. 4.
- _____. Projeto Sapucaí: relatório final. São Paulo, DNPM-CPRM, 1979.
- CAVALCANTE, J.C.; KAEFER, L.Q. Geologia da Folha de Santos (parcial).
In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974.
Anais. Porto Alegre, SBG, 1974, V. 4, p. 227-246.
- CLOSS, E. Experimental analysis of fracture patterns. Bulletin of
the Geological Society of America, 66:241-256, 1955.
- CORDANI, U.G.; DELHAL, J.; LEDENT, D. Orogêneses superposições dans le
Pré-cambrien du Brésil Sud-Oriental, Etats de Rio de Janeiro et
de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, 3(1):1-22, 1973.
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W. Comentários sobre as determinações geocro-
nológicas existentes para as regiões das folhas Rio de Janeiro, Vitória
e Iguape. In: Texto Explicativo, Folha de Rio de Janeiro (SF-23),
Vitória (SF-24) e Iguape (SF-23), Brasília, DNPM, M.M.E., 1979.
p. 175-207.
- COUTO, C.P.; MEZZALIRA, S. Nova conceituação geocronológica de Tremembé,
Estado de São Paulo, Brasil. Anais da Academia Brasileira de Ciências,
43:473-488, 1971. Suplemento.
- DE MARTONE, E. Problemas geomorfológicos do Brasil tropical Atlântico.
Revista Brasileira de Geografia, 5(4):523-550, 1943.
- DELHAL, J.; LEDENT, D.; PASTEELS, P. Ages Pb/U, Sr/Pb, Ar/K des
formations metamorphiques et granitiques du Sud-Est du Brésil.
Ann. Societ  Geologique Belgique, 92:271-283, 1969.
- EBERT, H. Ocorrências da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e
em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses
sobre sua origem. Anais da Academia Brasileira de Ciências,
40:215-229, 1968.

- FAIRCHILD, T.R. Conophyton and other columnar stromatolites from the Proterozoic Açungui near Itapeva, SP, Brazil. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1., São Paulo, 1977. Atas. São Paulo, 1977, v. 1, p. 179-198.
- FERREIRA, C.S.; SANTOS, A.S. Novos dados sobre a geocronologia da Formação Tremembê, Vale do Paraíba, SP, com base palinológica. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 54(1):264, 1982.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G. da; CAMPOS, D.A.; TOSATTO, P. Folhas Rio de Janeiro (SF.23) e Iguape (SG.23). In: SCHOBENHAUS FILHO, C. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Brasília, DNPM, 1979, p. 1-74.
- GARY, M.; McAFEE JR.; R.; WOLF, C.L. Glossary of geology. Washington, DC, American Geological Institute, 1977.
- GOLD, D.P. Structural Geology. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. Remote sensing in geology, New York, John Wiley, 1980, p. 419-483.
- HARALYI, N.L.E. Carta Gravimétrica Bouger do oeste e sul de Minas Gerais, nordeste de São Paulo e sul de Goiás. Tese de Doutorado. São Paulo. Instituto de Geociências da USP, 1978.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, U.M.; RODRIGUES, C.R.V. Ensaio sobre a estruturação do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. Contribuições à Geologia e Petrologia. SBG-Núcleo de Minas Gerais, 1985. p. 71-93.
- HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. de. Província Mantiqueira - Setor Central. In: ALMEIDA, F.F. de; HASUI, Y. O pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blücher, 1984. cap. 7, p. 308-344.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, 1978, v. 1, p. 368-381.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. Evolução geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, 6(3):180-200, 1976.

- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira fold belt. Revista Brasileira de Geociências, 5(4):257-266, 1975.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A. de; MELO, M.S. de; PIRES NETO, A.G. As grandes falhas do este paulista. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., São Paulo, 1977. Atas. São Paulo, SBG, 1977, v. 1, p. 369-380.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; NEVES, B.B.B. As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978a. Anais. Recife, SBG, 1978a, v. 6, p. 2423-2437.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, 1978b, v. 6, p. 2579-2593.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A. de; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S. de; SANTOS, M.C.S.R. Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região administrativa 2 (litoral) do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1978c. 78 p. (Monografia 1).
- HASUI, Y.; GIMENEZ, A.F.; MELO, M.S. Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, 1978f, v. 1, p. 382-392.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. Estrutura e tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 52(1):61-76, 1980.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; MIOTO, J.A.; MELO, M.S. de. Geologia, tectônica, geomorfologia e sismologia de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna. São Paulo, IPT, 1982, 149 p. (Monografia 7).
- HASUI, Y.; FONSECA, M.J.G.; RAMALHO, R. A parte central da Região de Dobramentos Sudeste e o Maciço de Guaxupé. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. Geologia do Brasil - Texto Explicativo do mapa do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, M.M.E., 1984. cap. 7, p. 307-330.

- HENNIES, W.T.; HASUI, Y. Geocronologia das rochas eruptivas da Ilha de São Sebastião, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., Belo Horizonte, 1968. Anais. Belo Horizonte, SBG, 1968, p. 145-148.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. O falhamento transcorrente de Taxaquara. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21., Curitiba, 1967. Anais. Curitiba, SBG, 1967a, p. 159-168.
- _____. Geologia do Pré-Cambriano a noroeste da capital paulista. Boletim Paranaense de Geologia, 26:17-18, 1967b.
- HOBBS, W.H. Lineaments of the Atlantic border region. Geological Society of American Bulletin, 15:483-506, 1904.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.F. An outline of structural geology. New York, John Wiley, 1976. 571 p.
- LE PICHON, X.; HAYES, D.E. Marginal offsets, fractures zones and the early opening of the South Atlantic. International Geophysic Res., 76(26):6283-6293, 1971.
- LIMA, M.R. de; AMADOR, E. da S. Análise palinológica de sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8., Rio de Janeiro, 1983. Anais. Rio de Janeiro, SBG, 1983, v. 1, p. 98-102.
- LIU, C.C. Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. São Paulo, Instituto de Geociências da USP, 1984, 157 p.
- LOCZY, L.; LADEIRA, E.A. Geologia estrutural e introdução à geotectônica. São Paulo. E. Blucher, CNPq, 1976. 528 p.
- MAC DONALD, H.C.; KIRK, J.N.; DELLWIG, L.F. The influence of radar look-direction on the detection of selected geological features. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, 1969. Proceedings. Ann Arbor, MI, 1969, p. 637-650.
- MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A.; PIRES NETO, A.G. Estudos geológicos tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários da área de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (Área de Cruzeiro, SP), São Paulo, IPT/DMGA, 1983, 2 v. (Relatório IPT 17737).

