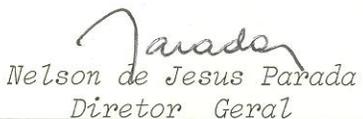
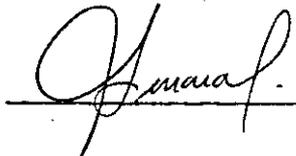
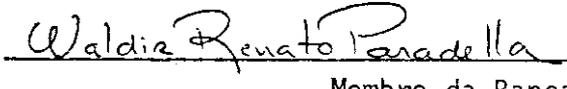


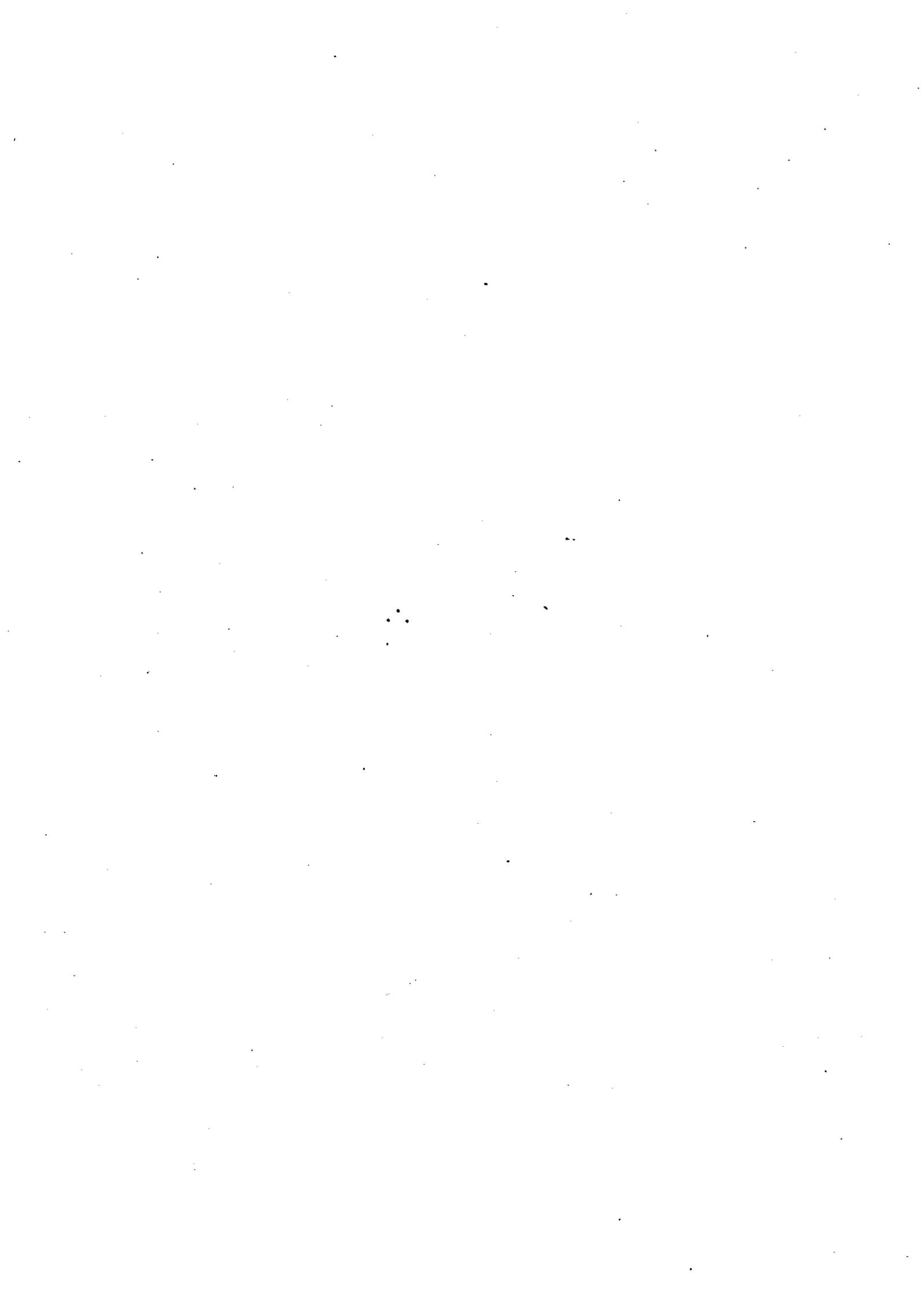
1. Publicação nº <i>INPE-3210-TDL/174</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH-DSR</i>	Programa <i>FRH/SR</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>QUADRILÁTERO FERRÍFERO REINTERPRETAÇÕES ESTRUTURAIS</i> <i>SENSORIAMENTO REMOTO COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:552.56(815.1)</i>			
8. Título <i>ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES PRODUTOS DE SISTEMAS SENSORES APLICADOS À ANÁLISE LITOLÓGICO-ESTRUTURAL NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS</i>		10. Páginas: <i>216</i>	
		11. Última página: <i>A.1</i>	
		12. Revisada por  <i>Gilberto Amaral</i>	
9. Autoria <i>Claudio Riccomini</i>		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas <i>Através de um exame integrado de produtos de sensores remotos, tais como imagens RBV-LANDSAT e MSS-LANDSAT, imagens e mosaicos semicontrolados de radar (MISSÃO 96 da NASA e PROJETO RADAMBRASIL) e fotografias aéreas Ektachrome MS Aerographic e Ektachrome IR Aerographic (MISSÃO 96 da NASA) foi possível a execução de um estudo comparativo do desempenho destes produtos na análise litológico-estrutural no Quadrilátero Ferrífero. A metodologia adotada consistiu basicamente na interpretação visual. Os produtos da fotointerpretação foram, então, comparados com dados bibliográficos e mapas geológicos disponíveis, ao que se seguiu uma investigação de campo. Verificou-se no geral um bom desempenho principalmente dos sistemas RBV e MSS-LANDSAT, os quais em termos de mapeamento geológico proporcionaram um nível de informações compatível com suas escalas de apresentação. Os demais produtos complementaram e permitiram, em alguns casos, até um refinamento dos dados. Como principais resultados tem-se a caracterização de certas feições, já a partir de produtos de pequena escala (imagens LANDSAT 1:500 000), algumas delas até então não registradas mesmo nos mapas mais detalhados da região, em 1:25 000. Dentre estas, destacam-se o Domo de Engenheiro Correia, o lineamento ao longo do Rio Piracicaba, alguns falhamentos, especialmente na borda oeste do Sinclinal da Moeda, bem como evidências de ligação entre os quartzitos da Serra do Espinhaço com o Quadrilátero Ferrífero, através da Serra das Combotas. Destaca-se também a aplicabilidade de alguns dos dados obtidos na prospecção de recursos minerais na região.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 18 de julho de 1983.</i>			

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

Dr. Icaro Vitorello	 _____	Presidente
Dr. Gilberto Amaral	 _____	Orientador
Dr. João Batista Moreschi	 _____	Membro da Banca -convidado-
Dr. Yociteru Hasui	 _____	Membro da Banca -convidado-
Geo. Waldir Renato Paradella, MSc.	 _____	Membro da Banca

Candidato: Claudio Riccomini

São José dos Campos, 18 de julho de 1983



AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus mais sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e entidades que colaboraram na execução deste estudo.

Ao Professor Dr. Gilberto Amaral pela dedicação e paciência com que orientou o presente trabalho.

Ao colega Waldir Lopes Ponçano pelo estímulo e confiança depositados, vitais para a conclusão deste trabalho.

Aos geólogos Dr. Ícaro Vitorello e Ginaldo Ademar da Cruz Campanha pela colaboração em parte dos trabalhos de campo, discussões e sugestões.

Ao colega Waldir Renato Paradella pelo estímulo constante e discussões sobre a geologia da área e, sobretudo, pelo auxílio no processamento automático de imagens; e sou grato aos colegas Liu Chan Chiang, Paulo Roberto Menezes, Raimundo Almeida Filho e Paulo Roberto Martini, pelo apoio fornecido e pelas discussões.

Aos Profs. Drs. João Batista Moreschi e Yociteru Hasui, membros convidados da Banca Examinadora, pelas discussões e sugestões valiosas para a elaboração do texto final do trabalho.

Ao Álvaro Penteado Crôsta e Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, não apenas pelas discussões, sugestões e incentivo recebidos, mas, principalmente, pela agradável convivência em São José dos Campos.

Ao Atsushi Suemitsu que executou as análises petrográficas e colaborou na discussão dos resultados e Amélia João Fernandes que também auxiliou na interpretação dos dados petrográficos.

Ao pessoal do DRH-INPE, Edmêa, Cidinha, Truddy e Dr. Ralf, pela paciência que tiveram nestes últimos cinco anos.

Armando Márcio Coimbra, Prof. Dr. Fernando Flávio Marques de Almeida, José Carlos Moreira, Ricardo Cartaxo M. Souza, Celso Dal Rê Carneiro, Carlos Alberto Steffen, Maria do Carmo S.R. dos Santos, Marx Prestes Barbosa, Renê Antonio Novaes, Dr. Cêzar Celeste Ghizoni, Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa, Juan José Verdésio Bentancurt, Dirceu P. Stein, Clarice Riccomini, Mário Juiti Motidome, Francisco J. Fonseca Ferreira, Dr. Carl Robert Anhaeusser, Dr. Hans D. Schorscher, Dr. Herman Kux, Mohamed Ali Al Chamin, Vital Y. Assano, Fernando Pellon de Miranda, Roberto Goitein, Adalberto da Silva, além da Junta de Investigações do Ultramar (Lisboa, Portugal), pela colaboração decisiva em diferentes etapas deste estudo.

Aradi J. Cruz e Rosely M. Gimenez executaram os trabalhos de datilografia. As ilustrações foram confeccionadas por Damaris R. Martins e Mirna M. Ferracini. Sra. Maria Bernardete C. de Souza sempre providenciou com rapidez as imagens necessárias. O Sr. Júlio Sinkus e a Sra. Vera M. Duch Crôsta, ofereceram parte do apoio técnico necessário. A todos eles sou muito grato.

Não poderia deixar também de expressar agradecimentos às seguintes instituições:

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pela acolhida durante os cursos de pós-graduação, pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho e pela concessão de complementação de bolsa de mestrado.

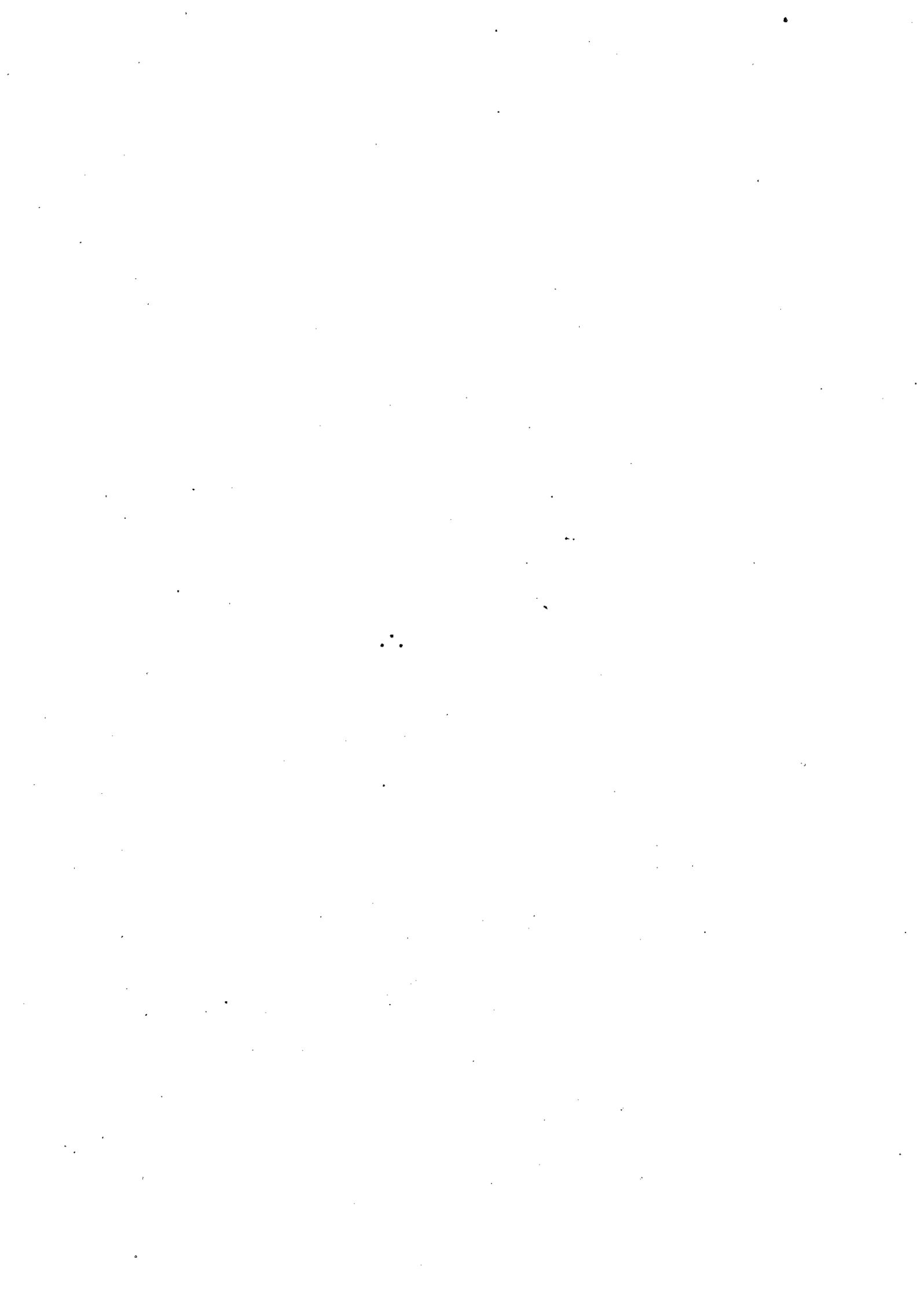
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsas.

A FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos pelo custeio de parte dos trabalhos de campo.

Em especial, agradecemos ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo que viabilizou em todos os sentidos a conclusão deste estudo, na pessoa do Dr. Ricardo Fernandes da Silva.

ABSTRACT

Through the integrated analysis of remote sensing products, such as RBV-LANDSAT and MSS-LANDSAT imagery (channels 5, 6 and 7, in paper prints and computer compatible tapes - CCTs in the MSS case), semicontrolled mosaics of radar airborne imagery (NASA Mission 96 and RADAMBRASIL Project) and aerial Ektachrome MS Aerographic and Ektachrome IR Aerographic photographs (NASA Mission 96), it has been developed a comparative study of the performance of these products in the lithologic-structural analysis of the Quadrilátero Ferrífero area (Minas Gerais State, Brazil). The adopted methodology consisted basically on visual interpretation, first of the small scale products (LANDSAT and radar imagery), and afterwards of the middle scale products (LANDSAT MSS enlarged and processed in the Image-100 computer), and finally the large scale products (aerial photographs). The results obtained from photointerpretation were then compared to available geological maps and bibliography which was followed by a field investigation. RBV and MSS-LANDSAT imagery has demonstrated a good performance in geological mapping, with an information degree compatible to their scales of presentation. The other products complement or even improve those data. The main results of the study are the characterization of certain features beginning with small scale products (MSS-LANDSAT imagery at 1:500 000 scale), some of them insofar not recognized even in the more detailed maps of the region at 1:25 000 scale. Among these, the more outstanding are the Engenheiro Correia Dome, the lineament along the Piracicaba River, some faults, specially those of the western border of the Moeda Syncline, as well as the evidences of linking between the quartzites of the Serra do Espinhaço and Quadrilátero Ferrífero, through the Serra das Cambotas. Besides that, it was identified a great number of lineaments and circular features, whose relationship with terrain structures still need more detailed field work to be elucidated. The applicability of some of the acquired data to mineral prospecting in the area is also pointed out.



SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE TABELAS	xxv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Generalidades	1
1.2 - A área de estudo	2
1.3 - Objetivos	3
1.4 - Aspectos fisiográficos	4
1.5 - Geomorfologia	5
<u>CAPÍTULO 2 - FONTES DE INFORMAÇÃO E METODOLOGIA</u>	13
2.1 - Fontes de informação	13
2.1.1 - Material bibliográfico	13
2.1.2 - Produtos de sensores remotos	17
2.1.2.1 - Histórico dos levantamentos executados e produtos obtidos	17
2.1.2.2 - Produtos de sensores utilizados	25
2.1.2.3 - Principais características dos produtos de sensores remotos utilizados	29
2.2 - Metodologia	49
2.2.1 - Coleta de materiais e pesquisa bibliográfica	50
2.2.2 - Interpretação de imagens MSS LANDSAT em 1:500 000.....	51
2.2.3 - Interpretação de imagens MSS e RBV LANDSAT e mosaicos RADAMBRASIL em 1:250 000 e "strips" de radar da Missão 96 NASA em 1:360 000	54
2.2.4 - Análise automática de imagens MSS LANDSAT	55
2.2.4.1 - Correções geométricas, radiométricas e delimitação de área	56
2.2.4.2 - Técnicas digitais de processamento	57
2.2.5 - Trabalhos de campo (1a. Etapa)	72
2.2.6 - Reinterpretação de imagens	72
2.2.7 - Análise e classificação automática no Image-100	72
2.2.8 - Interpretação de fotografias aéreas MS e IR da Missão 96	73

	Pág.
2.2.9 - Trabalhos de campo (2a. etapa)	73
2.2.10 - Análise dos dados petrográficos	73
2.2.11 - Integração dos dados e conclusões	73
<u>CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO</u>	75
3.1 - Estratigrafia	75
3.1.1 - Sequências metassedimentares e metavulcânicas Prê-Cambrianas	75
3.1.1.1 - Evolução dos conhecimentos e situação atual	75
3.1.1.2 - Problemas de nomenclatura estratigráfica	95
3.1.2 - Rochas granito-gnâissicas (migmatíticas), máficas e ultramáficas	97
3.1.2.1 - Terrenos granito-gnâissicos	97
3.1.2.2 - Rochas máficas e ultramáficas	100
3.1.3 - Depósitos sedimentares cenozóicos	101
3.2 - Estruturas	101
3.3 - Geocronologia	103
3.4 - Considerações gerais	104
<u>CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORES REMOTOS E INTEGRAÇÃO</u>	107
4.1 - Imagens MSS-LANDSAT em 1:500 000	107
4.2 - Imagens MSS e RBV-LANDSAT em 1:250 000, "strips" de Radar da Missão 96 em 1:360 000 e mosaicos RADAMBRASIL em 1:250 000	114
4.3 - Análise automática de Imagens MSS-LANDSAT	123
4.3.1 - Sinclinal da Moeda	123
4.3.2 - Complexo de Bação	133
4.3.3 - Serra do Caraça - Sinclinal Gandarela - Serra das Cambotas	146
4.4 - Fotografias aéreas da Missão 96 da NASA	146
4.5 - Integração dos dados com mapas e trabalhos prévios	147
4.6 - Trabalhos de campo	155
4.6.1 - Serra do Caraça - Sinclinal Gandarela - Serra das Cambotas	155
4.6.2 - Sinclinal da Moeda	156
4.6.3 - Complexo de Bação	156
4.6.4 - Serra do Ouro Branco	157