- MELO, M.S. Geologie du Basin de Resende et contribution a l'evolution du systeme de rift du SE du Brésil. Tese de Doutorado. Marseille, França, Universit D'Aix, 1984, 62 p.
- MOORE, G.K.; WALTZ, F.A. Objective Procedures for lineament enhancement and extraction. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(5):641-647, 1983.
- MORAES REGO, L.F. Notas sobre geomorfologia de São Paulo e sua g nesis. São Paulo, Instituto Astron mico e Geofísico, 1932. 28 p.
- _____. Contribui o ao estudo das formações pr -devonianas de São Paulo. São Paulo, Instituto Astron mico e Geofísico, 1933. 43 p.
- NOVO, E.M.L.M. Efeito do ângulo de elevação solar e do azimute na determinação de compartimentos geomorfológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. Anais. Brasília, CNPq, 1982, v. 1, p. 53-61.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, 87:1463-1469, 1976.
- PARADELLA, W.R.; DUTRA, L.C. Filtragens digitais de imagens Landsat como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG, 1980, p. 1765-1770.
- PENALVA, F. Geologia e tectônica da região do Itatiaia. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP; Série Geologia, 302(22):195-196, 1967.
- PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. de. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. Atas. São Paulo, SBG, 1979, v. 2, p. 253-262.
- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F.L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981, 94 p. (Monografia 5).

- PORADA, H. The Damara-Ribeira orogen of the Pan-African-Brasiliano cycle in Namibia (South West Africa) and Brazil as interpreted in terms of continental collision. Tectonophysics, 57:237-265, 1979.
- RAMSAY, J.G. Folding and fracturing of rocks. New York, Mc-Graw-Hill, 1967, 568 p.
- _____. Shear zone and geometry: a review. Journal of Structural Geology, 12(2):83-99, 1980.
- READING, H.G. Characteristics and recognition of strike-slip fault systems. Special Publication Int. Ass. Sediment, 4:7-26, 1980.
- RICCOMINI, C.; BISTRICHI, C.A.; MELLO, M.S. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas, continentais do sudeste brasileiro. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., São Paulo, 1983. Atas. São Paulo, SBG, v. 1, p. 52-58, 1983.
- SABINS JR., F.F. Remote sensing, principles and interpretation. San Francisco, CA, W.H. Freeman, 1978. 426 p.
- SADOWSKI, G.R. Tectônica da Serra de Cubatão. Tese de Doutorado. São Paulo. Instituto de Geociências da USP, 1974, 159 p.
- _____. Ativação da plataforma na América do Sul e as zonas de fratura no Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Belo Horizonte, SBG, 1976. v. 4, p. 13-23.
- _____. Sobre a geologia estrutural de cinturões de cisalhamento continentais. Tese de Livre Docência. São Paulo, Instituto de Geociências da USP, 1983. 108 p.
- SLATER, P.N. Remote Sensing: Optics and optical systems. London, Addison-Wesley, 1980. 498 p.
- 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.; MATTOS, J.T.; BALLIEIRO, M.G.; MENESES, P.R. Lineamentos em imagens de Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paranã. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. Anais. Brasília, CNPq, 1982, v. 1, p. 143-156.

- STRECKEISEN, A.L. Classification and nomenclature igneous rocks. IUGS subcommission on systematic of igneous rocks. Geotimes, 18(10): 26-30, 1973.
- SUGUIO, K. Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté. Boletim Especial da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, nº 6, 106 p., 1969.
- _____. Síntese dos conhecimentos sobre a sedimentação da Bacia de São Paulo. Publicação Especial SBG-SP, nº 23, p. 25-34, 1980.
- TCHALENKO, J.S. Similarities between shear zones of different magnitudes. Geological Society of America Bulletin, 81(6): 1625-1640, 1970.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.S. Metodologia de interpretação de dados orbitais (Landsat) no mapeamento geológico regional. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Curso de Treinamento: aplicações de sensoria-mento remoto com ênfase em imagens Landsat, no levantamento de recursos naturais. São José dos Campos, INPE, 1980, cap. 4, p. 4.1-4.16. (INPE-1945-MD/006).
- WERNICK, E. Aspectos petrológicos dos granitóides da província Ribeira, SP e PR. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., São Paulo, 1979. Atas. São Paulo, SBG, 1979a, v. 1, p. 101-116.
- WERNICK, E. O magmatismo granitóide das regiões de dobramento Nordeste e Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geologia, 9:123-139, 1979b.
- WILCOX, R.E.; HARDING, T.P.; SEELY, D.R. Basic Wrench tectonics. AAPG Bulletin, 57(1):74-96, 1973.