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 5 - PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	159
5.1 - Contribuição à geologia da área	159
5.1.1 - Complexo de Bação	159
5.1.2 - Sinclinal da Moeda	170
5.1.3 - Serra das Cambotas-Sinclinal Gandarela-Serra do Caraça	172
5.1.4 - Considerações Gerais	173
5.2 - Produtos de sensores remotos	175
5.2.1 - Imagens LANDSAT	175
5.2.1.1 - Análise Visual de imagens MSS-LANDSAT	176
5.2.1.2 - Classificação automática das imagens MSS-LANDSAT ...	177
5.2.1.3 - Imagens RBV - LANDSAT	178
5.2.2 - Imagens de radar	179
5.2.3 - Fotografias aéreas da Missão 96 da NASA	180
5.2.4 - Considerações gerais	181
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES</u>	183
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
APÊNDICE - COMPLEXO DE BAÇÃO - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE DADOS GEO LÓGICOS	

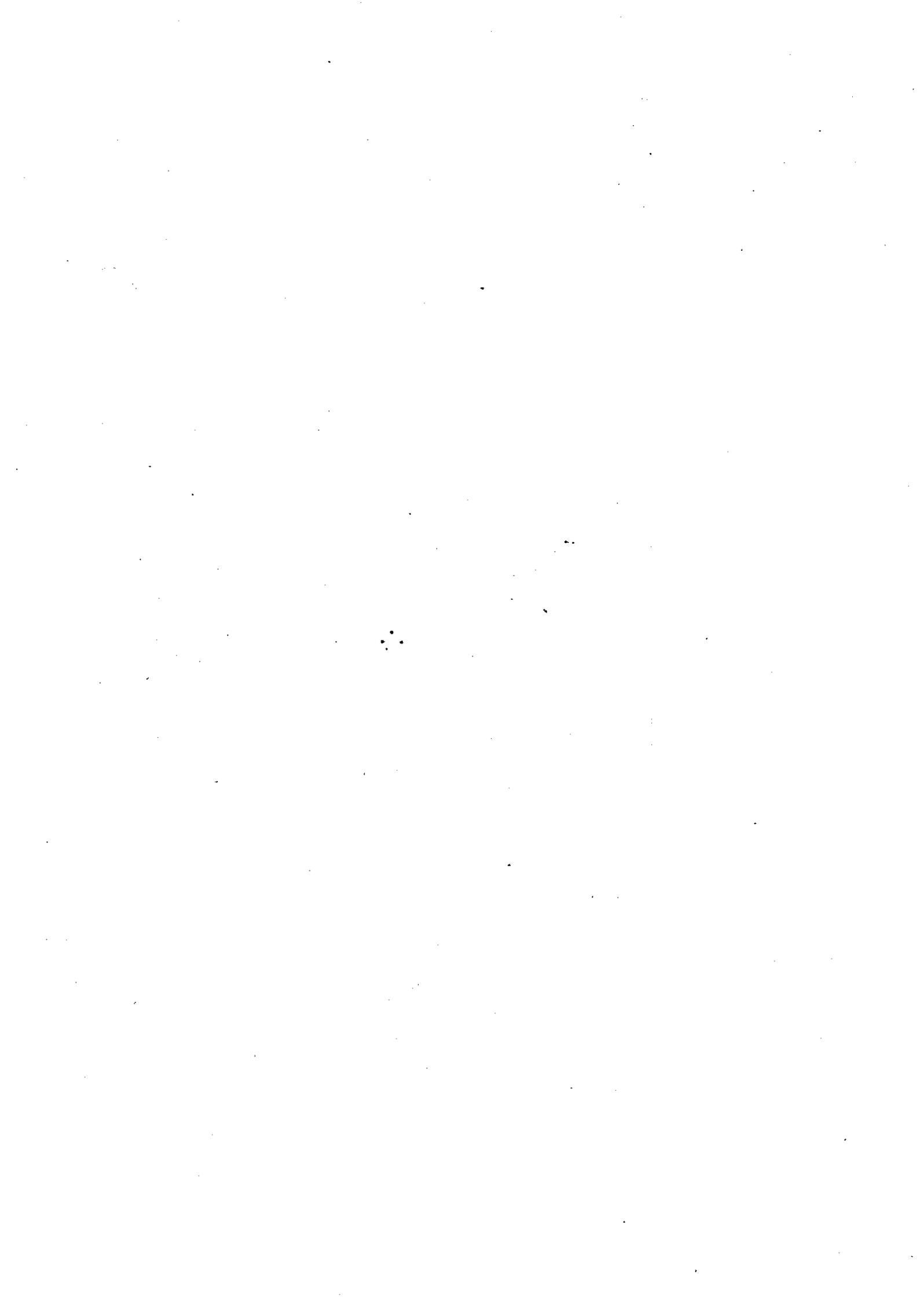


LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Limites máximos da área de interesse	4
1.2 - Esboço do Quadrilátero Ferrífero mostrando a distribuição dos níveis de erosão	8
2.1 - Documentação geológica básica utilizada e/ou consultada. Mapas geológicos em 1:25 000 (DNPM-USGS)	14
2.2 - Documentação geológica básica utilizada e/ou consultada...	16
2.3 - Princípios de funcionamento do sistema de radar de visada lateral	31
2.4 - Geometria do imageamento do radar da Missão 96.....	33
2.5 - Efeito de sombreamento do radar de visada lateral	37
2.6 - "Foreshortening"	38
2.7 - "Layover"	39
2.8 - Geometria "ground range" (A) e "slant range" (B) em imagens de radar de visada lateral	40
2.9 - Efeito de compressão no "near range", Península de La Palma, Província de Darien, Panamá.....	42
2.10 - Curva de sensibilidade espectral e estrutura do filme Ektachrome MS Aerographic 2448 da Kodak	47
2.11 - Curva de transmissão espectral do filtro Wratten 15 da Kodak.....	47
2.12 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a parte norte do Sinclinal da Moeda.....	67
2.13 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processo das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e produtos obtidos para a porção sul do Sinclinal da Moeda.	68
2.14 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região do Complexo de Baçãõ	69
2.15 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região da Serra do Carajá e Sinclinal da Alegria.....	70
2.16 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região da Serra das Cambotas	71

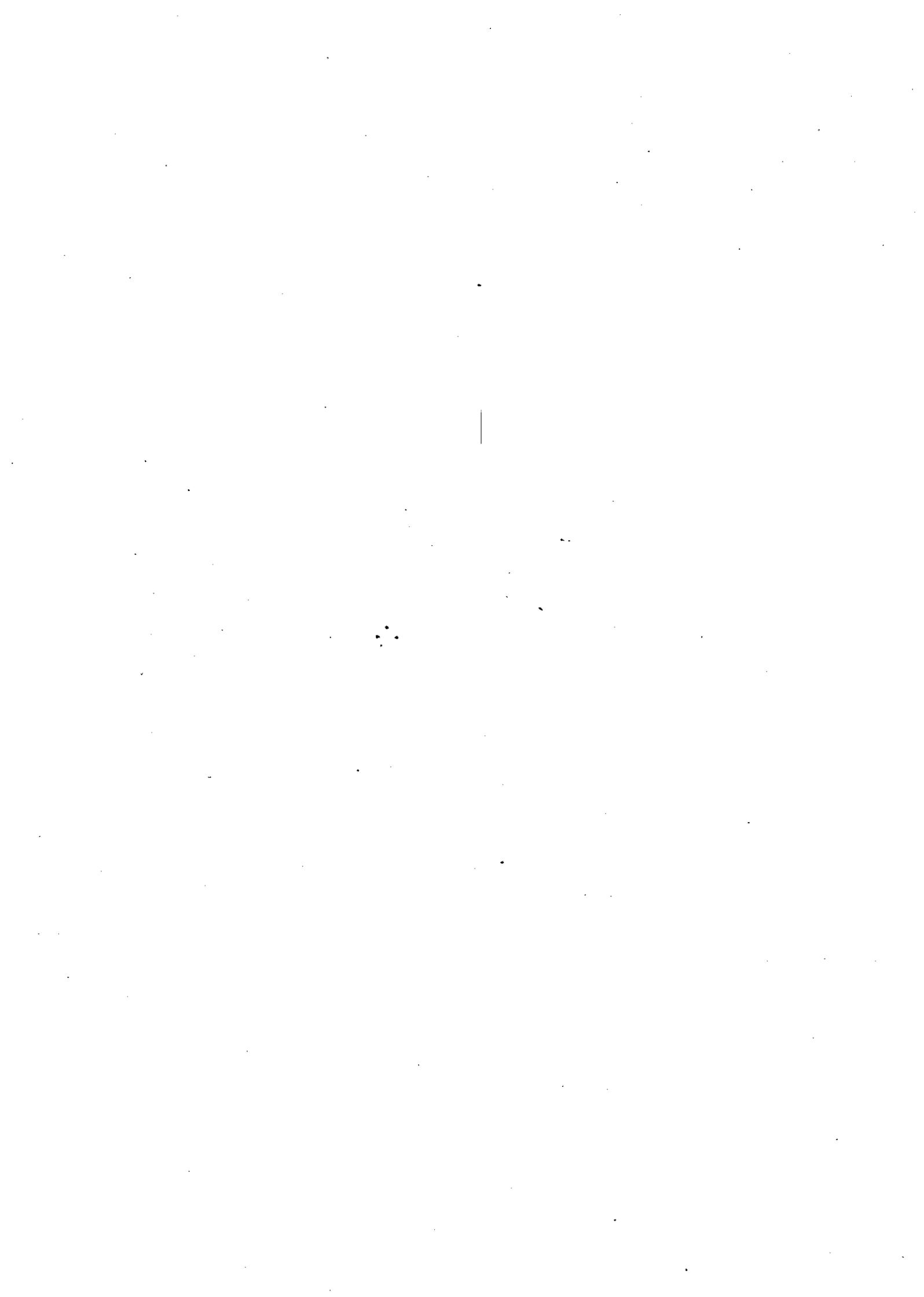
	<u>Pág.</u>
3.1 - Mapa geológico da região central de Minas Gerais	78
3.2 - Mapa geológico da região central de Minas Gerais	87
3.3 - Blocos-diagramas esquemáticos mostrando as hipóteses de O'Rourke e Gair	*
3.4 - Quadro comparativo entre as rochas da região de Monlevade-Rio Piracicaba e as rochas das partes central e oeste do Quadrilátero Ferrífero	88
3.5 - Correlação do Grupo Tamanduá segundo Simmons e Maxwell, (1961) e segundo Moore (1969)	91
3.6 - Coluna estratigráfica adotada neste trabalho	99
4.1 - Quadrilátero Ferrífero - Imagem MSS-LANDSAT no canal 5, em escala aproximada 1:1.250.000	108
4.2 - Quadrilátero Ferrífero - Imagem MSS-LANDSAT no canal 7, em escala aproximada 1:1.250.000	108
4.3 - Imagem MSS-LANDSAT, canal 7, mostrando o lineamento ao longo do Rio Piracicaba; escala aproximada-1:1.200.000..	109
4.4 - Imagem MSS-LANDSAT, canal 5, mostrando outro lineamento aproximadamente paralelo e ao sul do anterior, escala aproximada 1:1.200.000	109
4.5 - "Strip" de radar de visada lateral da Missão 96 da NASA, correspondente à porção leste do Quadrilátero Ferrífero, com polarizações HH (esquerda) e HV (direita)	115
4.6 - "Strip" adjacente ao da Figura 4.5, situado mais a leste, com características geométricas semelhantes aos da figura anterior	116
4.7 - "Strip" adjacente ao da Figura 4.6, mais a leste.....	117
4.8 - Esboço fotogeológico da região das Serras das Cambotas, Caraça e do Sinclinal Gandarela, obtido pela interpretação visual das imagens MSS-LANDSAT em 1:250.000, "strips" do Radar da Missão 96 e mosaicos RADAMBRASIL	119
4.9 - Par estereoscópico de imagens MSS-LANDSAT (Canal 6) adjacentes, correspondente à região do Sinclinal da Moeda, escala aproximada 1:600.000	120
4.10 - Esboço fotogeológico do flanco oeste do Sinclinal Moeda. (Serra da Moeda)	121
4.11 - Parte do mosaico RADAMBRASIL corresponde à região do Sinclinal da Moeda, escala aproximada da foto 1:570.000 ...	122
4.12 - Parte da cena MSS-LANDSAT, canal 7, correspondente à região do Complexo de Bação, escala aproximada 1:200.000..	124
4.13 - Resultado da fotointerpretação da imagem da figura anterior	125

	<u>Pág.</u>
4.14 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (a noroeste)	126
4.15 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (cena levemente deslocada para leste em relação à anterior)	127
4.16 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (mesma localização que a foto anterior)	128
4.17 - Parte sul do Sinclinal da Moeda	129
4.18 - Parte sul do Sinclinal da Moeda	130
4.19 - Parte norte do Sinclinal da moeda; classificação automática supervisionada MAXVER	134
4.20 - Região do Complexo de Bação	135
4.21 - Região do Complexo de Bação	136
4.22 - Complexo de Bação	137
4.23 - Complexo de Bação	138
4.24 - Complexo de Bação	139
4.25 - Complexo de Bação	140
4.26 - Complexo de Bação	141
4.27 - Complexo de Bação	142
4.28 - Complexo de Bação	143
4.29 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça	148
4.30 - Serra do Caraça e Sinclinal da Alegria	149
4.31 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça	150
4.32 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça	151
4.33 - Serra do Caraça e Sinclinal da Alegria	152
4.34 - Junção entre a Serra das Cambotas (centro) e o Sinclinal Gandarela (faixa NE-SW, cortando a metade inferior da foto)	153
4.35 - Junção entre a Serra das Cambotas e o Sinclinal Gandarela	154
5.1 - Seção geológica esquemática da porção centro-sul do Complexo Bação	161
5.2 - Esboço geológico do Domo de Engenheiro Correia	162
5.3 - Diagrama QAP	165
5.4 - Composição de algumas rochas do Complexo de Bação conforme diagrama QAP	166
5.5 - Campos de variação composicional de rochas do Complexo de Bação	167
5.6 - Distribuição generalizada das unidades arqueanas	174



LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Níveis de erosão do Quadrilátero Ferrífero	6
2.1 - Tipos de produtos fotográficos LANDSAT disponíveis	23
2.2 - Produtos LANDSAT utilizados	26
2.3 - Mosaicos semicontrolados de radar utilizados (RADAMBRA - SIL).....	26
2.4 - Missão 96 - produtos utilizados	27
2.5 - Características espectrais do sistema MSS-LANDSAT	48
2.6 - Configuração dos filtros digitais utilizados, com exem plos de combinações de pesos	61
4.1 - Classificação MAXVER (limiar = 5) - matriz de classifi cação (em porcentagens)	132
4.2 - Principais componentes - parâmetros PRINCO	144
5.1 - Composição modal de algumas rochas do Complexo de Bação (dados em %)	163



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - GENERALIDADES

O rápido desenvolvimento dos sistemas sensores vem fornecendo um volume crescente de dados sobre o nosso planeta. A sua aplicação na pesquisa dos recursos terrestres tem experimentado um grande desenvolvimento, notadamente na última década.

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão vinculado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vem desenvolvendo, há pouco mais de dez anos, metodologias de utilização de produtos de sensores remotos, em várias áreas de aplicação, entre as quais a pesquisa de recursos naturais.

No campo da geologia, os estudos do INPE estão concentrados no Departamento de Sensoriamento Remoto, onde se enquadra o presente projeto.

Desenvolvido ao longo dos últimos quatro anos, este estudo teve seu início em fins de 1978, por ocasião do envolvimento do autor nos cursos de pós-graduação ministrados pelo INPE, contando com bolsas de estudo fornecidas inicialmente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, posteriormente pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e auxílio para trabalhos de campo oriundo do convênio INPE-FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), tendo sido concluído sob os auspícios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no âmbito de sua Divisão de Minas e Geologia Aplicada (Agrupamento de Geologia Geral).

Este trabalho consubstancia os resultados alcançados no desenvolvimento do projeto e procura fornecer alguns subsídios no tocante à metodologia de abordagem geológica para terrenos semelhantes

ao Quadrilátero Ferrífero, através da análise integrada de diferentes produtos de sensores remotos e dados geológicos.

1.2 - A ÁREA DE ESTUDO

As características geológicas singulares e a grande quantidade de materiais disponíveis foram fatores decisivos quanto à escolha do Quadrilátero Ferrífero como área de estudo.

A região em questão foi a primeira do Brasil utilizada como área-teste em sensoriamento remoto para fins geológicos. A Missão 96 (NASA, 1969), executada em convênio com a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE, atualmente INPE) pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), acumulou grande quantidade de material, incluindo imagens de radar de visada lateral, fotografias aéreas coloridas normais, infravermelhas em falsa-cor e multiespectrais, além de imagens termais. Além disso, existe um razoável número de imagens (cenas) LANDSAT de boa qualidade, passíveis de interpretação visual e análise automática, mosaicos semicontrolados de radar de visada lateral do Projeto RADAMBRASIL, bem como alguns mapas aeromagnetométricos.

Do ponto de vista geológico, a região do Quadrilátero Ferrífero é, com efeito, muito bem conhecida, em virtude sobretudo de sua abundância em recursos minerais (ferro, ouro, manganês, etc.).

Muitos geólogos perscrutaram a região nos últimos cento e cinquenta anos, incluindo alguns dos pioneiros da Geologia do Brasil, como W.L. Von Eschwege, H. Gorceix, Orville A. Derby e outros. Modernamente podem-se destacar os trabalhos dos técnicos da equipe conjunta do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e do United States Geological Survey (USGS) de cujo levantamento resultaram mapas geológicos de detalhe de quase toda a região, com sínteses apresentadas por Dorr II et alii (1961), Dorr II (1969), Herz (1970, 1978).

Esta combinação de fatores, ou seja, a abundância de estudos geológicos e a variedade de produtos de sensores remotos disponíveis, aliado ao fato de grande parte destes últimos estarem armazenados no banco de dados do INPE, tornou essa região especialmente favorável à execução do estudo aqui apresentado.

1.3 - OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto foi desenvolver um estudo comparativo entre os diferentes tipos de sistemas sensores utilizados na região do Quadrilátero Ferrífero, através dos produtos por eles obtidos, com a finalidade de avaliar as suas potencialidades em análises litológico-estruturais.

Como objetivos mais específicos podem-se destacar:

- a) promover uma reavaliação dos dados geológicos disponíveis para a região do Quadrilátero Ferrífero, com o apoio dos produtos de sensores remotos;
- b) testar o nível de aplicabilidade dos dados de sensoriamento remoto em análises litológico-estruturais, em diferentes escalas, através de caracterização das estruturas e litologias em vários níveis, com correspondência nos diferentes produtos de sensores remotos disponíveis para a região;
- c) pretendeu-se ainda elaborar um modelo de análise integrada de dados geológicos com dados de sensoriamento remoto, visando uma aplicação tentativa em áreas geologicamente semelhantes, e verificar a aplicabilidade dos dados na prospecção de recursos minerais na região.