APÊNDICE A

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

APÊNDICE B

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA B

APÊNDICE C

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA C

APÊNDICE D

MAPA DE FEIXES DE LINEAMENTOS DOS SISTEMAS A, B, C

APÊNDICE E

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA D

APÊNDICE F

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA E

APÊNDICE G

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA F

APÊNDICE H

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA G

APÊNDICE I

DADOS ESTRUTURAIS DE CAMPO

PERFIL 3: APARECIDA-PARATI

N33E/75SE	N10W/32NE	N46W/60NE	NS/15W	NS/88W	N21W/77SW
N38E/V	N12W/35NE	N27W/61NE	N10W/13SW	N8E/V	N45W/32SW
N41E/80SE	N5W/26NE	N31W/60NE	N2W/20SW	NS/88W	N40W/30SW
N39E/69SE	N18W/25NE	N40W/56NE	NS/16W	N6N/V	N42W/40SW
N42E/85SE	N12W/38NE	N31W/63NE	N5W/15SW	NS/82E	N50W/38SW
N35E/V	N9W/30NE	N36W/60NE	N6W/18SW	N50E/V	N45W/25SW
N36E/V	N10W/32NE	N39W/65NE	NS/20W	N78E/70SE	N45W/29SW
N75E/35SE	N15W/31NE	N30W/57NE	N5W/14SW	N80E/80SE	N46W/33SW
N70E/30SE	N18W/35NE	N36W/63NE	N8W/21NE	N86E/78SE	N39W/35SW
N74E/36SE	N8W/29NE	N40W/55NE	N6W/20NE	N48E/V	N45W/28SW
N75E/39SE	N32E/75SE	N12W/30NE	N12W/15NE	N77E/79SE	N48W/30SW
N81E/28SE	N36E/V	N15W/28NE	N5W/23NE	N49E/V	N25W/V
N80E/35SE	N43E/78SE	N6W/28NE	N8W/18NE	N53E/V	N28W/V
N70E/35SE	N41E/65SE	N21W/25NE	N6W/20NE	N50E/V	N20W/V
N79E/40SE	N40E/88SE	N13W/40NE	N5E/80NW	N83E/75SE	N29W/V
N78E/39SE	N37E/V	N8W/30NE	NS/V	N51E/V	N28W/V
N80W/29SW	N38E/V	N11W/30NE	NS/85W	N52E/V	N20W/V
N80E/36SE	N77E/40SE	N16W/30NE	N10E/V	N50E/V	N29W/V
N78E/28SE	N72E/33SE	N21W/35NE	NS/V	N48E/V	N30W/V
N75E/44SE	N74E/35SE	N9W/27NE	N5W/8SW	N50E/V	N26W/V
N75E/35SE	N76E/40SE	N62E/V	N3E/V	N53E/V	N29W/V
N81E/40SE	N80E/32SE	N60E/V	N7E/V	N52E/85SE	N21W/V
N78E/32SE	N82E/37SE	N65E/V	N8E/80NW	N53E/81SE	N25W/V
N76E/36SE	N67E/32SE	N58E/V	N85E/V	N46E/V	N28W/V
N74E/39SE	N75E/42SE	N55E/V	EW/V	N53E/80SE	N25W/V
N81E/41SE	N76E/40SE	N68E/V	EW/V	N81E/76SE	N28W/88NE
N79E/40SE	N81E/30SE	N62E/V	N80E/V	N84E/72SE	N27W/80SW
N20W/V	N80E/33SE	N65E/V	N88E/V	NS/85E	N26W/85NE
N22W/80NE	N79E/25SE	N60E/V	N85E/V	NS/85E	N26W/78SW
N15W/V	N73E/46SE	N58E/V	N85E/V	N7W/V	N23W/78SW
N18W/V	N75E/36SE	N45W/72NE	EW/V	NS/V	N26W/V
N28W/78SW	N83E/40SE	N40W/70NE	EW/V	N6E/V	N25W/85NE
N20W/V	N78E/30SE	N43W/78NE	N81E/V	N75E/62SE	N25W/82SW
N21W/81SW	N75E/30SE	N51W/65NE	N6E/82NW	N78E/60SE	N30W/80NE
N20W/85SW	N75E/40SE	N48W/68NE	NS/V	N69E/52SE	N22W/80SW
N28W/V	N78E/42SE	N45W/70NE	NS/87W	N70E/68SE	N34W/26E3
N21W/V	N82E/40SE	N45W/73NE	N12E/V	N74E/60SE	N30W/20NE
N45W/59NE	N78E/36SE	N40W/78NE	NS/V	N73E/59SE	N40W/25NE
N25W/62NE	N22W/V	N45W/75NE	NS/85W	N77E/67SE	N38W/31NE
N30W/60NE	N20W/83NE	N60W/18NE	N6E/V	N75E/62SE	N36W/29NE
N42W/55NE	N17W/V	N60W/18NE	N3E/V	N75E/70SE	N36W/26NE
N28W/59NE	N16W/V	N65W/19NE	N8E/75NW	N76E/63SE	N36W/21NE
N35W/63NE	N26W/76SW	N63W/25NE	N6E/75NW	N50E/V	N37W/28NE
N38W/65NE	N20W/V	N55W/15NE	N86E/V	NS/V	N28W/22NE
N32W/58NE	N22W/80SW	N58W/21NE	EW/V	NS/V	N33W/25NE
N36W/62NE	N21W/86SW	NS/13W	EW/V	N5E/V	N18W/79SW
N40W/59NE	N30W/V	N5W/21SW	N82E/V	NS/V	N22W/62SW
N85E/V	N8W/80SW			NS/V	N35E/75SE
N87E/V	NS/65W			N48E/85NW	N35E/68SE
EW/V	NS/70W			N47E/81NW	N37E/66SE
	N6E/71NW			N51E/V	N40E/V
	N2E/75NW			N49E/V	N25W/73SW
				N55E/88SE	N20W/70SW
				N54E/80SE	N22W/70SW

PERFIL 4: BARRA MANSA - BR-101

N35W/V	N58W/62SW	N38E/53SE	N83E/V	NS/75W
N55E/78NW	N61W/69SW	N32E/60SE	N20W/V	N50E/V
N45E/V	N65W/65SW	N29E/48SE	N40E/V	N10E/68NW
N40W/V	N56W/70SW	N30E/45SE	N83E/68SE	EW/15S
N42W/V	N60W/73SW	N24E/51SE	N55W/58SW	EW/18S
N48W/V	N62W/63SW	N25E/50SE	N40E/20NW	EW/12S
N35W/V	N20E/70SE	N31E/57SE	N50E/25NW	N83E/12SE
N38W/V	N25E/78SE	N35E/49SE	NS/42W	N88W/15SW
N37W/V	N18E/65SE	N29E/52SE	N65E/V	EW/50S
N49W/V	N16E/68SE	N55W/V	N45W/70NE	EW/57S
N50W/V	N21E/72SE	N50E/78NW	N40W/75NE	N81W/54SW
N42W/V	N19E/70SE	NS/V	N48W/68NE	N86W/60SW
N41W/V	N25E/75SE	N25W/V	N44W/72NE	EW/63S
N38W/V	N24E/67SE	N10E/V	N50W/70NE	N77E/51SE
N45W/V	N20E/70SE	N20E/48SE	N42W/67NE	EW/56S
N38W/V	N18E/72SE		N50W/78NE	EW/66S
N41W/V	N65W/60SW		N45W/65NE	EW/54S
N38W/V	N50W/68SW		N46W/75NE	N88E/55SE
N50W/V	N63W/65SW		N43W/76NE	NS/74W
N47W/V	N65W/70SW		N20E/V	NS/78W
N45W/V	N57W/60SW		N22E/V	N6W/79SW
N43W/V	N63W/70SW		N20E/V	N10W/78SW
N42W/V	N63W/65SW		N28E/V	NS/66W
N70E/38SE	N58W/71SW		N25E/V	NS/73W
N72E/40SE	N64W/75SW		N15E/V	N7E/73NW
N65E/33SE	N60W/65SW		N18E/V	N3E/71NW
N68E/45SE	N23E/71SE		N16E/V	NS/78W
N77E/38SE	N26E/80SE		N20E/V	N12E/71NW
N71E/42SE	N21E/65SE		N25E/V	N5E/72NW
N70E/45SE	N18E/69SE		EW/56S	NS/60W
N66E/40SE	N22E/73SE		N80W/55SW	N6E/67NW
N75E/35SE	N25E/75SE		N85W/59SW	
N55E/60NW	N23E/70SE		EW/60S	
N50E/61NW	N23E/71SE		N78E/49SE	
N49E/68NW	N17E/73SE		EW/58S	
N56E/57NW	N30W/V		EW/61S	
N60E/54NW	N28W/V		EW/52S	
N58E/59NW	N37W/V		N86E/58SE	
N54E/63NW	N25W/V		N3/71W	
N55E/65NW	N32W/V		NS/75W	
N48E/58NW	N30W/V		N5W/75SW	
N55E/68NW	N25W/V			
N65W/62SW	N37W/V			
N55W/70SW	N32W/V			
N60W/68SW	N31W/V			
N62W/71SW	N30E/52SE			