1.4 - ASPECTOS FISIográficos

A área escolhida para a realização do presente estudo localiza-se na porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, possuindo como limites máximos os paralelos $19^{\circ}30'00''$, $20^{\circ}37'00''$, e os meridianos $43^{\circ}00'00''$ e $44^{\circ}30'00''$ (Figura 1.1).

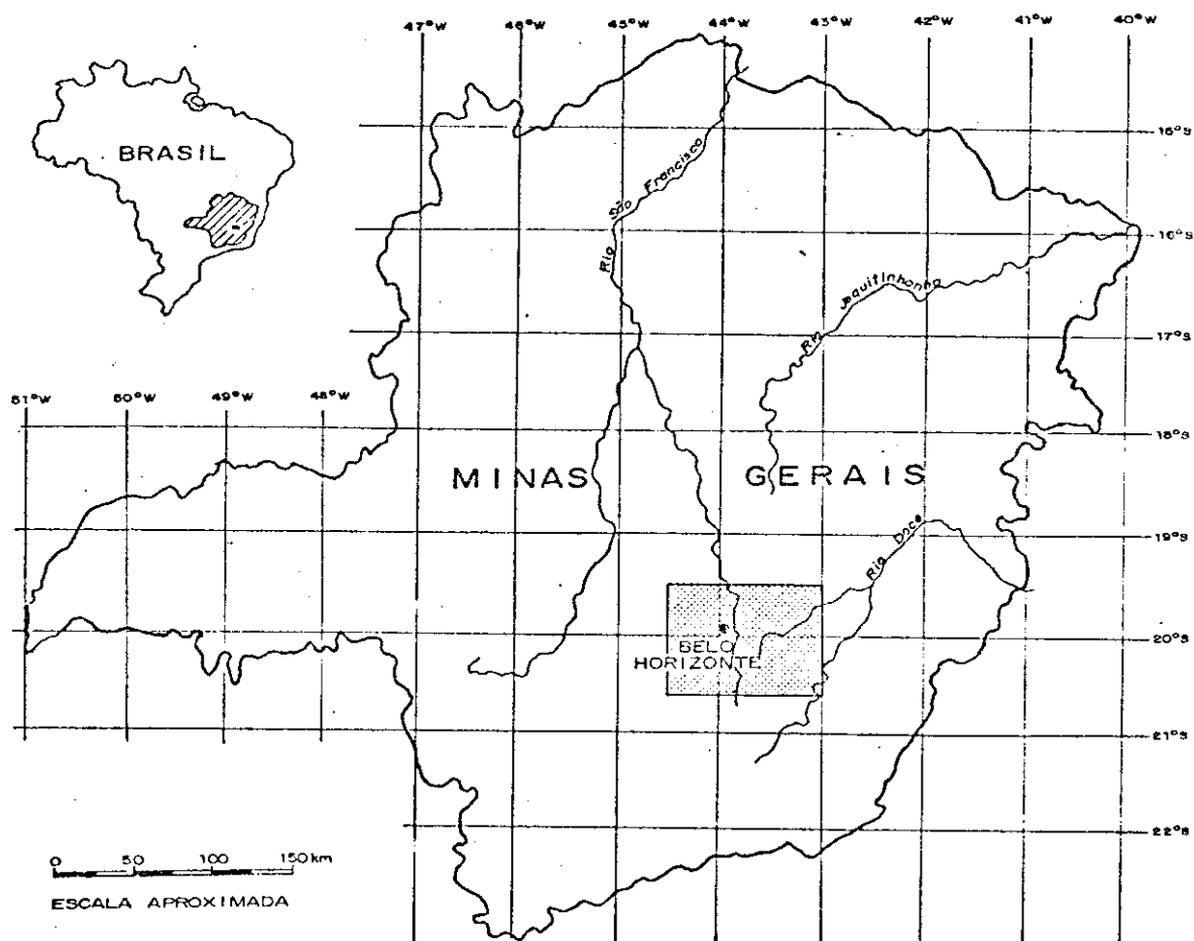


Fig. 1.1 - Limites máximos da área de interesse.

O clima da região é subtropical. Os extremos de temperatura são bastante variáveis, raramente superando 30°C, com média anual ligeiramente inferior a 20°C. A pluviosidade média varia entre algo abaixo de 1500 mm até pouco superior a 2000 mm, aumentando para sudeste (Dorr II, 1969).

O Quadrilátero Ferrífero comporta-se como o divisor de águas das bacias de dois grandes rios: o São Francisco e o Doce. Tributários desses rios principais drenam a área em questão. São eles o rio das Velhas que corta a porção central e o rio Paraopeba, a oeste da área, ambos afluentes do rio São Francisco; e os rios Piracicaba, a nordeste, e Gualaxo do Norte e Carmo na porção leste-sudeste, afluentes do rio Doce.

1.5 - GEOMORFOLOGIA

O desenvolvimento morfológico do Quadrilátero Ferrífero foi condicionado por um complexo conjunto de fatores, envolvendo aspectos litológicos e estruturais, bem como uma complexa história de levantamentos epeirogênicos (Dorr II, 1969).

King (1956) reconheceu a presença de cinco ciclos de erosão na porção leste brasileira. Denominou-os Gondwana, pós-Gondwana, Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu, do mais antigo para o mais recente, respectivamente. Estes ciclos destruíram cinco superfícies com denominações homônimas às dos citados.

Dos cinco ciclos reconhecidos por King (1956) os quatro mais antigos fazem-se presentes no Quadrilátero Ferrífero e foram correlacionados a quatro dos oito níveis erosionais principais reconhecidos na região por Dorr II (1969). Estas correlações estão expostas na Tabela 1.1.

TABELA 1.1

NÍVEIS DE EROÇÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

ALTITUDE	ÁREA COM MELHOR DESENVOLVIMENTO	IDADE (King, 1956)	NOME (King, 1956)
2000 - 2100	Serra do Caraça	...	...
1750 - 1850	Serra do Caraça - Itacolomi	...	...
1500 - 1650	Conta História - Tutamea	triássica	Gondwana
1250 - 1400	Serra do Rola Moça - Sinclinal da Moeda	cretácica	pós-Gondwana
1100 - 1200	Flancos da Serra do Curral	...	...
1000 - 1100	Lagoa Seca - parte central do Sinclinal Gandarela	...	...
850 - 950	Vale do rio das Velhas - Chapada de Canga	Terciário Médio	Sul-Americano
700 - 750	Vale do rio das Velhas	final do Terciário	Velhas

FONTE: Dorr II (1969), p. A11.

Recentemente Barbosa (1980), adotando métodos morfométricos, verifica a presença de 91 restos de superfícies. Entretanto, concluiu pela impossibilidade de constatar níveis regionais de aplainamento, seguramente mapeáveis e datáveis. Assim, este autor reuniu estes 91 restos de superfície em três grupamentos, tomando como base critérios de campo, dados estruturais e materiais de cobertura, sobretudo crostas ferruginosas.

O grupamento dos níveis superiores ou das "Superfícies Cimeiras" (Barbosa, 1980) acha-se preservado nas Serras do Caraça e Ouro Branco, além do Pico do Itacolomi (Figura 1.2). Está associado às formações quartzíticas presentes nestas áreas, apresentando altitudes situadas entre 1879 e 1886 metros na Serra do Caraça, com restos correlacionáveis desnivelados tectonicamente e presentes nas outras duas localidades, bem como em porções mais restritas na própria Serra do Caraça.

O grupamento médio ou "da 2a. geração" (Barbosa, 1980) tem sua ocorrência relacionada às grandes estruturas dobradas sob a forma de sinclinais. Assim, faz-se presente no Sinclinal de Moeda (Serras da Moeda e de Itabirito), com altitudes variando entre 1146m na porção sul da Serra da Moeda até 1452 m na Serra de Itabirito, Sinclinal Gandarela, com níveis entre 1050-1600 metros, e Serra do Curral onde se verificam variações entre 1068m na Serra do Sabará e 1434m da Serra do Motuca.

O grupamento mais jovem ou "da 3a. geração" (Barbosa, 1980) está relacionado à dissecação atual ou subatual, promovida pela incisão da rede de drenagem no piso do pediplano do interior do Sinclinal da Moeda.

A importância do reconhecimento preciso das diferentes superfícies do Quadrilátero Ferrífero vincula-se ao fato de que estas truncam praticamente todas as litologias presentes na região, com muitas jazidas de enriquecimento supérgeno a elas relacionadas (Barbosa, 1980; Dorr II, 1969).

Em termos de compartimentação, a área correspondente ao Quadrilátero Ferrífero está compreendida no denominado Planalto Atlântico de Aroldo de Azevedo, onde podem ser definidas diversas zonas fisiográficas ou morfotectônicas (IPT, 1981).

Dentro desta província geomorfológica, o IPT (1981), seguindo princípios e metodologia estabelecidas por Ponçano et alii (1979, 1981) e Carneiro et alii (1981) para a subdivisão geomorfológica do Estado de São Paulo, reconheceu três subdivisões, correspondentes a três diferentes zonas, denominadas: Serra do Espinhaço, Planalto de Belo Horizonte e Alto Rio Doce.

A quase totalidade da área do Quadrilátero Ferrífero está compreendida na *Zona Serra do Espinhaço*. Nela comparecem rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas e rochas proterozóicas do Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e Grupo Espinhaço. Falhamentos de empurrão, com deslocamentos de leste para oeste representativos de uma intensa atividade tectônica ocorrida no Ciclo Brasileiro, caracterizam a borda oriental da região (IPT, 1981).

A resistência dos numerosos corpos de quartzitos e itabiritos dessas estruturas favoreceu a elaboração de relevos bastante acidentados, constituídos predominantemente por cristas monoclinais. As altitudes ultrapassam frequentemente os 1500 metros, atingindo 2107 m no Pico do Sol na Serra do Caraça (IPT, 1981).

Para o IPT (1981), poucos testemunhos parecem sugerir a existência de antigas superfícies de erosão na região (Serra do Ouro Branco com 1600 m e Pico do Itabirito, 1550 m). Estas evidências indicam uma associação com a superfície Gonduana de King (1956), idéia esta compartilhada por Dorr II (1969), superfície esta retalhada no Quadrilátero Ferrífero pelo Ciclo de Desnudação Pós-Gonduana (King, 1956) do Cretáceo Superior. Estes testemunhos relacionam-se também aos níveis da Superfície Cimeira de Barbosa (1980). Entretanto, tanto para Barbosa (1980) quanto para o IPT (1981), os elementos dispo

níveis são insuficientes para datar o ciclo erosivo durante o qual se desenvolveu essa superfície, bem como para correlacioná-la com outras superfícies de erosão do Planalto Atlântico.

O *Planalto de Belo Horizonte* na área de interesse deste estudo, ocupa toda a porção situada a oeste da vertente ocidental da Serra do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero, e uma pequena porção a sul deste último (região de Congonhas). Compreende rochas granito-gnâissicas antigas (em parte presumivelmente arqueanas) (Herz, 1970), na porção leste, além de rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas, ao sul.

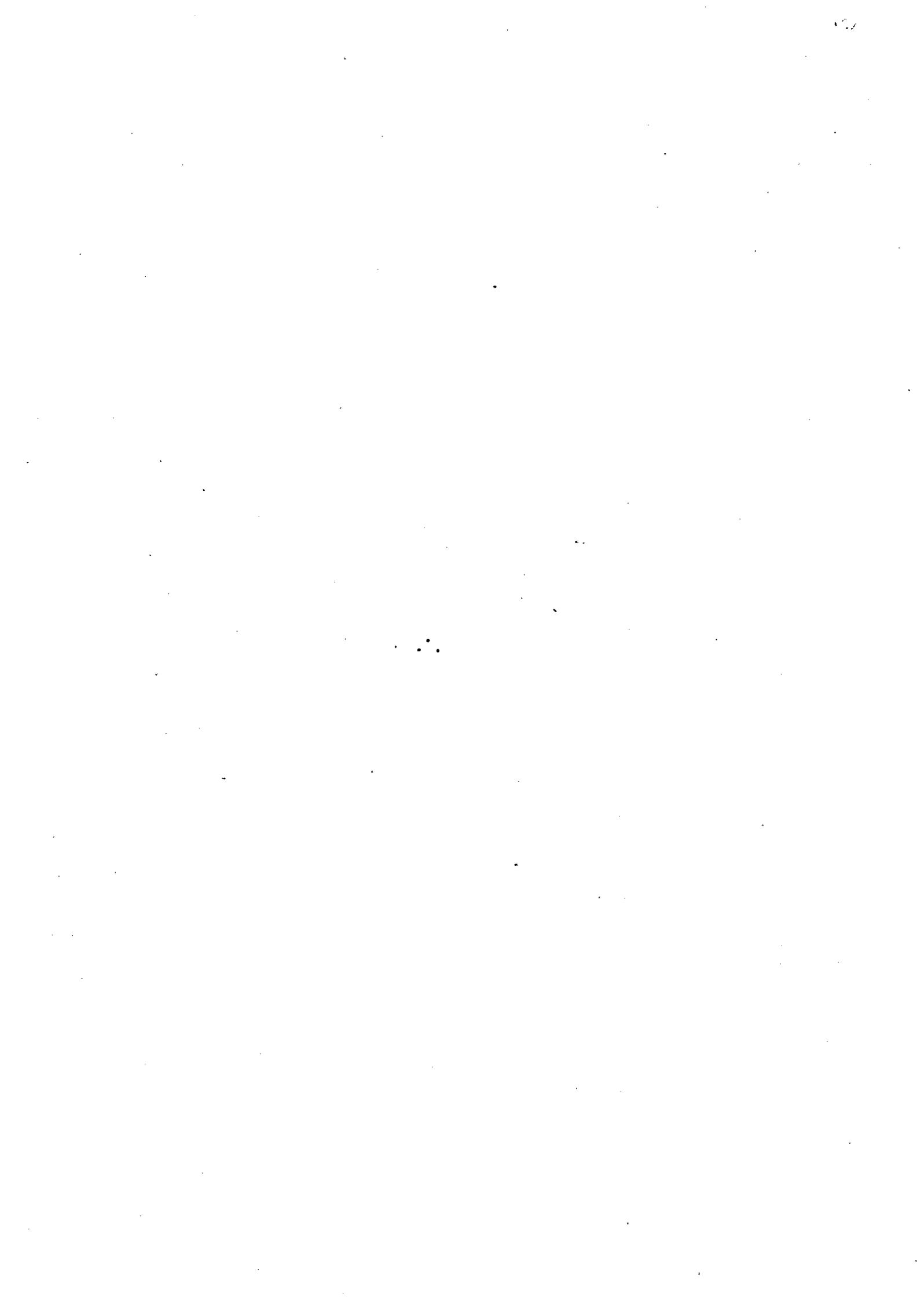
O relevo desta zona é composto por duas superfícies de erosão. A mais antiga, limitada na região pelos cimos de morros isolados das litologias mais resistentes, é correlacionada pelo IPT (1981) à Superfície Japi não-deformada e torna-se expressiva ao sul, fora da área de interesse. A superfície dominante é a de Belo Horizonte (IPT, 1981), correspondente à Superfície Velhas de King (1956).

Segundo o IPT (1981), a Superfície de Belo Horizonte é tida como neogênica. Na parte sul da área, apresenta relevos colinosos com topos ondulados e altitudes oscilando entre 900 - 1000 metros, diminuindo progressivamente (até uma centena de metros) para norte, onde se tornam mais escassos e rebaixados os limites da superfície paleogênica. Estes últimos, no entanto, conferem uma amplitude maior ao relevo dos principais divisores.

A *Zona do Alto Rio Doce* é a que ocupa menor parcela da área de interesse, abrangendo a porção situada a leste do Quadrilátero Ferrífero, abrigando as nascentes de alguns rios formadores do rio Doce (IPT, 1981).

Litologicamente, esta zona é bastante semelhante ao Planalto de Belo Horizonte, incluindo predominantemente rochas granito-gnâissicas e, em menor proporção, rochas metassedimentares e meta vulcânicas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas.

Esta zona é dominada por uma superfície de erosão cor
respondente ao Ciclo Velhas, com restos isolados da Superfície Sul-
-Americana.



CAPÍTULO 2

FONTES DE INFORMAÇÃO E METODOLOGIA

2.1 - FONTES DE INFORMAÇÃO

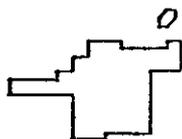
Basicamente, o material utilizado no presente estudo foi obtido a partir de duas diferentes fontes: o material bibliográfico e os produtos de sensores remotos. A isto somam-se os dados obtidos durante as etapas de campo realizadas, bem como o resultado das análises petrográficas.

2.1.1 - MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Procurou-se obter o maior número de trabalhos referentes tanto aos aspectos geológicos da região quanto artigos relativos aos produtos de sensoriamento remoto utilizados. Foram consultados mais de três centenas de títulos, dos quais grande parte foi utilizada na elaboração do texto, achando-se relacionados nas referências bibliográficas.

Este material foi coletado junto a diferentes bibliotecas de universidades, órgãos públicos e outras instituições de ensino e pesquisa, dentre os quais podem-se citar Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Espaciais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Departamento de Minas da Escola Politécnica da USP, Instituto de Biociências da USP, Instituto de Física da USP, Instituto Geológico, Departamento Nacional da Produção Mineral (Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte), Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Minas e Metalurgia (Ouro Preto, MG), Centro de Geologia Eschwege (Diamantina, MG), Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro e University of Pretoria (África do Sul).