PERFIL 5: PARATI-ANGRA DOS REIS

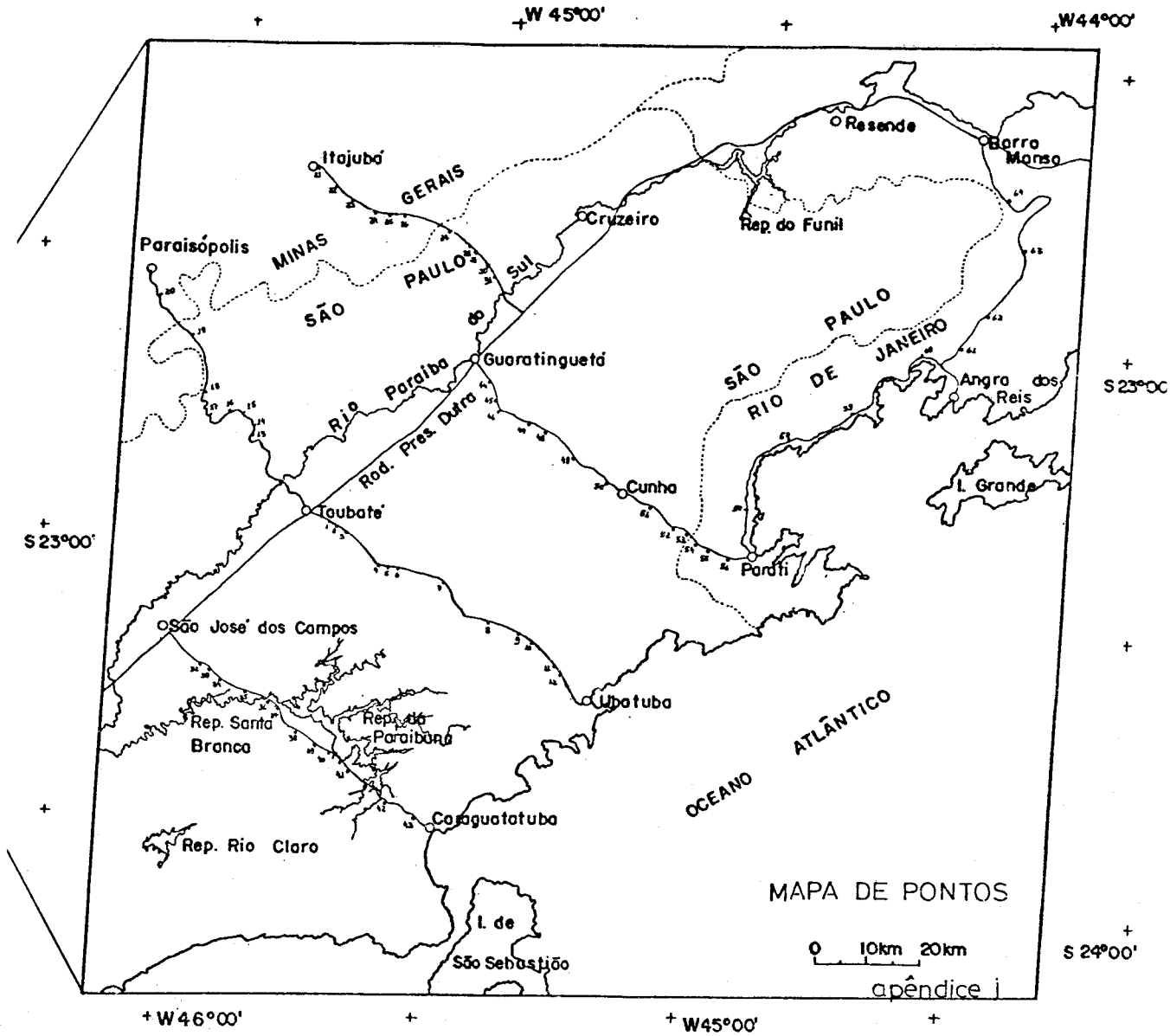
N65E/39SE	N76E/88SE	N30W/85SW	N49E/68NW	N30W/55SW	N70E/52SE	N18W/V	N78W/V
N65E/43SE	N85E/70NW	N28W/88SW	N48E/71NW	N20W/71SW	N75E/50SE	N11W/V	EW/V
N60E/77NW	N85E/71NW	N29W/85SW	N52E/75NW	N25W/68SW	N66E/57SE	N8W/V	EW/V
N65E/73NW	N85E/72NW	N33W/V	N55E/71NW	N28W/60SW	N63E/48SE	N15W/V	EW/V
N20W/81NE	N84E/70NW	N32W/85SW	N35W/V	N20W/58SW	N77E/45SE	N16W/V	N85E/V
N28W/86NE	N83E/74NW	N30W/V	N28W/V	N28W/69SW	N40E/55SE	N40E/55SE	N82E/V
N70E/61SE	N87E/68NW	N47E/72NW	N30W/V	N30W/65SW	N70E/50SE	N42E/50SE	N85W/V
N46E/54SE	N88E/67NW	N63E/73NW	N38W/V	N25W/63SW	N47E/58SE	N47E/58SE	EW/V
N45E/55SE	N87E/70NW	N45E/68NW	N27W/V	N20W/63SW	N68E/55SE	N38E/49SE	N45W/72SW
N47E/53SE	N85E/V	N53E/65NW	N25W/V	N26W/67SW	N73E/58SE	N34E/47SE	N42W/70SW
N44E/55SE	N27E/V	N57E/65NW	N29W/V	EW/V	EW/V	N39E/51SE	N38W/78SW
N36E/V	N80W/80NE	N58E/70NW	N31W/V	N15W/V	N10W/V	N42E/55SE	N46W/65SW
N10E/44SE	N5/82E	N63E/73NW	N31W/85NE	N81W/V	N21W/V	N40E/55SE	N51W/66SW
N11E/43SE	N80E/60NW	N58E/65NW	N30W/84SW	N85E/V	N18W/V	N48E/49SE	N37W/70SW
N33W/70NE	N35W/V	N57E/72NW	N27W/85SW	EW/V	N26W/V	N43E/60SE	N40W/77SW
N35E/30SE	N80W/65NE	N58E/70NW	N31W/V	EW/V	N17W/V	N25E/V	N46W/65SW
N38W/81SW	N27W/V	N47E/69NW	N35W/V	EW/V	N13W/V	N15E/V	N44W/68SW
N23E/48SE	EW/V	N51E/68NW	N28W/V	N32W/50SW	N10W/V	N22E/V	N45W/72SW
N44W/V	EW/V	N49E/75NW	N75E/35SE	N23W/73SW	N14W/V	N16E/V	N30W/74NE
N75W/35NE	EW/85N	N54E/75NW	N75E/35SE	N26W/63SW	N18W/V	N22E/V	N30W/V
N30W/V	EW/88S	N51E/67NW	N77E/36SE	N31W/59SW	EW/V	N20E/V	N25W/80SW
N10E/V	N87E/V	N33W/V	N78E/32SE	N23W/64SW	N80W/V	N26E/V	EW/32S
N70E/V	N88W/V	N28W/V	N73E/33SE	N23W/60SW	N31W/30NE	N19E/V	EW/V
N30W/V	N45E/70NW	N35W/V	N74E/37SE	N33W/69SW	N18W/35NE	N18E/V	EW/V
N10E/64SE	N60E/70NW	N30W/V	N75E/37SE	N30W/62SW	N18W/31NE	N20E/V	N80W/V
N10E/80SE	N48E/72NW	N26W/V	N78E/32SE	N28W/65SW	N26W/36NE	N23E/V	EW/V
N15E/25NW	N50E/68NW	N29W/V	N75E/36SE	N23W/64SW	N23W/25NE	N18E/V	EW/V
EW/70N	N53E/67NW	N32W/V	N79E/38SE	EW/V	N20W/33NE	N24E/V	EW/V
EW/V	N55E/74NW	N30W/81NE	N72E/35SE	EW/V	N31W/32NE	N18E/V	N80W/V
NS/V	N60E/70NW	N32W/V	N75E/35SE	EW/V	N26W/28NE	N20E/V	N81E/V
NS/V	N58E/68NW	N35W/82SW	N76E/30SE	N83W/V	N21W/41NE	N17E/V	N85E/V
N3E/V	N56E/73NW	N29W/85SW	N78E/34SE	EW/V	N29W/31NE	N20E/V	EW/V
N21V	N55E/72NW	N31W/88SW	N72E/38SE	N86E/V	N73E/50SE	N25E/V	N48W/70SW
N5E/85NW	N50E/67NW	N35W/V	N78W/V	EW/V	N68E/55SE	N19E/V	N38W/68SW
N4W/86NE	N48E/71NW	N35W/V	N78W/V	EW/V	N76E/53SE	N13E/V	
NS/87W	N50E/72NW	N35W/V	N80W/V	N78W/V	N68E/60SE	N15W/40SW	
NS/V	N51E/71NW	N47E/71NW	N75W/V	N30W/29NE	N65E/49SE	N18W/42SW	
N2E/V	N30W/V	N51E/69NW	N78W/85NE	N17W/37NE	N68E/50SE	N13W/50SW	
N2W/V	N31W/V	N50E/70NW	N78W/86SW	N20W/30NE	N79E/48SE	N20W/45SW	
N75E/V	N32W/V	N55E/69NW	N76W/85SW	N25W/35NE	N75E/50SE	N16W/38SW	
N75E/V	N35W/V	N55E/74NW	N27E/V	N23W/28NE	N69E/55SE	N15W/35SW	
N77E/V	N61E/68NW	N61E/74NW	EW/V	N18W/32NE	N77E/53SE	N13W/40SW	
N73C/V	N60E/70NW	N60E/70NW	N79W/V	N29W/34NE	N18W/V	N21W/33SW	
N75E/85SE	N29W/V	N52E/73NW	N81W/V	N25W/30NE	N12W/V	N10W/39SW	
N75E/88SE	N30W/85NE	N51E/73NW	N79W/V	N24W/39NE	N23W/V	N9W/42SW	
N75E/V	N31W/88NE	N50E/70NW	N75W/V	N70E/50SE	N25W/V	EW/V	
						EW/V	

PERFIL 6: TAUBATÉ-PARAIPOBOLIS

[illegible]

APENDICE J

MAPA DE PONTOS



APÊNDICE L

REALCE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE FILTRAGENS DIGITAIS

L.1 - INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento dessa pesquisa, verificou-se a existência de duas possibilidades para a análise de lineamentos estruturais em imagens orbitais: a interpretação visual já consagrada pelo uso corrente, e a interpretação utilizando-se técnicas de realce por processamento digital, esta ainda em estágio inicial de desenvolvimento nas pesquisas realizadas no Brasil.

Através do processamento digital, várias técnicas objetivas de realce de imagem podem ser utilizadas como auxílio na identificação e extração de lineamentos.

Entre as técnicas de processamento, destaca-se a filtragem digital que atua sobre as variações tonais da imagem, correspondendo aos diferentes níveis de cinza dos seus constituintes (pixels), com base no conceito de frequência espacial da imagem digital (Paradella e Dutra, 1980).

Um lineamento tonal pode ser um limite reto entre áreas de tons contrastantes ou mesmo uma faixa realçada sobre um fundo uniforme. Diferenças na vegetação, teor de umidade, composição dos solos ou rochas, que por sua vez podem representar lineamentos estruturais ou geomórficos, conduzem geralmente a acentuados contrastes tonais.

Dentro desse contexto buscou-se o estabelecimento e avaliação de uma metodologia para a identificação, extração e classificação de lineamentos tonais, presumivelmente associados a lineamentos estruturais, através de técnicas de realce por filtragem digital em imagens LANDSAT/TM.

Deve-se salientar que a metodologia aqui desenvolvida não foi utilizada na realização do trabalho proposto nessa dissertação, por ser uma metodologia relativamente nova com desenvolvimento ainda incipiente e de difícil aplicação para áreas muito extensas como a enfocada, optando-se para tanto, pelo método de interpretação visual.

Fica porém, reportado aqui, o trabalho realizado, como uma forma alternativa para o auxílio à interpretação estrutural em áreas pré-cambrianas.

L.2 - ÁREAS TESTE

Como áreas teste para este estudo foram escolhidas uma região próxima à represa de Paraibuna, processada em escala 1:50.000 e 1:25.000 e outra região na divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, na Serra dos Órgãos, processada em escala 1:100.000 (Figura L.1).

Para a seleção destas áreas levou-se em consideração os seguintes fatores:

- a) Existência de lineamentos estruturais bastante visíveis nas direções N45E, N45W e EW, sendo que o Norte considerado aqui não é o verdadeiro, mas sim a direção perpendicular à varredura do sistema sensor. Essas direções foram escolhidas devido à existência de filtros apropriados para seu realce já implantados no sistema Image-100 (ver item 3).
- b) Baixa atividade antrópica de maneira a evitar que lineamentos tonais causados pela separação de culturas pudessem ser também classificados.
- c) Relevo pouco acidentado e/ou homogêneo para evitar que o sombreamento causado por grandes elevações escondam os sombreamentos menores causados por variações sutis do relevo.