QUADRÍCULA	MAPEADA POR	PUBLICADA EM
1 Itabira	Dorr II, J.V.N. e Barbosa, A.L.M.	Dorr II, J.V.N. e Barbosa, A.L.M. (1963)
2 Santa Luzia	Alves, B.P.	Dorr II, J.V.N. (1969)
3 Serra da Piedade	Alves, B.P.	Dorr II, J.V.N. (1969)
4 Antonio dos Santos	Moore, S.L.	Moore, S.L. (1969)
5 Cocais	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968b)
6 Monlevade	Reeves, R.G. e Cobra R.Q.	Reeves, R.G. (1966)
7 Belo Horizonte	Pomerene, J.B. e Alves, B.P.	Pomerene, J.B. (1964)
8 Nova Lima	Ashley, B.E. e Gair, J.E.	Gair, J.E. (1962)
9 Caeté	Alves, B.P.	Dorr II, J.V.N. (1969)
10 Gongo Soco	Moore, S.L.	Moore, S.L. (1969)
11 Santa Bárbara	Simmons G.C.	Simmons, G.C. (1968b)
12 Rio Piracicaba	Reeves, R.G. e Cobra, R.Q.	Reeves, R.G. (1966)
13 Serra Azul	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
14 Igarapé	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
15 Fecho do Funil	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
16 Ibirité	Pomerene, J.B.	Pomerene, J.B. (1964)
17 Macacos	Pomerene, J.B.	Pomerene, J.B. (1964)
18 Rio Acima	Gair, J.E.	Gair, J.E. (1962)
19 Gandarela	O'Rourke, J.E.	Dorr II, J.V.N. (1969)
20 Conceição do Rio Acima	Moore, S.L.	Moore, S.L. (1969)
21 Catas Altas	Maxwell, C.H.	Maxwell, C.H. (1972)
22 Itatiaiuçu	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
23 Sousas	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
24 Brumadinho	Simmons, G.C.	Simmons, G.C. (1968a)
25 Lagoa Grande	Wallace, R.M.	Wallace, R.M. (1965)
26 Itabirito	Rynearson, G.A.	Wallace, R.M. (1965)
27 Rio de Pedras	O'Rourke, J.E.	Dorr II, J.V.N. (1969)
28 Capanema	Maxwell, C.H.	Maxwell, C.H. (1972)
29 Santa Rita Durão	Maxwell, C.H.	Maxwell, C.H. (1972)
30 Marinho da Serra	Wallace, R.M.	Wallace, R.M. (1965)
31 Baão	Wallace, R.M. e Rynearson, G.A.	Wallace, R.M. (1965)
32 Cachoeira do Campo	Johnson, R.F.	Johnson, R.F. (1962)
33 São Bartolomeu	Barbosa, A.L.M.	Dorr II, J.V.N. (1969)
34 Antonio Pereira	Barbosa, A.L.M.	Dorr II, J.V.N. (1969)
35 Casa de Pedra	Guild, P.W.; Cunha, A.N. da e Pomerene, J.B.	Guild, P.W. (1957)
36 São Julião	Guild, P.W.; Cunha, A.N. da e Pomerene, J.B.	Guild, P.W. (1957)
37 Dom Bosco	Johnson, R.F.	Johnson, R.F. (1962)
38 Ouro Preto	Barbosa, A.L.M.	Dorr II, J.V.N. (1969)
39 Mariana	Barbosa, A.L.M.	Dorr II, J.V.N. (1969)
40 Jeceaba	Guild, P.W.; Cunha, A.N. da e Pomerene, J.B.	Guild, P.W. (1957)
41 Congonhas	Guild, P.W.; Cunha, A.N. da e Pomerene, J.B.	Guild, P.W. (1957)
42 Ouro Branco	Johnson, R.F.	Johnson, R.F. (1962)
43 Santa Rita do Ouro Preto	Barbosa, A.L.M.	Dorr, II, J.V.N. (1969)
44 Rio das Bandeiras	Barbosa, A.L.M.	Dorr, II, J.V.N. (1969)



Mapa de Integração em 1:150 000 - Dorr II (1969).

Fig. 2.1 - Conclusão.

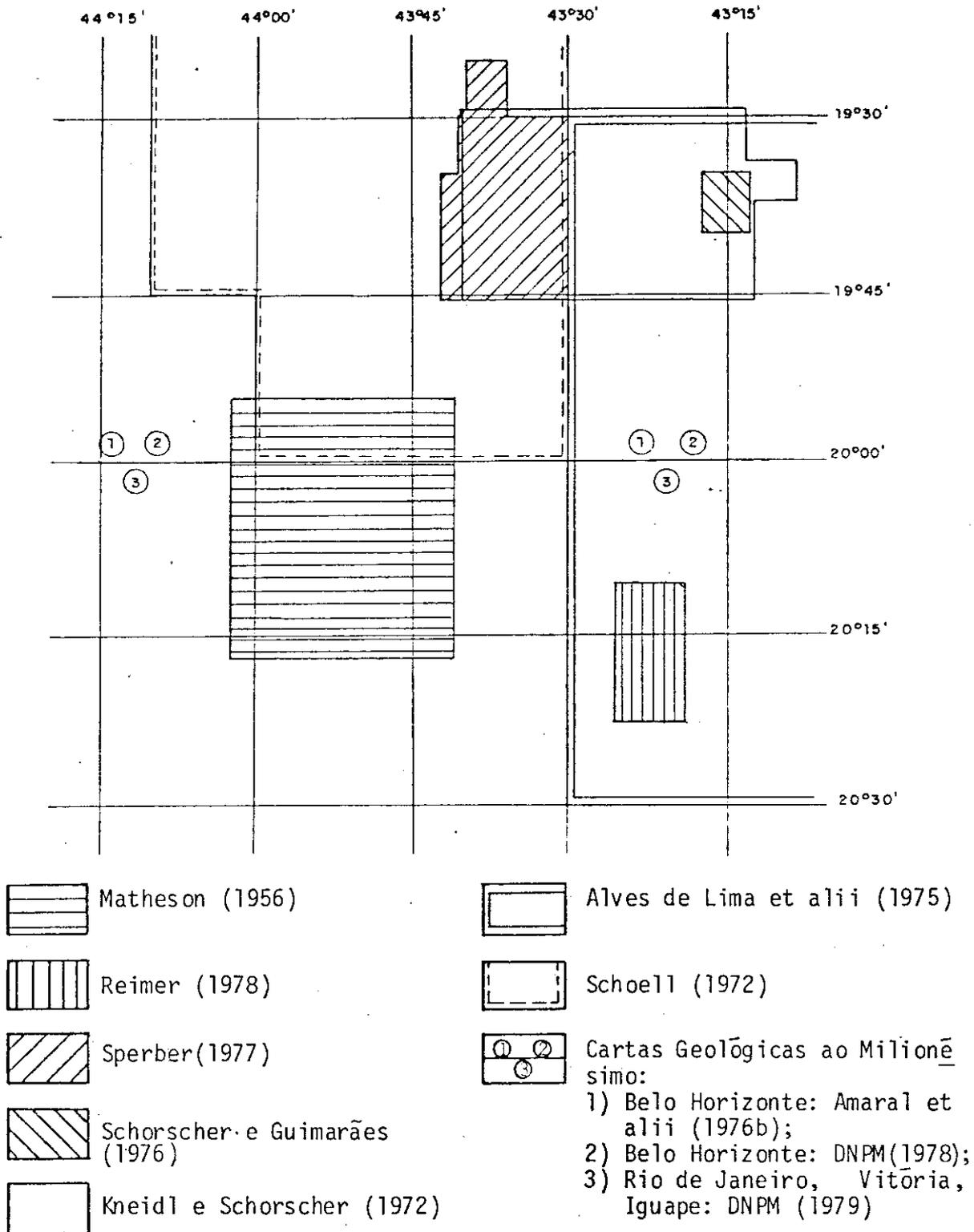


Fig. 2.2 - Documentação geológica básica utilizada e/ou consultada.

2.1.2 - PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

A região do Quadrilátero Ferrífero dispõe de um grande volume de materiais obtidos por sensores remotos. Os primeiros levantamentos foram executados há mais de trinta anos e, desde então, vários outros vêm se sucedendo, utilizando cada vez equipamentos mais sofisticados, obtendo imagens desde o nível das aeronaves até as plataformas orbitais.

2.1.2.1 - HISTÓRICO DOS LEVANTAMENTOS EXECUTADOS E PRODUTOS OBTIDOS

As primeiras fotografias aéreas da região foram obtidas em 1949, quando a Divisão de Águas do Departamento Nacional da Produção Mineral efetuou o aerolevanteamento da porção ocidental do Quadrilátero Ferrífero e do distrito ferrífero de Itabira, obtendo fotografias aéreas em 1:10 000.

Por volta de 1950, os Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. executaram para a Comissão do Vale do São Francisco um levantamento na escala aproximada de 1:25 000, cobrindo cerca de dois terços da parte oeste do Quadrilátero Ferrífero, com fotos em preto e branco. Logo após, o Departamento Nacional da Produção Mineral contratou os serviços da mesma empresa para cobrir o restante da área, na mesma escala, completando assim a cobertura de toda a região em 1:25 000. Estas fotos foram utilizadas pelos Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul, sob contrato do United States Geological Survey, para a confecção de mapas topográficos em 1:10 000 (escala de compilação) para publicação em 1:25 000. Estas fotos e mapas foram utilizados como plantas-bases durante os trabalhos de mapeamento geológico executado pela equipe DNPM-USGS.

Em 1964, a Missão AST-10, executada pela United States Air Force (USAF) em acordo com a Força Aérea Brasileira, iniciou pela região do Quadrilátero Ferrífero o aerolevanteamento sistemático de grande parte do território nacional, na escala aproximada de 1:60 000. Es

ta missão obteve fotos pancromáticas, em preto e branco, que se destacam pela excelente qualidade, especialmente nos aspectos geométricos. Este material é, sem dúvida, o produto de aerolevamento mais intensamente utilizado no Brasil para fins geológicos, até os dias de hoje.

Como parte de um programa conjunto de estudos em sensoriamento remoto entre a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE, atualmente INPE) e a National Aeronautic and Space Administration (NASA) foi realizada em julho de 1969 a Missão 96 da NASA (NASA, 1969). Em termos de qualidade e diversidade de produtos obtidos, esta missão foi a mais completa já realizada no Brasil. Uma das cinco áreas-testes escolhidas (área-teste 803) corresponde ao Quadrilátero Ferrífero, abrangendo quase sua totalidade. Os principais objetivos da missão sob o ponto de vista geológico foram (NASA, 1969):

- a) mapear solos, rochas e laterita, e estudar a variação nas cores destes materiais pela região;
- b) determinar as estruturas regionais e lineamentos, e compará-los com os mapas geológicos existentes;
- c) determinar se a hematita, o itabirito, a canga e o manganês, poderiam ser identificados através da medida de variação diurna na temperatura radiométrica.

Foram levantadas 12 linhas de vôo, sendo 9 a grande altitude (aproximadamente 21 000 pés sobre o terreno) e 3 a baixa altitude (aproximadamente 5 000 pés sobre o terreno, com algumas variações entre 4.500 e 7.500 pés), estas últimas sobre áreas específicas.

Durante os vôos a grande altitude, toda a área foi fotografada utilizando câmeras Wild-Heerburgg RC-8 com filmes Ektachrome MS Aerographic e Ektachrome IR Aerographic, fornecendo fotos na escala aproximada de 1:42 000, e imageada pelo radar de visada lateral com abertura real (SLAR-Side-Looking Airbone Radar) operando na frequên

cia de 16,5 GHz (banda Ku), produzindo imagens na escala aproximada de 1:360 000.

Nos vôos a baixa altitude foram tomadas fotos multiespectrais na escala aproximada de 1:10 000, utilizando um conjunto de quatro câmaras Chicago Aerial KA-62, filmes Plus-X com filtros vermelho, azul e verde, e filme Infrared Aerographic.

Também nos vôos a baixa altitude foi utilizado um imageador RS-14, operando na região do infravermelho termal (3,0 a 5,5 μm e 8,0 a 14,0 μm), fornecendo imagens em escala ao redor de 1:35 000 (Oliveira et alii, 1970). Estas imagens foram obtidas em três horários distintos (antes e depois do nascer do sol e após o pôr-do-sol), em um período de 24 horas, de modo a se tentar determinar as variações diurnas de temperatura de vários materiais. Paralelamente ao imageamento pelo RS-14, foram obtidos perfis térmicos das linhas de vôo, utilizando o sensor auxiliar PRT-5 (Precision Radiation Thermometer). Este sensor é usado para a medida da radiação aparente no intervalo de 8 a 14 μm (NASA, 1969), sendo possível estabelecer uma relação quantitativa com as imagens termais.

Foi empregada como plataforma sensora na Missão 96 a aeronave NASA 927 NP3A (Lockheed Electra).

Paralelamente à missão, uma equipe de oito geólogos, sete assistentes e quatro meteorologistas trabalharam em quatro estações de verdade terrestre, tomando medidas meteorológicas, medidas de variações nas temperaturas radiométricas e termométricas superficiais, e também efetuando observações de coloração dos solos e rochas, que poderiam influenciar as imagens. Coletâneas destes resultados são apresentados por Oliveira et alii (1970) e Souza (1972).

A Missão 110 - SEREMINAS, realizada pelo INPE em agosto de 1972, objetivou a investigação de quatro áreas no Estado de Minas Gerais, entre as quais a de Itabira (área 803) (Almeida e Souza e Mar

tins Jr, 1972). Cobriu a superfície delimitada aproximadamente pelos paralelos $19^{\circ}00'$ e $19^{\circ}45'S$ e pelos meridianos $43^{\circ}15'$ e $43^{\circ}30'W$. Foram efetuadas cinco linhas de vôo a grande altitude, onde foram tomadas fotos com filme Ektachrome IR (em preto e branco), na escala 1:30 000, utilizando câmera RC-10 e fotos com filme Ektachrome MS em 1:90 000, através de câmera Hasselblad.

Três pequenas áreas (incluídas na anterior) foram selecionadas para obtenção de fotografias de maior escala, entre elas a região de Cauê (área D-1). Aqui foram executadas três linhas de vôo e tomadas fotos na escala 1:40 000, utilizando um conjunto constituído por quatro câmeras Hasselblad, com filmes Ektachrome, Aerochrome IR, Plus-X com filtro vermelho e Plus-X com filtro verde (Amaral, 1978).

Além das fotografias aéreas, a área D-1 foi imageada por um "scanner" termal, em três linhas de vôo, obtendo-se imagens na escala 1:20 000.

A exemplo da Missão 96 (NASA, 1969) foram colhidos dados de verdade terrestre (amostras de rochas, atitudes estruturais, medidas com PRT-5, etc.), contando ainda com apoio meteorológico.

Em 1972 iniciou-se o Projeto RADAM com o objetivo de efetuar um levantamento dos recursos naturais da Amazônia. Para tanto, foi realizado um imageamento sistemático de toda a região, por meio de um sistema de radar de visada lateral de abertura sintética, operando na faixa de 8,0 a 12,5 GHz (banda X). Posteriormente, o projeto foi redenominado RADAMBRASIL e prosseguiu com o levantamento por radar de todo o território nacional. Os produtos disponíveis são mosaicos semicontrolados na escala 1:250 000 e fotoíndices em 1:1 000 000. Na Amazônia, simultaneamente ao imageamento por radar, foram tomadas fotografias multiespectrais na escala 1:75 000 e fotografias infravermelhas em falsa-cor na escala 1:130 000. Como o objetivo principal das missões do projeto era o imageamento por radar, e como este sensor pode operar a qualquer hora do dia e sob condições de

cobertura de nuvens, a quase totalidade das fotografias aéreas tornou-se inútil, visto que foram tomadas, muitas vezes, sob condições que só permitiam a operação do radar. O principal problema apresentado pelas fotografias aéreas é, sem dúvida, a exagerada presença de nuvens. Quando isto não se manifestou os defeitos mais comuns advieram do horário impróprio para fotografia, notando-se nesse caso a ausência de sombreamento do relevo, "hot spot", "sun spot", etc..

No ano de 1972, com o lançamento do primeiro satélite do programa Earth Resources Technology Satellite (ERTS) o território brasileiro passa a dispor de imagens orbitais. Este primeiro satélite, o ERTS-1, foi lançado em julho de 1972. Foi seguido pelo lançamento ao espaço de um segundo satélite em janeiro de 1975, quando então o programa passou a ser denominado LANDSAT, de modo a destacar a sua principal função, a investigação dos recursos terrestres. A partir de então os dois satélites em órbita foram redenominados LANDSAT-1 e LANDSAT-2. Em janeiro de 1978, o LANDSAT-1 foi desativado, após mais de cinco anos de funcionamento. Em março do mesmo ano subiu ao espaço o terceiro satélite do programa, o LANDSAT-3.

Essencialmente, a função do LANDSAT é a obtenção repetitiva de dados multiespectrais de alta resolução da superfície da Terra. Dois sistemas sensores foram selecionados para esse propósito: O MSS (Multispectral Scanner) e o RBV (Return Beam Vidicon) (NASA, 1976).

O imageador multiespectral MSS investiga a superfície da Terra em quatro canais (cinco no LANDSAT-3), sendo dois canais no visível e dois no infravermelho próximo. O quinto canal, presente apenas no LANDSAT-3, opera na faixa do espectro correspondente ao infravermelho termal.

O sistema RBV utilizado nos satélites LANDSAT-1 e 2 compõe-se de três câmeras de televisão operando em três faixas do espectro, englobando parte do visível e parte do infravermelho termal.

No LANDSAT-3, o sistema RBV compõe-se de duas câmeras pancromáticas, operando em uma faixa que compreende o verde, o vermelho e parte do infravermelho próximo.

Uma cobertura sistemática e repetitiva da superfície da Terra é efetuada sob condições de observação que permitem o máximo de aproveitamento na utilização do RBV e MSS.

Os satélites operam segundo uma órbita circular, aproximadamente polar e sincrônica com o sol, a uma altitude de aproximadamente 920 km, efetuando uma cobertura completa da Terra a cada 18 dias.

O lançamento do LANDSAT-3 foi efetuado de modo que esse satélite entrasse em órbita com uma defasagem de 9 dias em relação ao LANDSAT-2. Dessa forma, a combinação dos dois satélites permite que se tenha uma cobertura total da superfície terrestre a cada 9 dias.

No Brasil os dados são captados pela estação rastreadora de Cuiabá (MT) e processados no Laboratório de Cachoeira Paulista (SP), ambos operados pelo INPE. No Laboratório de Cachoeira Paulista são produzidas imagens sob diferentes formas de apresentação, conforme a Tabela 2.1.

Além destes produtos, são também produzidas imagens MSS sob a forma de fitas Computer Compatible Tapes (CCTs), compatíveis com o analisador automático multiespectral Image-100 (I-100). Neste sistema, as fitas podem ser processadas e analisadas sob diferentes aspectos, através dos programas implantados no sistema, que permitem que se efetuem desde realce das imagens, até a classificação das diferentes associações de materiais superficiais, com base em suas características espectrais.

TABELA 2.1

TIPOS DE PRODUTOS FOTOGRÁFICOS LANDSAT DISPONÍVEIS

TIPO	ESCALA	A P R E S E N T A Ç Ã O				
		TRANSPARÊNCIA		CÓPIA EM PAPEL		
		POSITIVA		NEGATIVA	P&B	COLORIDO
		P&B	COLORIDA			
MSS	1:3 704 000	X	-	X	-	-
MSS	1:1 000 000	X	X	-	X	X
MSS	1: 500 000	-	-	-	X	X
MSS	1: 250 000	-	-	-	X	-
RBV	1:1 963 000	X	-	X	-	-
RBV	1: 500 000	X	-	-	X	-
RBV	1: 250 000	-	-	-	X	-
RBV	1: 100 000	-	-	-	X	-

Uma outra plataforma sensora que produziu imagens a nível orbital foi a estação Skylab. Esta estação efetuou cerca de 3.900 órbitas ao redor da Terra, a cerca de 435 Km de altura, durante os 171 dias em que esteve em operação (NASA, 1974).

Entre os objetivos da missão, destacava-se o desenvolvimento de técnicas de observação e interpretação dos recursos e fenômenos terrestres a partir do espaço. Para tanto incluía entre seus componentes um sistema para a execução de um programa integrado de experimentos sobre os recursos terrestres, o Earth Resources Experiment Package (EREP). Dentre os sensores do EREP, aqueles que possuíam uma aplicação imediata à Geologia eram o equipamento fotográfico multiespectral e o imageador multiespectral.

Durante as 3 missões em que a estação orbital Skylab foi ocupada (maio-junho e julho-setembro de 1972 e novembro de 1973 a janeiro de 1974) os sensores do EREP foram operados individualmente ou em grupo, dependendo das necessidades de cada experimento. Os dados coletados foram recolhidos em filmes, retornando ao centro espacial L.B. Johnson para processamento.