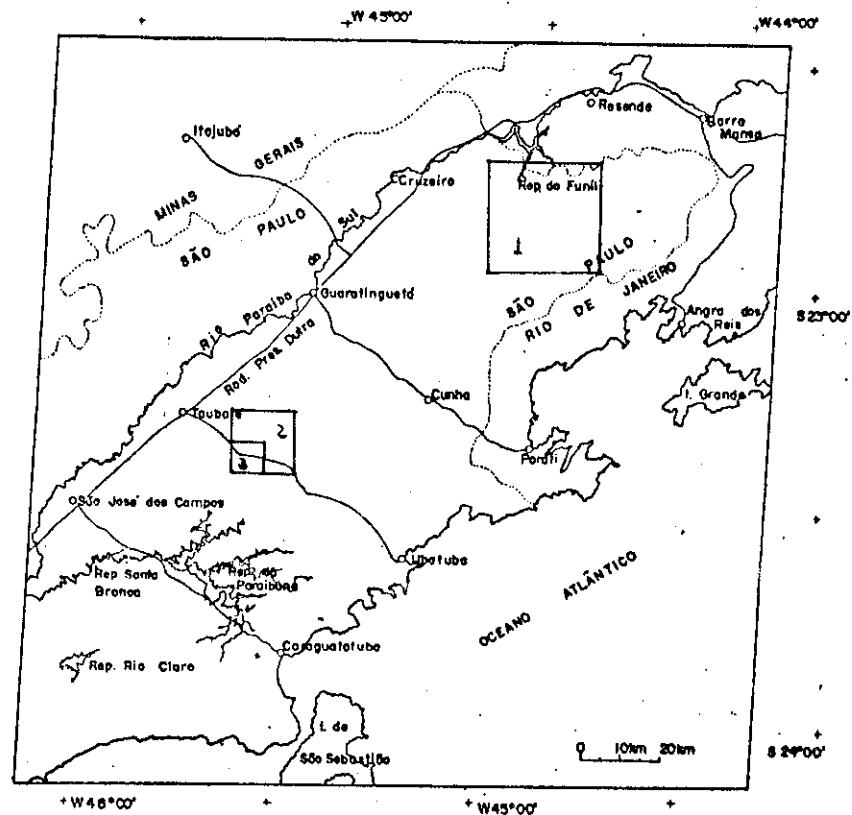


Fig. L.1 - Localização das áreas teste processadas nas escalas:
1) 1:100.000, 2) 1:50.000 e 3) 1:25.000.

L.3 - MATERIAL UTILIZADO

Os dados TM foram utilizados na forma digital, gravados em fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT) nas bandas 3, 4 e 5, referentes à passagem de 22/06/84, órbita 218/ponto 76.

Esses dados foram tratados no sistema Analisador Multiespectral Image-100 (I-100) e os resultados obtidos em seu terminal de vídeo foram fotografados para posterior análise e colocação na forma de mapa.

L.4 - DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

A metodologia adotada fundamenta-se no método de convolução, de maneira a produzir realces direcionais em imagens digitais. Convolução é o movimento (pixel por pixel, linha por linha) de um filtro (janela ou máscara) através de uma imagem. Elementos sucessivos da imagem são multiplicados pelos valores da "máscara" e os produtos são somados de maneira a produzir uma imagem filtrada.

Esta técnica consiste pois, em manipular os níveis de cinza da imagem de maneira a realçar os contrastes claro-escuro geralmente existentes em lineamentos topográficos, causados pela face iluminada do relevo e pela sua sombra, traduzindo-se em lineamentos tonais que podem ser classificados de maneira automática.

Moore e Waltz (1983), baseados em 8 filtros direcionais (máscaras de 3x3) procuraram uma maneira para, de forma objetiva, realçar e extrair lineamentos de imagens digitais. Este trabalho foi o ponto de partida para o desenvolvimento da metodologia aqui aplicada.

A seguir apresenta-se uma sequência de passos que indicam a sistemática adotada para identificar, classificar e extrair lineamentos tonais de imagens digitais. A mesma sequência apresentada foi aplicada às três áreas teste nas escalas 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.

1º passo: realce por componentes principais

O fato de dispor-se de imagens multiespectrais faz com que se tenha uma grande quantidade de informações muitas vezes desprezada ao analisar-se uma só banda. A aplicação de técnicas de realce de lineamentos tonais a cada banda separadamente tornaria o processo demorado e subjetivo por gerar um acúmulo de dados, difíceis de serem tratados.

Assim, procurou-se reunir a maior quantidade de informações em um único canal pelo método das componentes principais (Câmara Neto et alii, 1980).

Devido ao programa PRINCO (principais componentes) implementado no I-100, trabalhar com quatro canais e ter-se disponíveis apenas três bandas (3, 4 e 5), optou-se por gerar um quarto canal através da técnica de razão entre canais (Almeida Filho e Vitorello, 1982). Uma análise visual mostrou que entre as razões obtidas, a 5/3 possuía maior quantidade de informação.

Vários testes foram feitos, aplicando-se a filtragem sobre a banda 4 do TM (que apresenta melhor visibilidade dos lineamentos) e sobre a primeira componente principal obtida a partir das bandas 3, 4, 5 e da razão 5/3. Esta última mostrou melhores resultados.

2º passo: filtragem passa-baixa

Quando o realce de lineamentos por filtragem passa-alta é feito sobre uma imagem de alta frequência espacial, a imagem resultante mostra uma grande quantidade de segmentos de linhas finas e curtas em seu histograma de frequência espacial.

Utilizando-se primeiramente um filtro passa-baixa, suavizam-se os contrastes tonais (diminuição da frequência espacial). Com a filtragem passa-alta posterior ter-se-á menor quantidade de segmentos de linhas e estes serão tanto mais espessos e compridos quanto mais "forte" for o filtro passa-baixa anteriormente aplicado.

Assim, como segundo passo, utilizou-se um filtro passa-baixa caracterizado por uma máscara 3x3 e com valor 1 para todos os elementos do filtro (Figura L.2).

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Fig. L.2 - Máscara 3x3 utilizada na filtragem passa-baixa.

3º passo: filtragem direcional passa-alta

Através de filtros do tipo passa-alta é feito o realce dos lineamentos tonais da imagem de maneira seletiva, aplicado à determinada direção que se queira realçar.

Este processo consiste em aumentar o contraste de bordas e segmentos de linhas aproximadamente na direção desejada, tornando as sombras mais escuras e a porção iluminada do relevo mais clara.

Neste caso, os filtros sugeridos por Paradella e Dutra (1980) mostraram-se mais eficientes que os de Moore e Waltz (1983).

Os filtros usados com os seus respectivos valores foram:

a) A B valores para realce de direção N45E

A D B A = -1 B = 1 C = 10 D = -2

D C D

B D A

valores para realce de direção N45W

B A A = 1 B = -2 C = 10 D = -1

b) D

A A A

valores para realce de direção E-W

B B B B B B B

A = -2 B = 1 C = 10 D = -1

A A A

D

Os valores para os elementos do filtro em cada caso foram obtidos empiricamente através de vários testes até a obtenção de resultados satisfatórios.

O fato de terem sido utilizados valores que caracterizam estes filtros como "fortes" causa a destruição das informações espaciais não associadas aos lineamentos tonais.

4º passo: classificação

Após a aplicação dos filtros realçando os lineamentos tonais em cada uma das direções desejadas foi feita a classificação.

Para isso associou-se a uma classe os "pixels" contendo os níveis de cinza mais escuros da imagem, perfazendo um total de 10% dos pixels da tela (valor sugerido por Moore e Waltz, 1983). Na tela do I-100, que contém 512 x 512 pontos, isto corresponde a 26.214 pixels. Estes pixels classificados correspondem aproximadamente às sombras realçadas de acordo com o procedimento descrito no 3º passo. Tais sombras coincidem com lineamentos tonais na imagem, que por sua vez correspondem a lineamentos de relevo que podem traduzir lineamentos estruturais.

Após associar-se essas sombras a um tema (uma cor) pôde-se obter na tela do I-100 unicamente os lineamentos na direção desejada. Os lineamentos classificados na direção desejada podem ser sobrepostos à sua imagem de origem (1ª componente principal), permitindo avaliar a eficácia do procedimento automático.

L.5 - RESULTADOS OBTIDOS

Para melhor avaliação dos resultados fez-se uma comparação entre os lineamentos extraídos visualmente da composição colorida obtida com as bandas 3, 4 e 5 (azul, verde e vermelho, respectivamente) (Figuras L.3 e L.4), a imagem da primeira componente principal (Figura L.5) e os lineamentos obtidos pelo processo automático. Tal comparação foi feita para as escalas 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000, esta última ampliada pelo processo de interpolação de pixels.

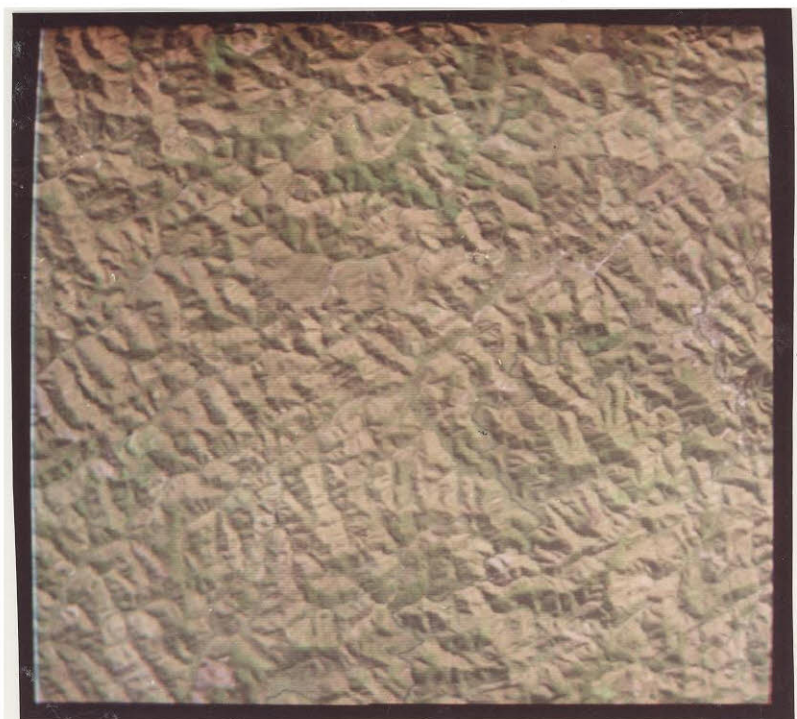


Fig. L.3 - Composição colorida com bandas 3, 4 e 5 do TM (azul, verde e vermelho, respectivamente) obtida em escala 1:50.000.

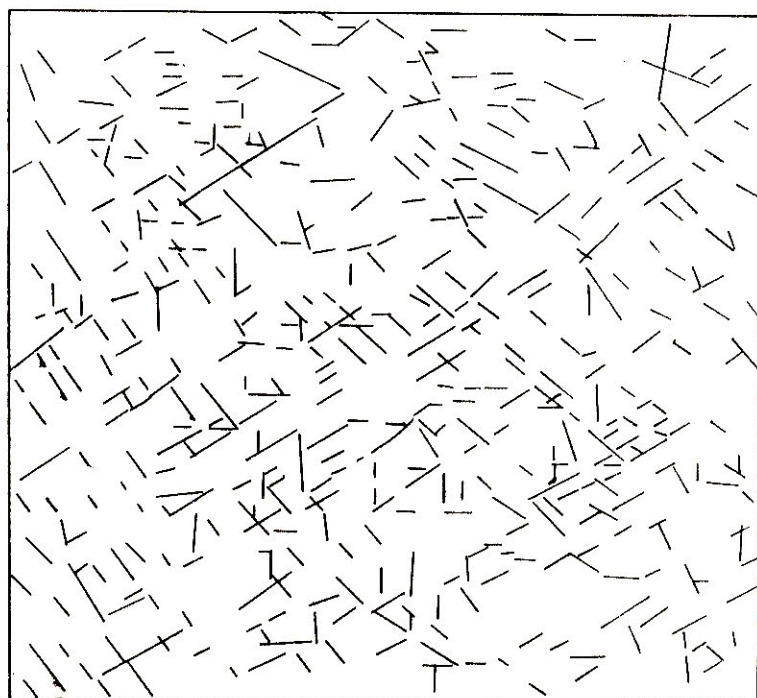


Fig. L.4 - Lineamentos estruturais extraídos a partir da Fig. L.3.



Fig. L.5 - Primeira componente principal da área teste 2, com escala 1:50.000.

Os melhores resultados foram obtidos para a escala 1:50.000, por haver maior correspondência entre o número de pontos na tela do I-100 e o número de pixels na imagem. Os resultados das filtragens e respectivas classificações na escala 1:50.000, são apresentados nas Figuras L.6 e L.7 para a direção NE, Figuras L.8 e L.9 para a direção NW e Figuras L.10 e L.11 para a direção E-W.

Para a área teste trabalhada em escala 1:50.000, observau-se grande correspondência entre os lineamentos tonais classificados e os lineamentos estruturais extraídos visualmente.

No entanto, verificou-se maior número de lineamentos nas classificações que na interpretação visual. Isto pode ocorrer devido ao realce de lineamentos sutis de difícil percepção, mas pode também relacionar-se a efeitos secundários (ruídos) causados pelo filtro passa-alto quando este for muito "forte".