Devido às inúmeras funções e experimentos científicos da missão Skylab, ao contrário do LANDSAT, foi efetuada apenas a cobertura de algumas áreas selecionadas.

No Brasil, a região do Quadrilátero Ferrífero foi escolhida como uma das áreas-testes para Geologia. Entretanto, por dificuldades operacionais ainda não esclarecidas, as imagens dessa região restringiram-se apenas ao extremo oeste da área (extremo oeste da Serra do Curral), representando menos de 1% da superfície correspondente ao Quadrilátero Ferrífero.

Com o passar dos anos, a atração gravitacional fez com que as órbitas da estação orbital Skylab se aproximassem cada vez mais da Terra, até que no final do ano de 1979, despedaçou-se espetacularmente sobre o território australiano, em sua reentrada na atmosfera, pondo fim a um dos aparatos mais engenhosos já criados pelo homem.

Por fim, vale destacar o Convênio Geofísico Brasil-Alemanha, desenvolvido durante 1972-1973, que efetuou o levantamento aeromagnetométrico de grande parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, utilizando um magnetômetro de precessão nuclear aeroportado, medindo a intensidade total do campo magnético. Os produtos disponíveis, ainda em estado relativamente bruto, são os mapas aeromagnetométricos nas escalas 1:100 000, 1:500 000 e 1:1 000 000 (DNPM, 1976). Embora este equipamento fuja da categoria dos sistemas sensores conforme a moderna concepção destes últimos, é digno de nota pela sua importância quando analisado de forma integrada com produtos de sensores remotos e dados geológicos.

Esse breve retrospecto mostra que a região do Quadrilátero Ferrífero dispõe de considerável volume de dados, prestando-se muito bem para estudos comparativos. Além disso, grande parte deste material encontra-se no banco de dados do INPE, tornando, em princípio, viável a sua utilização.

2.1.2.2 - PRODUTOS DE SENSORES UTILIZADOS

Dentre os diferentes produtos de sensores remotos disponíveis para a região, apenas alguns tiveram utilização mais ampla. De modo geral, a escolha dos materiais foi feita no sentido de obter certa diversidade destes sobre uma mesma área. Além disso, levou-se em conta a qualidade, a disponibilidade e a possibilidade de interpretação detalhada e cuidadosa do material, bem como o grau com que determinado produto já foi explorado. Assim foram utilizados principalmente os seguintes produtos:

1) Imagens LANDSAT

Foram utilizadas as imagens MSS e RBV-LANDSAT, além de fitas compatíveis com o analisador automático Image-100. No tocante às imagens RBV, utilizaram-se apenas duas subcenas, uma vez que até o momento não existe uma cobertura completa da área isenta de nuvens. A Tabela 2.2 relaciona os produtos LANDSAT utilizados no trabalho.

2) Projeto RADAMBRASIL

Utilizaram-se os mosaicos semicontrolados de radar de visada lateral de abertura sintética, conforme relacionados na Tabela 2.3.

TABELA 2.2

PRODUTOS LANDSAT UTILIZADOS

TIPO	ORBITA/ PONTO *	ESCALA	ELEVAÇÃO SOLAR/ AZIMUTE	CANAIS	DATA DA PASSAGEM	APRESENTAÇÃO
MSS	150/26	1:250 000	43/073	5,6,7	15/03/75	PAPEL P&B
MSS	136/26	1:250 000	38/051	5,6,7	15/08/73	PAPEL P&B
MSS	150/26	1:500 000	43/073	5,6,7	15/03/75	PAPEL P&B
MSS	150/26	1:500 000	43/073		15/03/75	COMP. COLORIDA
MSS	136/26	1:500 000	38/051	5,6,7	15/08/73	PAPEL P&B
MSS	136/26	1:500 000	38/051		15/08/73	COMP. COLORIDA
RBV	150/26 B e D	1:250 000	32/047		16/07/79	PAPEL P&B
FITAS CCT's	136/26		38/051	4,5,6,7	15/08/73	FITAS MAGNÉTICAS

* Sistema de Referência Brasileiro (SRB)

TABELA 2.3

MOSAICOS SEMICONTROLADOS DE RADAR UTILIZADOS (RADAMBRASIL)

IDENTIFICAÇÃO FOLHA	ESCALA	DATA	APRESENTAÇÃO
SE-23-Z-C	1:250 000	1973	PAPEL P&B
SE-23-Z-D	1:250 000	(sem data)	PAPEL P&B
SE-23-X-A	1:250 000	1976	PAPEL P&B
SE-23-X-B	1:250 000	1973	PAPEL P&B

3) Missão 96 da NASA

Os "strips" de imagens de radar de visada lateral de abertura real e as fotografias Ektachrome IR Aerographic e Ektachrome MS Aerographic foram os produtos da missão utilizados no trabalho (Tabela 2.4). Com respeito às fotografias aéreas IR deve-se ressaltar que algumas delas não puderam ser recuperadas, verificando-se lacunas em algumas faixas. Nesse caso, estas lacunas foram preenchidas com fotografias MS cuja cobertura, ao menos para a área de interesse, estava completa.

TABELA 2.4

MISSÃO 96 - PRODUTOS UTILIZADOS

TIPO	ESCALA	DATA	APRESENTAÇÃO
"STRIPS" DE RADAR DE VISADA LATERAL	1:360 000 (aprox.)	1969	PAPEL P&B
FOTOGRAFIAS EKTACHROME IR AEROGRAPHIC	1:42 000 (aprox.)	1969	TRANSPARÊNCIAS POSITIVAS EM FALSA COR
FOTOGRAFIAS EKTACHROME MS AEROGRAPHIC	1:42 000 (aprox.)	1969	TRANSPARÊNCIAS POSITIVAS

Os demais produtos disponíveis foram utilizados apenas a nível de consulta, ou não foram analisados, pelos seguintes motivos.

- a) Fotografias pancromáticas em preto e branco

Já foram largamente exploradas, servindo de base para diversos trabalhos de mapeamento geológico, inclusive aquele executado pela equipe DNPM-USGS.

b) Imagens Skylab

Restringem-se apenas ao extremo oeste da Serra do Curral, perfazendo menos de 1% da área do Quadrilátero Ferrífero. Tais imagens são produto de obtenção mais difícil.

c) Fotografias multiespectrais da Missão 96 da NASA

Localizam-se sobre áreas específicas e são fotos de grande escala, sendo difícil sua correlação com os produtos dos demais sensores empregados neste estudo. As faixas normalmente encontram-se incompletas devido ao extravio de algumas fotos.

d) Faixas do imageador termal RS-14

Foram recuperadas apenas poucas faixas utilizadas unicamente na área de Alegria - Caraça, ainda assim de modo relativamente superficial. Uma abordagem quantitativa destas imagens, correlacionando-as com os perfis obtidos pelo PRT-5, mostrou-se muito difícil pela complexidade dos cálculos envolvidos e dificuldades em estabelecer uma correlação geométrica entre as medidas dos perfis termicos com as faixas do imageador.

e) Produtos da Missão 110 - SEREMINAS

Embora as fotografias aéreas obtidas nesta missão fossem interessantes para o presente estudo, tanto pela escala adequada da maior parte delas, quanto pela sua diversidade espectral, umas poucas fotos puderam ser recuperadas em tempo hábil. As imagens de "scanner" não foram recuperadas.

f) Mapas aeromagnetométricos

Utilizados apenas com fins comparativos pois, como no caso anterior, uma abordagem quantitativa é relativamente complexa,

fugindo ao escopo do presente trabalho. Na área de estudo, o grande número de anomalias, bem como a superposição destas, torna a interpretação bastante difícil.

2.1.2.3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS UTILIZADOS

Aqui são descritas brevemente as principais características dos produtos de sensores utilizados neste estudo - imagens LANDSAT, fotografias aéreas da Missão 96 e imagens de radar - envolvendo principalmente os aspectos referentes ao funcionamento dos equipamentos e implicações decorrentes nas imagens. Discutem-se em especial os sistemas de radar de visada lateral, pela dificuldade de acesso à literatura pertinente ao assunto.

1) Sistemas de radar de visada lateral

a) Generalidades

O radar (radio detection and ranging) é um sistema ativo que, a exemplo de outros sensores, foi desenvolvido inicialmente com propósitos militares. Os primeiros experimentos com o radar, segundo uma concepção semelhante à atual, iniciaram-se nos Estados Unidos e Inglaterra há mais de 50 anos, tendo sido acelerados por ocasião do início da II Guerra Mundial (Reeves, 1975). É no final desta guerra que se tem o primeiro registro da utilização geológica de imagens produzidas por este sensor, quando em 1948 o Tenente H.P. Smith Jr. efetuou a interpretação geológica de imagens "planned-position indicator" (PPI) de radar (Reeves, 1975). O radar PPI foi superado por volta de 1955 pelo radar de visada lateral, conhecido por "side-looking airborne radar" (SLAR), aeroportado, desenvolvido pela Westinghouse, também inicialmente com objetivos militares e liberado para uso civil cerca de dez anos depois (Amaral, 1975).

b) Princípios de funcionamento

Basicamente, o radar de visada lateral é um sensor aeroportado que produz imagens representativas das características de retroespalhamento da superfície terrestre em relação aos pulsos por ele transmitidos. O fato de o sistema produzir os pulsos que irão interagir com o terreno caracteriza-o como um sensor ativo, não sendo afetado pelas variações diurnas na radiação emitida ou refletida pela superfície do terreno.

Na faixa de operação dos sistemas de radar não ocorre difusão pelas nuvens ou neblina, o que permite que estes sistemas sejam operados também à noite e através de cobertura de nuvens. O único fator climático capaz de afetar o desempenho dos sistemas é a presença de chuvas (Amaral, 1975).

A Figura 2.3 resume os princípios de funcionamento do radar de visada lateral. A antena (A) é posicionada lateralmente em relação ao avião e possui velocidade (V_a), que é a velocidade da aeronave. Cada pulso transmitido pelo radar (B) atinge os diferentes alvos no terreno, dentro da área de ação do sistema. Estes pulsos, após sofrerem interações com os diferentes alvos, retornam para o sistema onde são convertidos em um sinal de vídeo do tipo amplitude (C) versus tempo. Este sinal modula a varredura sucessiva de um tupo de raios catódicos (TRC). O varredor do TRC é ajustado para iniciar a operação quando o primeiro sinal que estiver retornando do "near range" chegar e terminar a operação com a chegada do sinal mais distante, oriundo do "far range". Estes sinais são dispostos no filme (F) como uma linha (E). Os sinais de retorno dos pulsos transmitidos subseqüentemente são dispostos no TRC na posição (D) e registrados sucessivamente no filme (F). Regulando a velocidade do filme (V_f) de forma proporcional à velocidade do avião (V_a) obtém-se uma imagem contínua do terreno na forma de uma faixa.

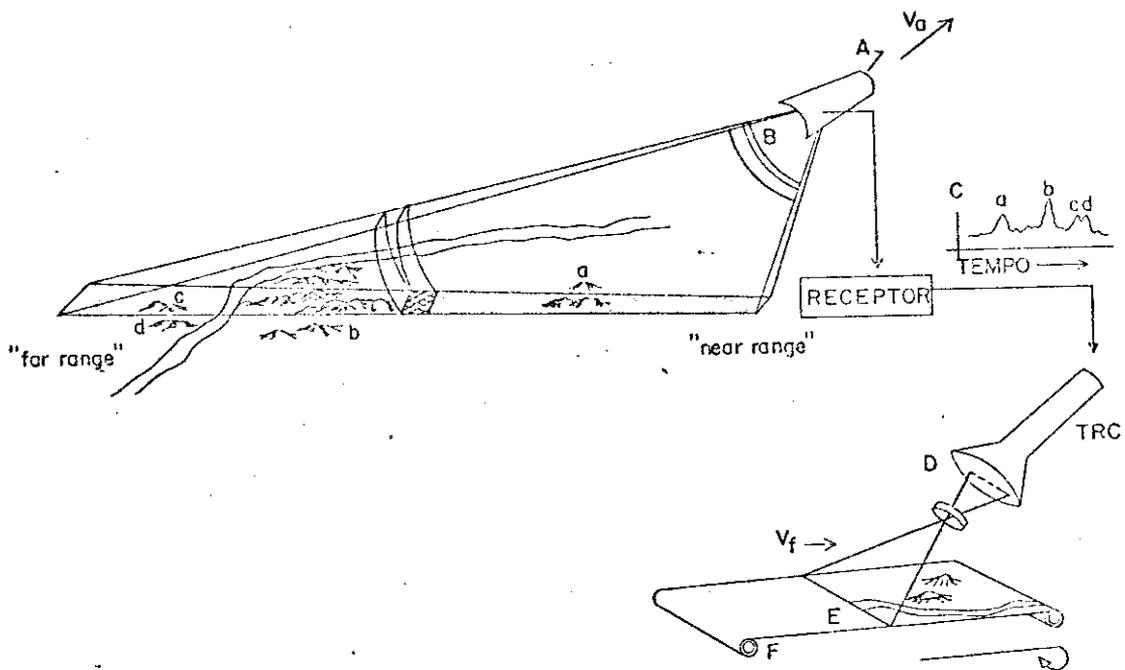


Fig. 2.3 - Princípios de funcionamento do sistema de radar de visda lateral.

FONTE: Adaptada de MacDonald et alii (1969), p.645.

c) Tipos de sistemas

São dois os tipos de sistemas de radar de visada lateral atualmente em uso na pesquisa geológica: radares de abertura real (ou radares não-coerentes) e radares de abertura sintética (ou radares coerentes).

O radar de visada lateral de abertura real é basicamente aquele representado na Figura 2.3. Uma "chave" eletrônica efetua alternadamente a ligação de antena ao transmissor ou ao receptor. Dessa forma, após a emissão (transmissão) de um sinal, o sistema imediatamente fica preparado para a recepção do sinal de retorno.

A "chave" eletrônica, o transmissor, o receptor e o sistema modulador do tubo de raios catódicos são controlados por um sistema sincronizador. A partir deste ponto, o processo prossegue da forma descrita em 1b da seção 2.1.2.3.

O sistema de radar Philco - Ford DPD-2 (Reeves, 1975), empregado pela Missão 96 da NASA na investigação do Quadrilátero Ferrífero, utilizou este tipo de configuração, embora pudesse também operar com abertura sintética (MacDowell and Nodwell, 1971).

A Figura 2.4, ilustra o arranjo geométrico do imageamento pelo radar da Missão 96.

Segundo Amaral (1975) os sistemas de abertura real são mais versáteis em relação aos de abertura sintética, visto que permitem uma operação com grande variedade de frequências e polarizações, tornando-os mais adequados para a distinção de alvos com diferentes composições.

O radar de visada lateral de abertura sintética é um sistema que simula uma antena muito longa, através de uma série de medidas tomadas ao longo da trajetória da plataforma (Amaral, 1975). Este recurso, oriundo de pesquisas

radioastronômicas, melhora substancialmente a resolução longitudinal do sistema (Amaral, 1975), cuja importância é discutida mais adiante.

À exemplo do radar de abertura real, a emissão e recepção dos sinais é controlada por uma "chave" eletrônica. Neste sistema, a transmissão é efetuada por um componente denominado "stable local oscillator" (STALO) que também armazena uma cópia do sinal transmitido (Amaral, 1975).

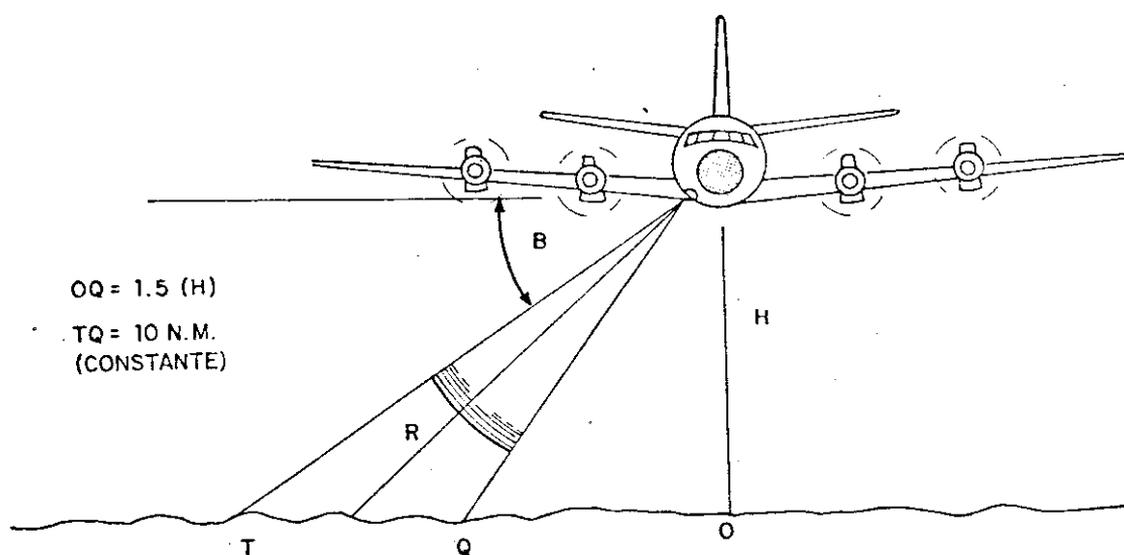


Fig. 2.4 - Geometria do imageamento do radar da Missão 96.

FONTE: Adaptada de NASA (1969), p.F5.

Por ocasião do retorno do sinal, a fase deste é comparada com aquela armazenada no STALO (sinal transmitido). A diferença de fase entre os sinais é registrada pelo tubo de raios catódicos em um filme (data film). Em terra, o filme obtido é processado por meio de um correlator óptico que também compatibiliza as escalas longitudinal e transversal do "data film", de modo a se obter o filme - imagem (Amaral, 1975).

O radar de visada lateral Goodyear APQ-102 T empregado pelo Projeto RADAMBRASIL, que pertence a esta categoria de sistemas, obtém uma "data film" com escala longitudinal 1:5 500 e transversal 1:400 000 que, depois de processados no correlator óptico, são compatibilizados em 1:400 000, para posterior ampliação e composição dos mosaicos.

A resolução transversal de um sistema de radar de visada lateral é dada por:

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \quad (2.1)$$

onde θ é a resolução, λ o comprimento de onda e D a dimensão da antena. Como a dimensão longitudinal da antena é maior do que a transversal, têm-se

$$\theta_h = \frac{\lambda}{D_h} \quad (2.2)$$

$$\theta_v = \frac{\lambda}{D_v} \quad (2.3)$$

e como $D_h > D_v$ tem-se que $\theta_v > \theta_h$. (2.4)

Esta resolução transversal pode ser melhorada aumentando o tamanho da antena, que pode ocasionar problemas aerodinâmicos na aeronave, ou aumentando as frequências, à custa de uma menor intensidade no sinal de retorno, uma vez que para frequências maiores a transparência atmosférica diminui.

A obtenção de boa resolução transversal depende também da capacidade de o sistema cronometrar os tempos de retorno dos sinais emitidos. Nos radares de abertura real a melhor resolução transversal esperada é obtida quando:

$$\gamma_t \approx \tau, \quad (2.5)$$

onde γ_t é a resolução do sistema em termos de detecção do sinal de retorno e τ é a duração do pulso. Dessa forma, a melhor resolução é dada por:

$$\gamma_r \approx \frac{1}{2} c \gamma_t \quad (2.6)$$

e como $\gamma_t \approx \tau$ (2.5), tem-se:

$$\gamma_r \approx \frac{c\tau}{2}, \quad (2.7)$$

onde γ_r é a resolução transversal e c é a velocidade da luz no vácuo (velocidade da propagação das ondas eletromagnéticas) (Reeves, 1975).

Em termos de resolução, o sistema Philco-Ford DPD-2 apresenta valores de 12 a 25 m transversalmente e de 30 a 60m longitudinalmente. Para o radar Goodyear APQ-102T as resoluções transversal e longitudinal são equivalentes, ao redor de 15m (MacDonald and Nodwell, 1971).

Os feixes de ondas emitidas pelos sistemas de radar apresentam uma maior dimensão na vertical do que na horizontal. Isto faz com que a resolução longitudinal seja limitada pela largura do feixe horizontal, o que causa deficiência neste tipo de resolução nos sistemas de abertura real.

A simulação empregada pelos sistemas de abertura sintética soluciona este tipo de limitação. A largura de um feixe de ondas emitidas por sistema de abertura sintética pro

picia a investigação múltipla de um ponto situado no terreno, correspondente a cada pulso transmitido. Como o ponto move-se relativamente à aeronave, o efeito Doppler associado provocará modificações na frequência do sinal de retorno. Dessa forma a resposta de um mesmo ponto variará, dependendo da posição em que este for atingido pelos pulsos de radar (Amaral, 1975).

Para a compensação deste efeito, são armazenadas no STALO cópias dos sinais transmitidos. Após a comparação dos sinais de retorno e emitidos, as diferenças de fase são registradas no "data film", que, na verdade, comporta-se como um holograma unidimensional (registra apenas as diferenças na longitudinal). No correlator óptico o processo é repetido de forma inversa de modo a posicionar precisamente e com detalhe um ponto no filme-imagem.

Nos sistemas de abertura sintética, a melhor resolução teórica é dada por $D/2$, onde D é o comprimento da antena. É óbvio que aumentando o comprimento da antena ter-se-ão melhores resoluções. Entretanto, isto é limitado por questões de aerodinâmica da aeronave.

Segundo Amaral (1975) as seguintes condições são necessárias para a obtenção de boas resoluções longitudinais: polarização do tipo paralela (a fim de se obter maior intensidade no sinal de retorno); altas frequências de operação com variações dentro de um intervalo restrito; grande altura de vôo, de modo a aumentar o tempo de retorno do sinal e o efeito Doppler; rigidez no posicionamento, velocidade e altitude de aeronave, de modo a evitar modificações nas diferenças de fase entre os sinais de retorno e transmitidos e consequente perda de resolução. Esta série de condições, por conseguinte, limitam a versatilidade do sistema (Amaral, 1979).

d) Aspectos geométricos

- Efeito de sombreamento

Este fenômeno ocorre quando o ângulo de inclinação das feições do terreno é maior que o ângulo de depressão (Figura 2.5). Como o ângulo de incidência dos pulsos de radar varia ao longo da direção de visada do sistema, tem-se um efeito de sombreamento crescente a partir do "near range" em direção ao "far range". Desta forma, uma feição pode ser completamente iluminada no "near range" e apresentar um grande sombreamento no "far range". Em ambos os casos pode-se ter um mascaramento das estruturas. Por outro lado, um terreno homogêneo como o da Figura 2.5 pode apresentar um falso aspecto de diferença de rugosidade ao longo do rumo de visada devido ao efeito de sombreamento.

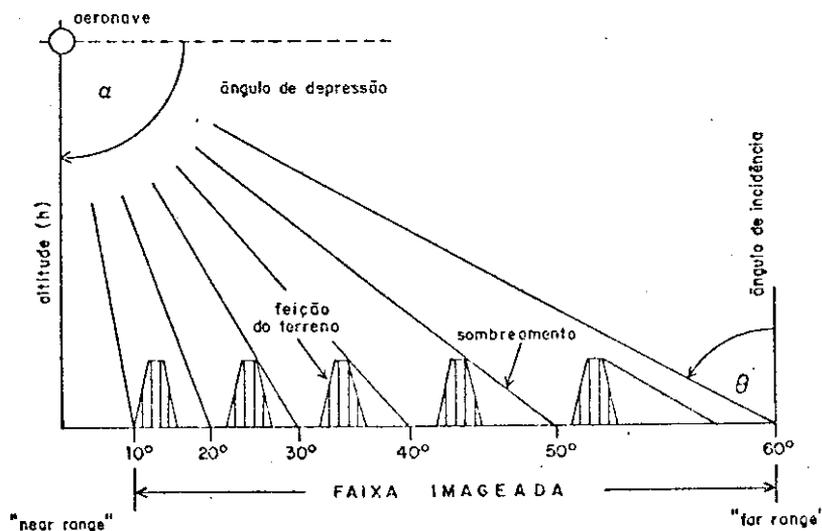


Fig. 2.5 - Efeito de sombreamento do radar de visada lateral.

FONTE: Adaptada de Mac Donald et alii (1969), p.645

- Influência da orientação das linhas de vôo

Dependendo da relação entre a direção das linhas de vôo e as direções preferenciais das feições morfológicas do terreno, estas últimas podem tanto ser realçadas como até mesmo suprimidas. Estudos experimentais (Mac Donald et alii, 1969) demonstraram que a detectabilidade de uma feição aumenta à medida que o rumo de visada tende à perpendicularidade em relação a ela. Inversamente, rumos de visada paralelos à direção das feições tendem a suprimi-las. Este fator é de grande importância pois pode levar a falsas interpretações quando estas são efetuadas sobre imagens obtidas com um único rumo de visada, sobretudo em áreas pobremente conhecidas.

- "Foreshortening" e "layover"

O "foreshortening" de radar é uma distorção presente em todos os sistemas. É a variação na medida de uma mesma declividade, quando esta medida é efetuada sob diferentes ângulos de incidência (Figura 2.6).

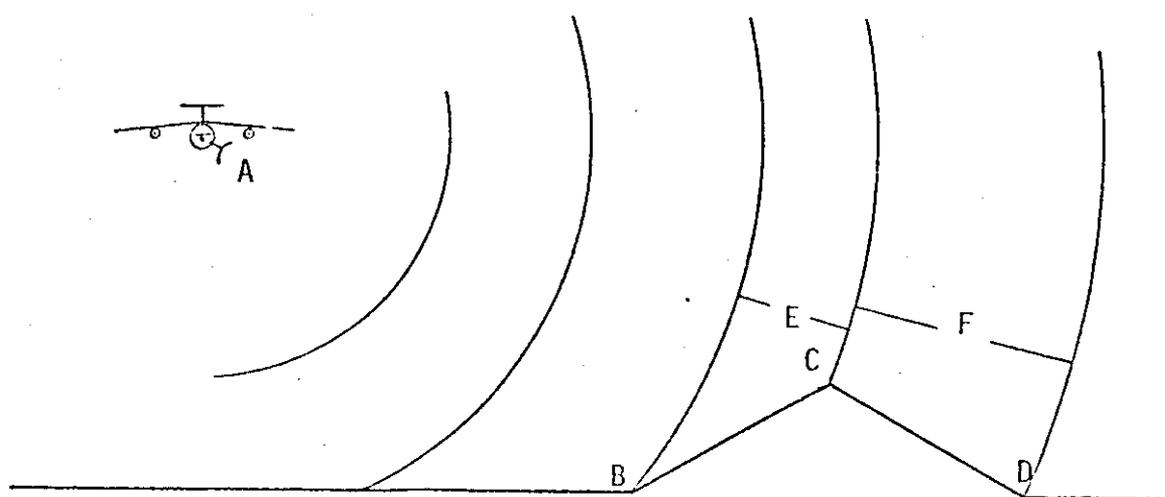


Fig. 2.6 - "Foreshortening"

Um pulso de radar emitido pela antena A imageia a encosta BC em um espaço de tempo proporcional à distância E, e a encosta CD em um tempo proporcional à distância F. Como as medidas de distância nos sistemas de radar são efetuadas em função de tempo de retorno dos sinais, a encosta BC aparecerá, na imagem, encurtada em relação à encosta CD, embora as duas apresentem altitude e declividades idênticas (Grant and Cluff, 1976).

O efeito denominado "layover" é um caso extremo de "foreclosing" (Figura 2.7). Um pulso A atinge os pontos B e C ao mesmo tempo, de modo que o tempo do sinal de retorno será o mesmo para os dois pontos. Consequentemente B e C serão imageados como um único ponto. Por outro lado, os pontos D e E serão imageados posteriormente a B e C, também como um único ponto. O efeito resultante nas imagens será uma aproximação do topo e um afastamento da encosta, com uma inversão do declive real.

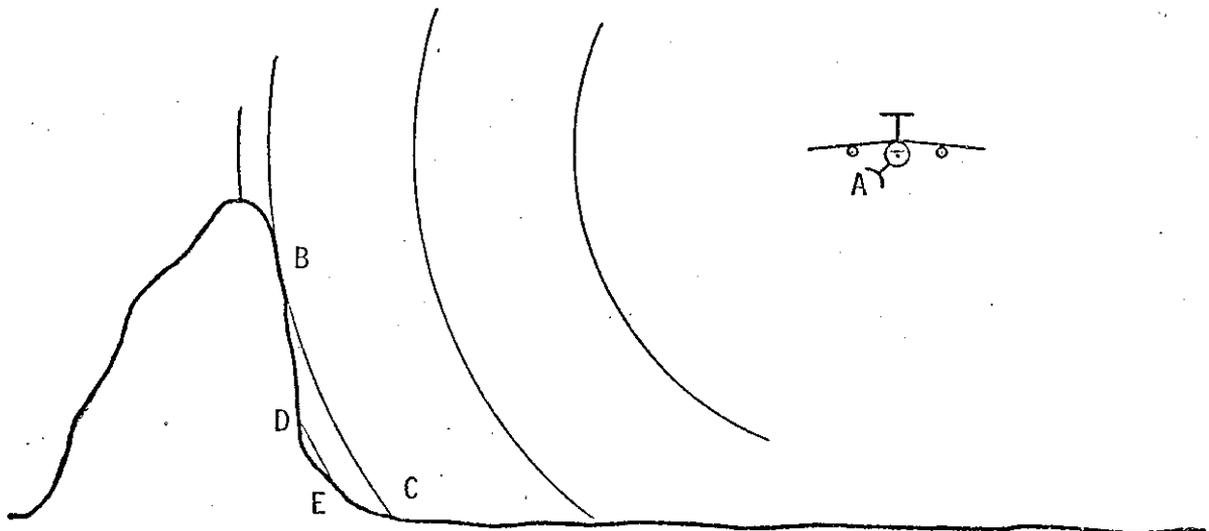


Fig. 2.7 - "Layover"

Os fenômenos de "foreshortening" e "layover" ocorrem usualmente no "near range" de imagens de radar quando ã existe relevo elevado (Grant and Cluff, 1976).

- Geometria das imagens

Os sistemas de radar de visada lateral utilizam dois tipos de apresentação das imagens. No primeiro deles, denominado "ground range", as características geométricas do terreno são mantidas nas imagens, desde que não exista distorção longitudinal, paralela à linha de vôo, devida à variação na velocidade do avião (Figura 2.8). Este é o tipo da apresentação das imagens obtidas pelo Projeto RADAMBRASIL.

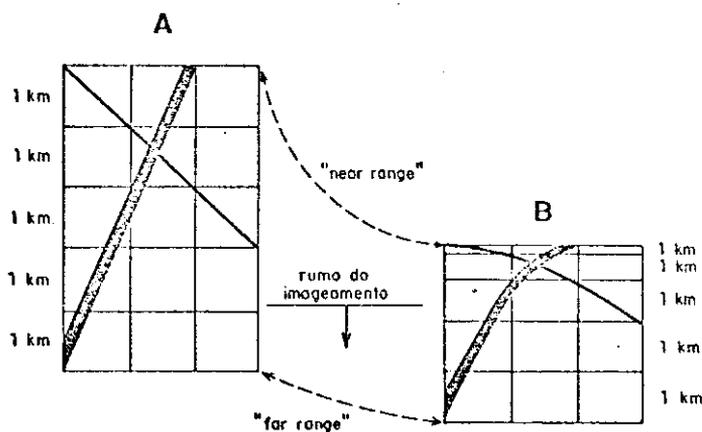


Fig. 2.8 - Geometria "ground range" (A) e "slant range" (B) em imagens de radar de visada lateral.

FONTE: Adaptada de Innes (apud Mac Donald et alii, 1969), p.646.

Na segunda forma de apresentação, denominada "slant range" (Figura 2.8), a geometria das imagens é função direta dos tempos de retorno dos sinais. Desta forma, ocorre um aumento na escala da imagem no sentido do "near range" para o "far range". No "far range" da imagem "slant range" a distância entre os dois pontos adjacentes (segundo a direção de visada) varia apenas ligeiramente, ao passo que no "near range" desta mesma imagem ocorre uma grande variação de escala, ocasionando uma compressão das informações. As imagens obtidas pela Missão 96 da NASA seguem esta configuração.

A compressão no "near range" e o efeito de mudança na geometria são mostrados para a região do Golfo de San Miguel, na Província de Darien no Panamá (Figura 2.9), cujos desenhos foram efetuados a partir das imagens de radar (Mac Donald and Lewis, apud Mac Donald et alii, 1969). Usando imagens obtidas em seis vôos diferentes, os contornos das ilhas mostram grandes distorções no extremo do "near range" (linhas A e F), distorção moderada no "near range" (linha E), e contorno razoavelmente uniforme no "mid range" (linhas B, C e D).

O alongamento aparente destas ilhas na direção paralela às linhas de vôo (linhas A, F) pode ser importante para os geólogos preocupados em identificar formas lineares, que podem ser indicativas de estruturas (Mac Donald et alii, 1969).

Aqui também fica muito claro o problema de incorreções que podem advir da interpretação de imagens obtidas segundo uma única direção de vôo.

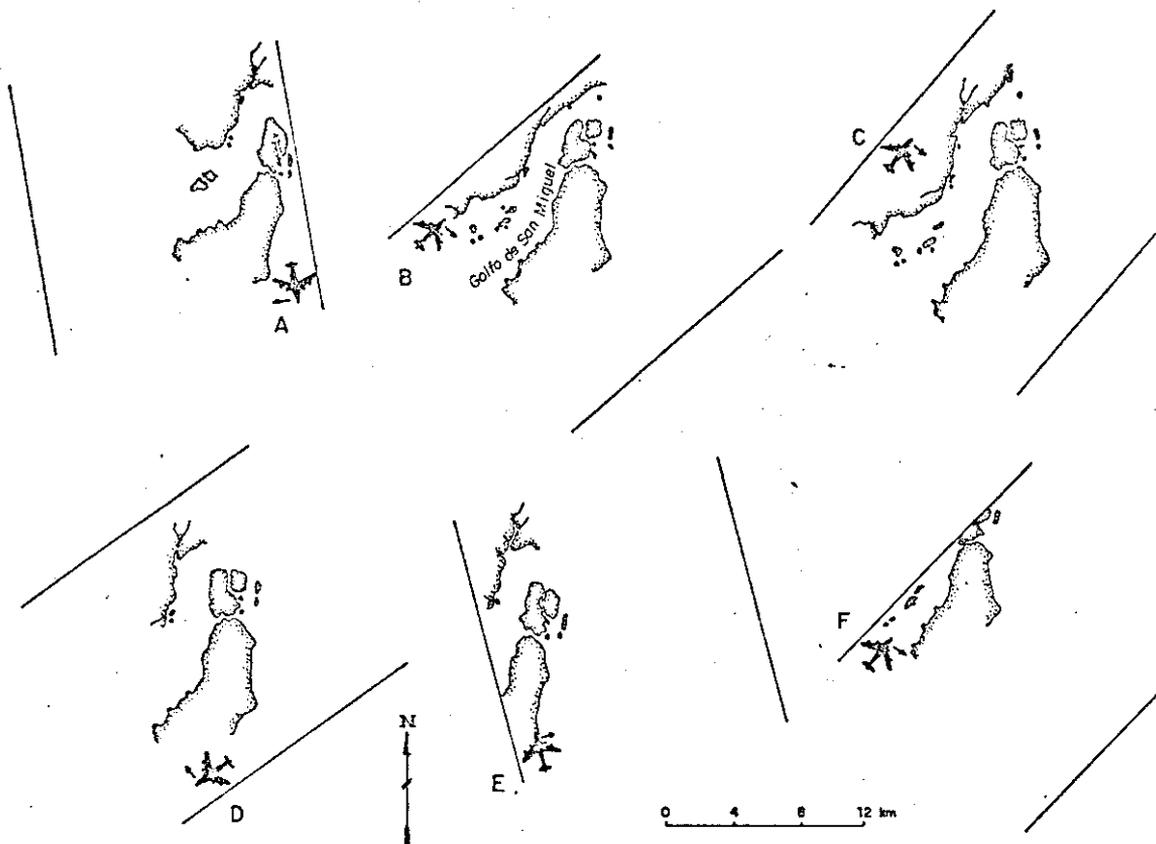


Fig. 2.9 - Efeito de compressão no "near range", Península de La Palma, Província de Darien, Panamá.

FONTE: Adaptada de Mac Donald et alii (1969), p. 646.

e) Polarização

Os sistemas de radar transmitem sinais com um vetor campo elétrico horizontal ou vertical (ou ambos) e podem receber sinais de retorno tanto horizontais como verticais, ou ambos (Reeves, 1975), dependendo da interação entre o pulso emitido e o terreno. Quando o sistema transmite um sinal horizontal e recebe um sinal também horizontal, diz-se que o sinal de retorno é do tipo HH ou polarização paralela. No caso da transmissão ser horizontal e a recepção vertical, o sinal de retorno é do tipo HV, ou de polarização cruzada.

Imagens HH ou HV podem ser substancialmente diferentes entre si, face aos diferentes processos físicos responsáveis pelos tipos de sinais de retorno. Esta propriedade tem sido utilizada na diferenciação de feições geológicas (litológicas, estruturais, etc.), morfológicas, etc. Uma série de exemplos deste tipo de aplicação é fornecida por Reeves (1975).

Nos raros casos em que a discriminação litológica é possível de ser efetuada em imagens de radar, as imagens com polarização cruzada têm-se revelado mais favoráveis. Feições estruturais, entretanto, não apresentam grandes diferenças nos dois tipos de imagens.

Dos sistemas empregados neste estudo o radar Goodyear APQ-102T emite e recebe sinais horizontalmente, ao passo que o DPD-2 Philco Ford pode emitir e receber os sinais tanto na horizontal como na vertical (Mac Donald and Nodwell, 1971).

f) Outras interações entre a radiação eletromagnética e o terreno que afetam os sinais de retorno

Além do fenômeno de polarização, já mencionado, outros fatores afetam o sinal de retorno dos sistemas de radar de visada lateral.