Fig. L.6 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção NE.



Fig. L.7 - Classificação dos lineamentos tonais na direção NE.

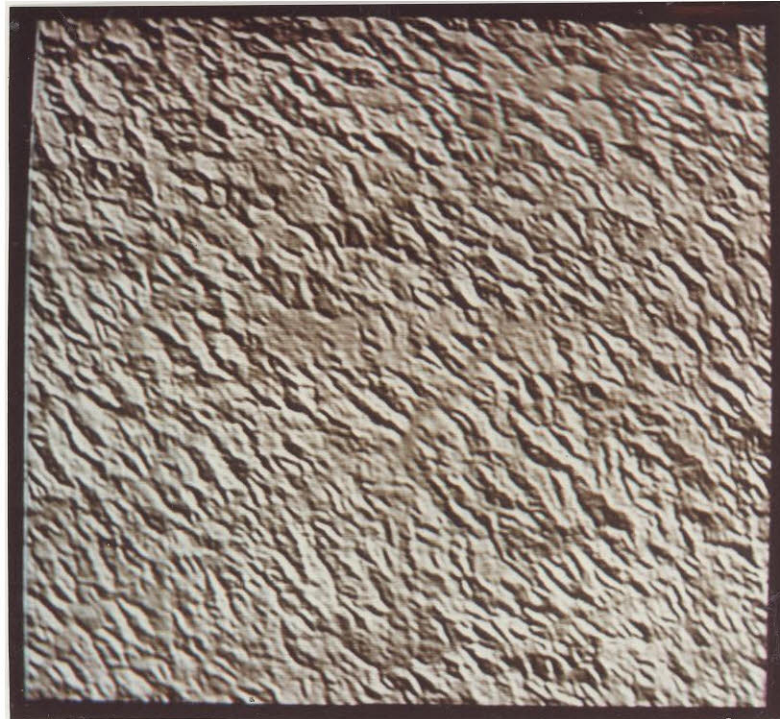


Fig. L.8 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção NW.

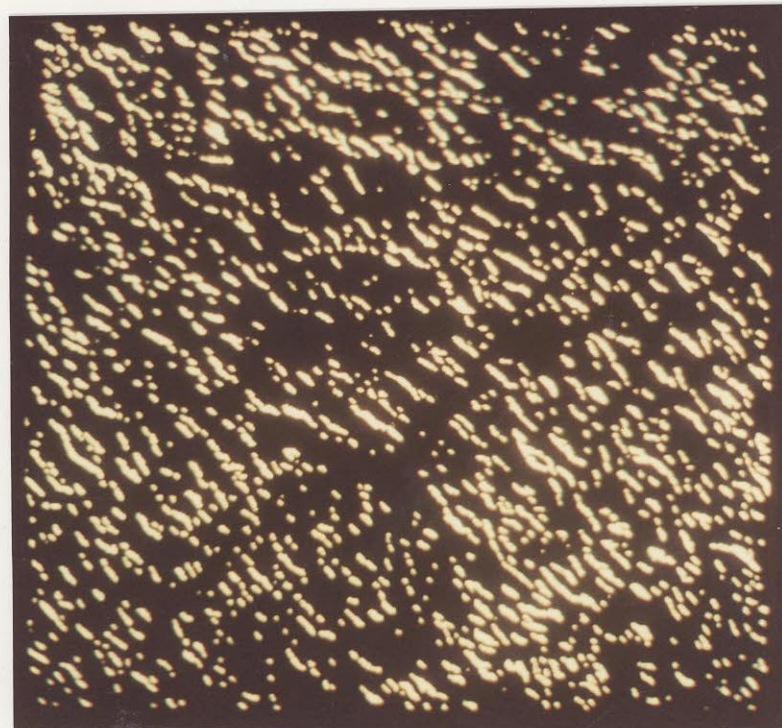


Fig. L.9 - Classificação de lineamentos tonais na direção NW.

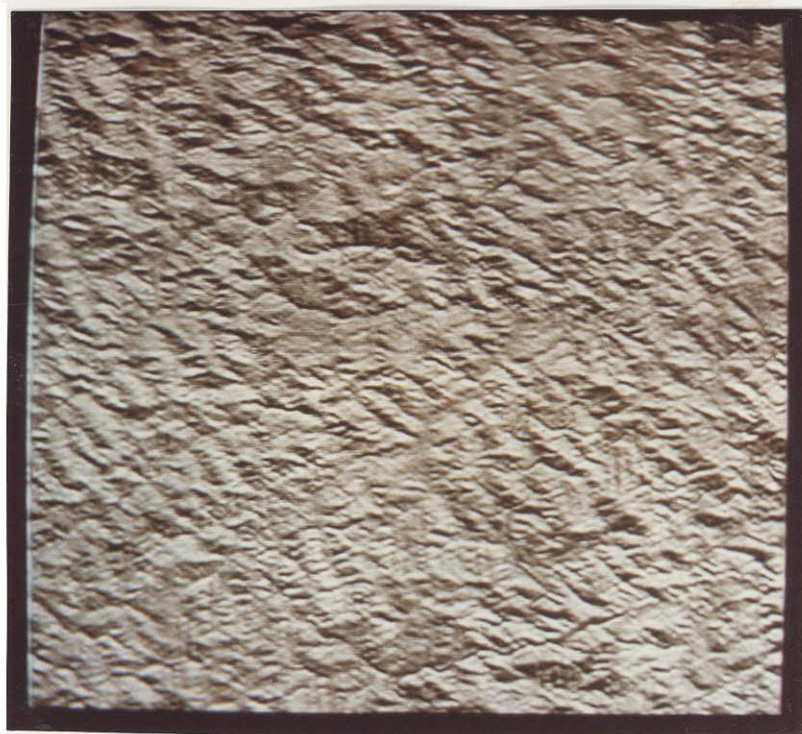


Fig. L.10 - Filtragem usada para realçar lineamentos na direção E-W.



Fig. L.11 - Classificação dos lineamentos tonais na direção E-W.

L.6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método aqui apresentado procura auxiliar e dinamizar a interpretação visual, estando no entanto sujeito a erros, que podem ser minimizados mas, talvez, não eliminados.

Desta forma, cabe ao usuário avaliar as vantagens e limitações do método e aplicá-lo, de acordo com suas necessidades e objetivos de trabalho.

A combinação destas técnicas com a análise visual do fotointérprete, por certo produzirá excelentes resultados, desfrutando-se das vantagens do método sem absorver possíveis erros por ele introduzidos.

A continuidade dos trabalhos nesse sentido deve melhor analisar os efeitos de sombreamento causados por diferentes elevações e âzimutes solares em função do tipo de relevo, novos filtros mais adequados às direções específicas e análise estatística dos resultados no sentido de eliminar dados anômalos considerados.