O contraste tonal das imagens depende do ângulo de incidência da radiação eletromagnética. Para ângulos pequenos o contraste tonal é maior, descrevendo com o incremento do ângulo de incidência.

A constante dielétrica do terreno também exerce papel fundamental no sinal de retorno. Esta constante depende diretamente da quantidade de sais e da umidade do terreno. Um incremento na constante dielétrica implica um aumento na refletividade com conseqüente aumento na intensidade do sinal de retorno (Reeves, 1975).

A rugosidade superficial é outro fator que afeta o sinal de retorno. Superfícies com rugosidades da ordem de 50% do comprimento de onda da radiação incidente são lisas em relação a esta energia incidente, comportando-se como um refletor especular. Para rugosidades maiores, a superfície atua como um refletor difuso (Rydstrom, 1967). Assim, o sinal de retorno pode fornecer uma ordem de grandeza da rugosidade superficial, que pode ser de grande valia em termos geológicos.

Para um determinado terreno, a penetração da radiação eletromagnética é também diretamente proporcional ao comprimento de onda desta radiação (Reeves, 1969, 1975).

A relação angular entre a radiação incidente e objetos no terreno interfere no sinal de retorno das seguintes formas (Rydstrom, 1967):

- se o ângulo de incidência em superfícies especulares é igual ao ângulo de reflexão, e se estes são maiores do que zero graus, a energia incidente não retorna ao sistema.
- na mesma situação anterior, se o ângulo de incidência for igual a zero graus, a reflexão é especular, retornando aos sistema.

- se duas superfícies formam um diedro em ângulo reto, a energia incidente retorna ao sistema (exceto aquela eventualmente absorvida pelo objeto sobre o qual incide), qualquer que seja o ângulo de incidência, exceto nos casos em que os planos que contêm a energia incidente não são perpendiculares a estas duas superfícies, caso este em que os sinais não retornam ao sistema.
- no caso de uma terceira superfície estar presente, mutuamente perpendicular àquelas do diedro, o objeto comporta-se como um refletor triédrico. Neste caso toda a energia que incidir no triedro, sob qualquer ângulo, retornará ao sistema.

Esta última situação é muito importante, pois os refletores triédricos podem servir como excelentes pontos de referência em termos planimétricos nas imagens.

2) Fotografias Aéreas

Muitos são os textos devotados à discussão dos diversos aspectos referentes à obtenção de fotografias aéreas, tais como câmeras, filmes, filtros, operação da aeronave e outros. Em particular os livros editados pela American Society of Photogrammetry - Manual of Remote Sensing, Manual of Photogrammetry e Manual of Color Aerial Photography - e pela Kodak - Kodak Aerial Films and Photographic Plates - constituem-se em ricas fontes de informação sobre o assunto. Assim, será dada atenção apenas às características técnicas dos filmes e filtros empregados na Missão 96 (NASA, 1969) e utilizados neste estudo, uma vez que os aspectos mais gerais encontram-se exaustivamente abordados nos referidos manuais.

3) Fotografias Ektachrome MS Aerographic 2448 (Kodak, 1972)

Este produto é um filme de granulação fina, de velocidade moderada, para produção de fotografias aéreas coloridas positivas.

A Figura 2.10 apresenta a curva de sensibilidade espectral e a estrutura deste filme.

Durante a Missão 96 estes filmes foram utilizadas pela câ^{me}ra Wild-Heerburgg RC-8, empregando-se também na obtenção das fotos um filtro "antivignetting" (neutro).

4) Fotografias Ektachrome IR Aerographic SO-117

Este filme produz transparências positivas infravermelhas em falsa cor.

A literatura disponível não reproduz a curva de sensibili^{da}de espectral deste filme, talvez pelo fato de ter sido utilizado experimentalmente durante a Missão 96, provavelmente sem utilização em novas missões.

A câ^mera empregada foi também a Wild-Heerburgg RC-8 e o filtro utilizado foi o Wratten 15 da Kodak, cuja curva de transmissão espectral está reproduzida na Figura 2.11.

Em termos de resolução geométrica, o equipamento utilizado permite que se obtenham imagens com resolução da ordem de 50 linhas/mm no centro do campo, decrescendo até cerca de 25 linhas/mm nos cantos (NASA, 1969), para estes dois tipos de filmes.

5) Sistema LANDSAT

A maior parte das questões envolvidas na obtenção das imagens pelos satélites da série LANDSAT serão abordados na seção 2.2 (metodologia), onde poderão ser discutidas mais convenientemente.

Cada um dos dois sistemas (MSS e RBV), instalados nos satélites da série LANDSAT, apresentam suas particularidades.

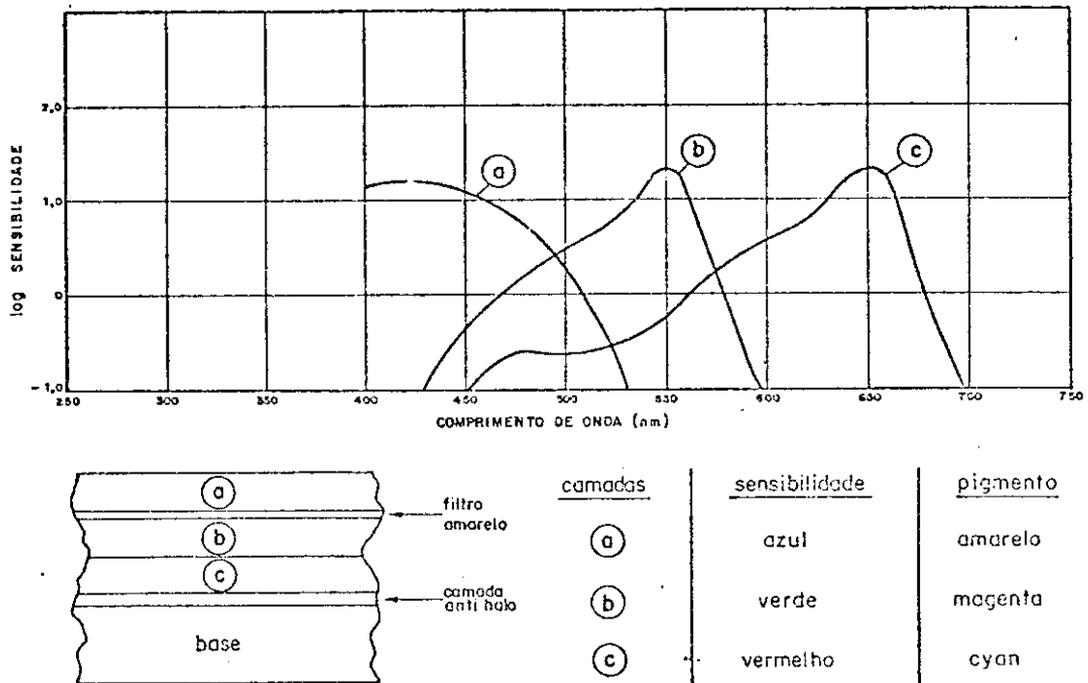


Fig. 2.10 - Curva de sensibilidade espectral e estrutura do filme Ektachrome MS Aerographic 2448 da Kodak.

FONTE: Adaptada de Amaral (1975, p.84).

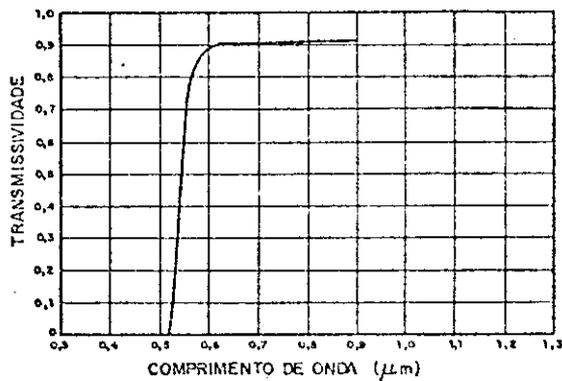


Fig. 2.11 - Curva de transmissão espectral do filtro Wratten 15 da Kodak.

FONTE: Adaptada de Reeves (1975), p.318.

O MSS executa uma varredura do terreno em linhas perpendiculares à trajetória do satélite, através de um sistema óptico constituído por um espelho oscilante que imageia simultaneamente seis linhas no terreno. A energia oriunda do terreno é então focalizada pelo espelho sobre os detetores.

Aos diferentes canais do MSS correspondem diferentes faixas espectrais, que operam com detetores específicos, em número de seis para cada um dos canais 4, 5, 6 e 7 e dois para o canal 8 (Tabela 2.5).

TABELA 2.5

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DO SISTEMA MSS-LANDSAT

CANAL (BANDA)	RESOLUÇÃO ESPECTRAL (μm)	DETECTORES
MSS-4	0,5 - 0,6	Fotomultiplicadores
MSS-5	0,6 - 0,7	Fotomultiplicadores
MSS-6	0,7 - 0,8	Fotomultiplicadores
MSS-7	0,8 - 1,1	Fotodiodos
MSS-8	10,4 - 12,6	TCM*

* *Telureto de Cádmio-Mercúrio*

FONTE: Rodrigues(1981), p.10

O sistema opera a uma altitude de 920 km (aproximadamente) imageando uma faixa com cerca de 185 km de largura no terreno, correspondendo cada linha de imageamento a cerca de 3.300 "pixels". Entre órbitas adjacentes executadas pelos satélites, ocorre um recobrimento

lateral mínimo de 14% na altura do equador terrestre, recobrimento este que aumenta rumo às maiores latitudes.

Em termos de resolução geométrica do MSS os valores teóricos esperados são de 79 x 79 para os canais 4, 5, 6 e 7 e 240 x 240m no canal 8.

Quanto ao RBV, cujo princípio de funcionamento é similar aos sistemas de televisão, foram obtidas inicialmente imagens multiespectrais em três canais no satélites LANDSAT-1 e 2 e em um canal (pancromático) no LANDSAT-3. Os intervalos espectrais dos canais RBV nos LANDSAT-1 e 2 variam entre 0,475 e 0,575 μm no canal um, 0,580 e 0,680 μm no canal dois e 0,690 a 0,830 μm no canal três. No LANDSAT-3 o canal pancromático opera na faixa de 0,505 a 0,750 μm .

Nos satélites LANDSAT-1 e 2 as dimensões da faixa de varredura e resolução do RBV são iguais às do MSS. Já o LANDSAT-3, com uma nova faixa de varredura para o RBV, da ordem de 98 km de largura, proporciona imagens com resolução pouco inferior a 40 x 40 m.

2.2 - METODOLOGIA

A metodologia empregada na execução deste trabalho seguiu, de modo geral, as seguintes etapas:

- a) coleta de materias e pesquisa bibliográfica;
- b) interpretação de imagens MSS LANDSAT em 1:500 000;
- c) interpretação de imagens MSS e RBV LANDSAT, e mosaico RADAM BRASIL em 1:250 000, e "strips" de radar da Missão 96 da NASA em escala aproximada 1:360 000;
- d) análise automática de fitas CCTs do satélite LANDSAT no analisador Image-100;
- e) trabalhos de campo (1a. etapa);

- f) reinterpretação de imagens;
- g) análise e classificação automática no Image-100;
- h) interpretação de fotografias aéreas MS e IR em 1:42 000 da Missão 96;
- i) trabalhos de campo (2a. etapa);
- j) análise dos dados petrográficos;
- k) integração de dados;
- l) conclusões.

Este conjunto de etapas sō foi executado na íntegra para a área do Complexo de Bação. Para as demais, os trabalhos foram concluídos em um menor número de etapas, que variou para cada área até o ponto em que os resultados obtidos fossem considerados satisfatórios para a consecução dos objetivos propostos.

2.2.1 - COLETA DE MATERIAIS E PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Como já foi dito anteriormente, grande parte dos produtos de sensores remotos utilizados neste estudo foram obtidos junto ao INPE (imagens de satélite, fitas compatíveis com o analisador I-100, produtos da Missão 96). Apenas os mosaicos semicontrolados de radar de vista lateral do Projeto RADAMBRASIL tiveram de ser providenciados na sede deste projeto no Rio de Janeiro, onde foram fornecidos os negativos para a produção das cópias, estas confeccionadas nos laboratórios do INPE em Cachoeira Paulista.

A coleta dos mapas e demais materiais bibliográficos foi executada junto aos órgãos anteriormente mencionados. (seção 2.1.1)

A pesquisa bibliográfica esteve voltada tanto aos aspectos geológicos da região, como às características principais dos produtos utilizados. No primeiro caso foi dada certa ênfase ao problema da evolução dos conhecimentos estratigráficos, sobretudo das sequências me

tassedimentares e metavulcânicas pré-cambrianas, sobre as quais existem até hoje controvérsias as mais variadas, e cuja compreensão foi considerada fundamental. Para tanto foi analisada a literatura publicada até meados de 1981. Com respeito aos sensores, após um apanhado sobre as missões executadas na região, foram analisadas em linhas gerais as suas características principais e implicações decorrentes nas imagens, o que foi de importância fundamental na escolha dos produtos utilizados.

2.2.2 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS MSS LANDSAT EM 1:500 000

Esta interpretação, executada nos canais 5, 6 e 7, objetivou a delimitação das principais unidades texturais e a delimitação dos grandes traços estruturais.

Foram utilizados nesta etapa os critérios correntes de fotointerpretação, baseados fundamentalmente em propriedades texturais, nos níveis de cinza e nas características morfológicas e estruturais dos alvos. As características multiespectrais das imagens MSS LANDSAT manifestam estas propriedades em maior ou menor grau, dependendo da faixa do espectro eletromagnético em que os diversos canais operam.

As diferentes unidades fotogeológicas foram delimitadas principalmente com base em suas características texturais (morfologia, padrão de drenagem) e, secundariamente, com base em diferentes níveis de cinza, pois esta última propriedade apresenta, em princípio, algumas restrições em áreas com atividade humana mais intensa.

Para o traçado dos contatos entre as diferentes unidades fotogeológicas procurou-se sempre tentar verificar a existência de prováveis traços de camadas e pequenas escarpas (rupturas de declive), que podem representar a interface entre diferentes unidades litológicas.

Frequentemente observou-se que a delimitação das unidades em termos texturais coincidiu com a delimitação com base em diferentes níveis de cinza, o que tornou este último critério menos restrito quan

to ao seu uso. Esta associação, conseqüentemente, tende a aumentar a confiabilidade da fotointerpretação.

Para a interpretação estrutural procurou-se delimitar feições topográficas indicativas de estruturas. No caso específico de falhamentos, tentou-se observar a existência ou não de deslocamentos em determinado conjunto de camadas, cristas, escarpas ou unidades fotogeológicas, truncamento de unidade por feições lineares, lineamentos.

As denominações *lineamento*, *linear* e *lineação* seguem, neste estudo, as definições propostas por O'Leary et alii (1976). Estes autores realizaram um estudo cuidadoso, abordando a origem dos termos e as diversas definições posteriormente dadas a estes. No sentido de padronizar estas denominações, O'Leary et alii (1976) propuseram as seguintes definições:

- 1) *lineamento* - é uma feição mapeável simples ou composta de uma superfície, cujas partes são alinhadas de forma retilínea, ou apresentam relações claramente curvilíneas; diferem nitidamente dos padrões das feições adjacentes, refletindo, presumivelmente, fenômenos de subsuperfície.
- 2) *linear* - é um adjetivo que descreve o caráter de semelhança a uma linha de algum objeto ou objetos.
- 3) *lineação* - é um alinhamento estrutural unidimensional de componentes de uma rocha; é produzida por agentes externos, não podendo ser representada como numa feição individual sobre um mapa

Outra propriedade de grande valia na interpretação das imagens é o efeito estereoscópico por elas proporcionado. Este efeito ocorre em duas situações distintas. Na primeira, na área de recobrimento entre duas cenas obtidas em órbitas (e pontos) adjacentes, de

vido à diferença de paralaxe entre o satélite, e feições do terreno presentes nas duas imagens. Todavia, na latitude em que se encontra o Quadrilátero Ferrífero, a faixa de recobrimento é estreita, da ordem de 15%, o que torna a utilização deste efeito relativamente limitada. No segundo caso, pode-se obter o efeito estereoscópico utilizando imagens obtidas sob diferentes ângulos de elevação solar, ao qual está associado o efeito de sombreamento das imagens LANDSAT. Diferenças da ordem de 10^0 já são suficientes o bastante para produzir um bom exagero vertical. Neste caso, o efeito estereoscópico pode ser obtido em uma cena inteira.

O efeito estereoscópico obtido por diferença de elevação solar apresenta um inconveniente. A elevação solar varia com a época do ano, ocorrendo as maiores diferenças com um período de seis meses. Neste intervalo de tempo, as estações são também diferentes, com conseqüentes mudanças no terreno em termos de cobertura vegetal, umidade, etc. Além disso, varia também o azimute dos raios solares, produzindo realces topográficos levemente diferentes no correr do ano, ocorrendo os maiores realces em feições do terreno com direções perpendiculares ao azimute dos raios solares. Conseqüentemente, a níveis de cinza e texturas dos alvos nas imagens variam no decorrer do ano.

Assim, embora seja mais restrito, o efeito estereoscópico obtido com imagens de órbitas adjacentes contribui de forma mais significativa na interpretação fotogeológica. No caso do efeito por diferença de inclinação solar devem ser evitadas grandes diferenças de ângulos pois embora produzam grande exagero vertical podem apresentar níveis de cinza e texturas bem diferentes. Por outro lado, as variações sazonais em imagens podem ser também um elemento de grande valia para a discriminação litológica e estudos estruturais.

Um outro aspecto de grande importância na interpretação das imagens LANDSAT (também fotografias aéreas, imagens de radar, etc.) refere-se ao ângulo de elevação solar, Hackman (1967) realizou um es

tudo experimental, demonstrando que com o decréscimo do ângulo de elevação solar as diferenças tonais tornam-se menos aparentes. Por outro lado, nesta mesma situação, o realce produzido pelo efeito de sombreamento na topografia, em especial o microrrelevo, torna esta mais evidente. Assim, imagens com baixo ângulo de iluminação solar são recomendáveis para regiões de relevo relativamente baixo, pois com relevos mais elevados pode ocorrer um mascaramento de partes da área pelo efeito de sombreamento. Para compensar a perda em termos de níveis de cinza decorrentes do incremento do efeito de sombreamento e fornecer o máximo de informações ao fotointérprete, a alternativa é a utilização combinada de imagens obtidas sob baixos e altos ângulos de iluminação, especialmente quando estas combinações podem ser estudadas estereoscopicamente. No caso de apenas uma cobertura, é desejável que esta seja tomada com ângulo de elevação solar entre 20° e 30° .

2.2.3 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS MSS e RBV LANDSAT E MOSAICOS RADAM BRASIL EM 1:250 000 E "STRIPS" DE RADAR DA MISSÃO 96 NASA EM 1:360 000

A interpretação de imagens MSS e RBV LANDSAT seguiu, nesta etapa, a mesma metodologia empregada na etapa anterior, com um nível maior de detalhe, voltada principalmente à de delimitação de unidades fotogeológicas e delimitação das estruturas nessa nova escala. O efeito estereoscópico não pode ser obtido para as imagens RBV pois existe apenas uma passagem de boa qualidade e, ainda assim, restrita à porção oeste da área de interesse.

Para a interpretação dos mosaicos do Projeto RADAMBRASIL e "strips" da Missão 96 da NASA, os critérios foram mais rígidos, seguindo, em princípio, os estabelecidos para as imagens LANDSAT, com as peculiaridades envolvidas na análise de imagens de radar, conforme discutido em 1 da seção 2.1.2.3.

Procurou-se sempre efetuar uma análise integrada entre as imagens do Projeto RADAMBRASIL e Missão 96, visto que podem fornecer in

formações mutuamente complementares, pelas diferentes características espectrais e geométricas dos imageamentos.

O efeito estereoscópico nas imagens de radar só pôde ser obtido com os "strips" da missão 96 e, ainda assim, de forma restrita, pois apresentavam variações nas escalas longitudinais.

Os dados resultantes deste fase foram integrados com aqueles obtidos na fase anterior e analisados em relação aos mapas geológicos disponíveis em escalas compatíveis. Esta comparação a posteriori com os mapas geológicos visou minimizar as possíveis tendenciosidades na fotointerpretação, decorrentes de um completo conhecimento prévio da geologia da região. Por outro lado, esta ordem favoreceu o traçado de feições novas, no caso de estas estarem presentes.

Após essa análise, algumas áreas mostraram-se interessantes, quer pelos seus aspectos estruturais como também, de forma subordinada, pela distribuição das unidades fotogeológicas. Estas áreas foram então selecionadas para o prosseguimento do estudo.

2.2.4 - ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS MSS LANDSAT

A análise automática de imagens MSS LANDSAT foi executada no analisador automático Image-100, utilizando as fitas compatíveis com este sistema.

Esta etapa foi desenvolvida nas áreas escolhidas ao final da etapa anterior, quais sejam: Sinclinal da Moeda (partes norte e sul), Complexo de Bação, Serra da Caraça - Sinclinal da Alegria e Serra das Cambotas - Sinclinal Gandarela.

Aqui, foram aplicadas diversas técnicas, sobretudo aquelas de realce, implantadas no sistema Image-100. Estas técnicas são descritas e discutidas por Rowan et alii (1974), General Electric (1975), Velasco et alii (1978), Paradella e Dutra (1980), Dutra (1980) e Paradella e Vitorello (1981).

2.2.4.1 - CORREÇÕES GEOMÉTRICAS, RADIOMÉTRICAS E DELIMITAÇÃO DE ÁREA

O início das atividades no analisador Image-100 engloba alguns programas de rotina, como a correção do "skewing", delimitação da área e correção radiométrica.

O sensor MSS dos satélites LANDSAT executa uma varredura do terreno em linhas sucessivas perpendiculares à projeção da trajetória da plataforma no terreno. Esta forma de varredura, aliada ao movimento de rotação da Terra, ocasiona um desvio lateral de cada linha sucessiva de imageamento do terreno, fenômeno esse denominado "skewing".

O "skewing" varia com a latitude. Como os registros dos imageamentos são efetuados sobre filmes utilizando um padrão ortogonal, durante o processamento cada linha deve ser desviada lateralmente para compensar este feito. A imagem corrigida apresenta a forma de um paralelogramo. (Rowan et alii, 1974).

Uma outra correção é necessária para compensar a diferença de velocidade entre o imageamento ao longo da linha de varredura e o avanço da plataforma ao longo da sua trajetória. Esta correção é efetuada durante a produção das fitas magnéticas compatíveis com o analisador I-100.

A delimitação da área de interesse no analisador Image-100 é feita com base em um sistema de coordenadas x,y cuja origem situa-se no canto inferior esquerdo da tela. O programa está apto a "formatar" uma imagem na tela desde que se forneça ao sistema a escala desejada e as coordenadas dos "pixels" x,y centrais, ou dos cantos esquerdo e direito superior da área de interesse.

Muitas vezes as imagens apresentam pontos ou linhas horizontais com defeitos originados pela deficiência no funcionamento dos sensores ou por deslocamento lateral de uma ou mais linhas.

No primeiro caso, essas deficiências (ruídos) podem ser apenas momentâneas, ou advir do desgaste do equipamento sensor pelo funcionamento prolongado. A correção desde efeito é importante sobretudo no caso de serem aplicadas sobre a imagem técnicas de filtragem, pois esses ruídos apresentam variações muito rápidas e intensas dos níveis de cinza em relação à região vizinha não-afetada por esse efeito, podendo por fim serem também realçados.

Esse efeito pode ser corrigido através de uma técnica que substitui a linha defeituosa por uma outra, cujas características correspondem a uma linha obtida por um detector médio das demais não-perturbadas.

No caso do desvio lateral de uma linha, ocasionado por problemas de registro da imagem faz-se a correção através da reprodução no lugar da linha perturbada de uma outra que representa a média das linhas vizinhas.

Não foram executadas correções relativas aos efeitos atmosféricos (absorção e espalhamento) pela complexidade dos cálculos envolvidos.

2.2.4.2 - TÉCNICAS DIGITAIS DE PROCESSAMENTO

As técnicas de processamento digital propriamente ditas podem ser agrupadas em dois grandes campos (Paradella and Vitorello, 1981) quais sejam:

- a) técnicas de realce para melhorar a capacidade de separação das informações espectrais em análises visuais;
- b) classificações temáticas que definem agrupamentos ("clusters") na análise das assinaturas espectrais.

1) Técnicas de realce

a) "Contrast stretch"

Os sensores dos satélites LANDSAT são construídos de modo a registrar a variação na radiância dos diferentes alvos naturais em faixas de comprimentos de onda e de forma que a variação na intensidade dessa propriedade, ainda que ampla, possa ser registrada sem saturar o sistema (Paradella and Vitorello, 1981).

Assim, normalmente os tons de cinza de uma cena ocupam apenas uma parcela do campo de variação possível dos níveis de cinza, ou seja, estes níveis de cinza concentram-se em um pequeno intervalo entre os 256 níveis (entre o preto, nível zero, e o branco, nível 255).

A técnica de realce "contrast stretch" consiste em uma transformação matemática que redistribui o intervalo original de tons de cinza para os 256 níveis possíveis.

Vários são os tipos de transformações possíveis. A mais simples e de aplicação mais difundida é o denominado "linear stretch". Nesta transformação os limites máximo e mínimo da porção a ser expandida são determinados na histograma de tons de cinza (normalmente são escolhidos extremos que limitam a porção do histograma que contém os dados mais significativos) e colocados nos pontos extremos do campo de variação possível, ou seja, o limite mínimo passa a ser o nível zero e o máximo o nível 255. Os demais pontos são espaçados entre estes extremos. O produto obtido é uma imagem com todos os níveis de cinza (0-255) e um contraste significativamente maior.

O "stretch" não-linear emprega transformações do tipo raiz quadrada, raiz cúbica, etc., de cada nível de cinza. O campo da variação resultante é linearmente expandido, como no "linear stretch".

A transformação do tipo cúbica, por exemplo, aumenta o contraste das áreas escuras de uma cena às custas do contraste das áreas mais claras. Em transformações exponenciais ocorre o inverso (Rowan et alii, 1974).

O "linear stretch" foi uma técnica largamente empregada no presente estudo. Nos locais onde se menciona o "contrast" stretch", entenda-se como uma transformação do tipo "linear stretch".

b) Realce pelos principais componentes

Segundo Paradella e Vitorello (1981), os canais MSS LANDSAT são bastante redundantes em termos de informações espectrais devido à semelhança nas assinaturas espectrais dos alvos naturais, largura das bandas espectrais dos canais e suas posições no espectro eletromagnético.

A técnica de realce pelos principais componentes determina uma transformação linear dos dados originais através da rotação e translação, no espaço, dos atributos espectrais definidos por quatro eixos ortogonais, correspondentes a quatro canais MSS LANDSAT (Paradella and Vitorello, 1981). Esta transformação tende a concentrar toda a informação dos canais originais em um outro sistema de eixos, correspondentes a canais transformados ou *principais componentes*, não correlacionáveis e ortogonais entre si. Esta transformação concentra a maior parcela da informação original nos primeiros componentes, decrescendo para os demais, onde são concentrados também os ruídos gerados durante o registro ou processamento de imagens.

Utilizou-se para este processamento o programa PRINCO, implantado no sistema Image-100.

Esta técnica foi empregada no estudo da região correspondente ao Complexo de Baçã durante a segunda etapa de análise automática de imagens.

c) Filtragens digitais

A técnica de filtragem digital de imagens, desenvolvida por Dutra (1980), tem-se mostrado de grande valia em estudos geológicos.

Consiste basicamente num processo de realce de uma cena através de uma filtragem digital que atua sobre as variações tonais (correspondentes aos diferentes níveis de cinza dos "pixels" constituintes de uma imagem). Tais variações tonais são passíveis de ser tratadas e analisadas através do conceito de frequência espacial de uma imagem (Paradella e Dutra, 1980).

Segundo Paradella e Dutra (1980), os filtros digitais promovem variações de níveis de cinza em um "pixel" da imagem original conforme a influência de seus "pixels" vizinhos. Esta variação será maior ou menor em função dos valores atribuídos pelo operador ao "pixel" central e seus vizinhos, bem como em função da configuração geométrica do filtro empregado.

O valor de cada ponto (pixel) processado é calculado pela média dos valores dos "pixels" vizinhos, definidos pela configuração do filtro escolhido e ponderado pelos respectivos pesos atribuídos pelo operador.

A combinação dos valores de entrada (ou pesos) no programa de filtragem proporcionarão um maior ou menor realce da cena, segundo as direções preferenciais de interesse do operador.

À época da realização do presente estudo, existiam no INPE três diferentes tipos de filtros digitais implantados no sistema Image-100. A Tabela 2.6 apresenta a configuração destes filtros, bem como algumas combinações de pesos, cuja experiência tem mostrado serem adequados em estudos geológicos.

TABELA 2.6

CONFIGURAÇÃO DOS FILTROS DIGITAIS UTILIZADOS, COM EXEMPLOS
DE COMBINAÇÃO DE PESOS

FILTRO DIGITAL I configuração		FILTRO DIGITAL II configuração		FILTRO DIGITAL III configuração	
A B A D B D C D B D A B A		D A A A B B B C B B B A A A D		D A D A B B B C B B B A D A D	
REALCES		REALCES		REALCES	
P/ NE	P/ NW	P/ NS	P/ EW	P/ NS	ISOTRÓPICO
A valores baixos e negativos	A valores nulos	A valores positivos	A valores baixos e negativos	A valores nulos	A valores baixos e positivos
B valores nulos	B valores baixos e negativos	B valores baixos e negativos	B valores baixos e positivos	B valores baixos e negativos	B valores baixos e negativos
C valores positivos	C valores positivos	C valores positivos	C valores positivos	C valores positivos	C valores positivos
D valores nulos ou positivos	D valores nulos ou positivos	D valores nulos	D valores baixos e negativos	D valores nulos	D valores baixos e negativos.
Exemplo A=1 B=0 C=15 D=0	Exemplo A=0 B=1 C=15 D=0	Exemplo A=1 B=2 C=15 D=0	Exemplo A=2 B=1 C=10 D=-1	Exemplo A=0 B=2 C=30 D=0	Exemplo A=1 B=2 C=28 D=2

FONTE: Paradella e Dutra (1980), p. 2964.

d) "Band ratio"

A técnica denominada "band ratio" tem sido empregada em uma gama muito ampla de problemas geológicos. Consiste basicamente na razão (divisão) "pixel" por "pixel" entre dois canais MSS LANDSAT.

Em função dos quatro canais do MSS LANDSAT tem-se a possibilidade de seis combinações diferentes (4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7 e 6/7). Pode-se também inverter o numerador e o denominador. Nesse caso a razão entre dois canais produz um produto semelhante, independente de sua posição no numerador e denominador (Paradella and Vitorello, 1981).

Outros tipos de relações são também possíveis como por exemplo a divisão de um canal pela soma de dois canais. Todavia, as razões usuais correspondem à divisão de um canal pelo seu subsequente, quais sejam: 4/5, 5/6 e 6/7.

Várias combinações foram aplicadas tentativamente durante a realização deste estudo, utilizando o programa implantado em "Hardware" no I-100, mas os resultados obtidos, quase sem exceção, não foram considerados satisfatórios e por isto não documentados fotograficamente.

2) Classificações temáticas

As classificações temáticas consistem basicamente no reconhecimento de padrões de classes ou grupos cujos indivíduos possuam características comuns. Em termos de sensoriamento remoto, estas classificações proporcionam um reconhecimento de vários temas como rochas ou unidades rochosas, tipos de solos, vegetação, agricultura, massas d'água, etc.

Embora tenham sido empregadas com grande sucesso em problemas de uso de terra, estudos ambientais e agricultura, estas classificações apresentam algumas restrições quando empregadas em estudos geo

lógicos. Segundo Paradella e Vitorello (1981) tais restrições prendem-se aos seguintes fatores: as informações contidas nas imagens provêm da superfície do terreno que inclui vegetação, solo e atividades humanas que influenciam a resposta espectral das litologias sotopostas; nem sempre as rochas estão aflorando e quando estão, normalmente encontram-se alteradas; o relevo normalmente produz sombras que dificultam a caracterização espectral dos alvos de interesse; as faixas espectrais em que operam os sensores MSS LANDSAT não são as mais adequadas para a caracterização de corpos rochosos complexos e heterogêneos; a classificação automática leva em consideração apenas o fator de fotoanálise correspondente aos diferentes níveis de cinza, deixando as variações texturais para a análise visual.

As técnicas de classificação temática podem ser agrupadas em duas diferentes linhas: classificações supervisionadas e classificações não-supervisionadas.

Como classificações supervisionadas, entendem-se aquelas em que as diferentes classes são separadas pelo operador de acordo com critérios próprios preestabelecidos. Nesta classe podem-se incluir os programas MAXVER (Velasco et alii, 1978) implantado no sistema Image-100, com largo uso em estudos geológicos, e o programa "single cell".

Por outro lado, na classificação temática não-supervisionada as classes são delimitadas por algoritmos que separam estatisticamente os grupos (clusters) (Paradella and Vitorello, 1981). Nesta categoria podem ser incluídos os algoritmos para divisão em intervalos de intensidade ou "level slicer" (INPE, 1980) e média-K (Paradella and Vitorello, 1981) empregados neste estudo.

a) Classificação temática não-supervisionada

- Divisão em intervalos de intensidade ("level slicer")

Este programa divide o histograma de uma imagem em oito intervalos de níveis de cinza, associando a cada um deles uma

cor diferente. Como resultado tem-se uma imagem colorida em lugar de uma imagem com diferentes níveis de cinza, com subsequente aumento na capacidade de discriminação pelo olho humano. Este processo apresenta a grande vantagem de ressaltar, por meio de diferentes cores, níveis de cinza bastante próximos, cuja percepção pelo olho humano é muito difícil.

- Média-K

A classificação pela média-K é uma técnica de agrupamento que procura determinar as relações naturais ou inerentes a um conjunto de determinações ou populações (Paradella and Vitorello, 1981).

Neste método, o operador escolhe a cena de interesse a ser classificada e define a seu critério um número lógico de classes no terreno. Isto feito, o computador divide estatisticamente os "pixels" da imagem no número de classes desejadas, baseadas nas propriedades destes "pixels".

O critério fundamental de agregamento dos "pixels" é a Distância Euclidiana entre os pontos por eles ocupados no espaço de atributos (Paradella and Vitorello, 1981).

Os agregamentos são formados a partir de núcleos escolhidos arbitrariamente e, à medida que novos pontos são considerados, novos centros de agrupamentos são calculados pelo algoritmo, que vai englobando esses novos pontos no agrupamento cujo centro esteja mais próximo. A variância da classe é calculada para cada ponto adicionado. Considera-se a operação concluída quando for atingido o número mínimo de interações definido pelo analista ou quando os agrupamentos se tornarem estabilizados (Paradella and Vitorello, 1981). Os produtos obtidos através desta técnica, para a região de Caraça-Alegria, não foram documentados fotograficamente por não terem proporcionado bons resultados.

b) Classificação temática supervisionada

• "Single cell"

Este algoritmo define os valores extremos do histograma dos níveis de cinza para uma área de treinamento em cada um dos quatro canais do MSS LANDSAT. Tais valores extremos configuram espacialmente um paralelepípedo quadrimensional, no espaço de atributos, que corresponde à assinatura espectral da área de treinamento.

Definido este sólido, toda a imagem é analisada ponto a ponto e classificados os "pixels", cujos parâmetros espectrais situem-se internamente ao paralelepípedo.

Durante o processamento são fornecidos histogramas dos níveis de cinza de cada um dos quatro canais, bem como distribuição estatística da imagem em função dos limites estabelecidos. No caso de haver superposição entre classes, o operador pode introduzir alterações nos limites dos histogramas dos canais ou modificar sua área de treinamento, de modo a obter melhores resultados (General Electric, 1975).

• Classificação pelo critério da máxima verossimilhança (algoritmo MAXVER)

O programa MAXVER (Velasco et alii, 1978) objetiva a classificação, ponto a ponto, de uma imagem multiespectral usando o critério da máxima verossimilhança espectral de um ponto em relação a determinadas classes, escolhidas de forma interativa pelo pesquisador.

Em um estágio inicial denominado treinamento, o pesquisador define as suas classes de interesse (até oito). O programa define os parâmetros *média e covariância* para cada uma das classes, tornando possível o cálculo da probabilidade de cada ponto da imagem pertencer a uma das classes definidas (Paradella e Vitorello, 1981).

Isto feito, o programa MAXVER procura incluir em uma das classes cada ponto da imagem, desde que a possibilidade de um determinado ponto pertencer a uma determinada classe seja máxima.

De modo a aumentar o rigor da classificação, é introduzido um limiar (constante positiva) abaixo do qual um ponto não é considerado como pertencente a uma classe (Paradella e Vitorello, 1981). Este limiar pode ser alterado na dependência da classificação ser considerada satisfatória ou não.

O rigor da classificação depende também do conhecimento prévio da área de estudo por parte do pesquisador, pois quanto maior este conhecimento, maior será a precisão na escolha das áreas de treinamento representativas de cada classe.

A classificação MAXVER foi empregada na segunda etapa de análise automática no Image-100 para a área da Serra do Caraça-Sinclinal da Alegria e Sinclinal da Moeda (parte norte, tendo sido documentada fotograficamente nesta última área, onde os resultados mostraram-se bastante satisfatórios. Para a região de Caraça-Alegria (onde objetivou-se a classificação de bauxitas ferruginosas presentes nas vizinhanças do Morro do Fraga) os resultados não foram satisfatórios, à exemplo do que já havia ocorrido com a Média-K, talvez pelo excessivo sombreamento existente na área.

A sequência de etapas envolvidas no processamento das imagens no Image-100 são expostas nas Figuras 2.12 (parte norte do Sinclinal da Moeda), 2.13 (parte sul do Sinclinal da Moeda), 2.14 (Complexo de Bação), 2.15 (Serra do Caraça-Sinclinal da Alegria), 2.16 (Serra das Cambotas-Sinclinal Gandarela). Estas figuras representam apenas os processamentos considerados satisfatórios e que proporcionam produtos fotográficos de interesse.

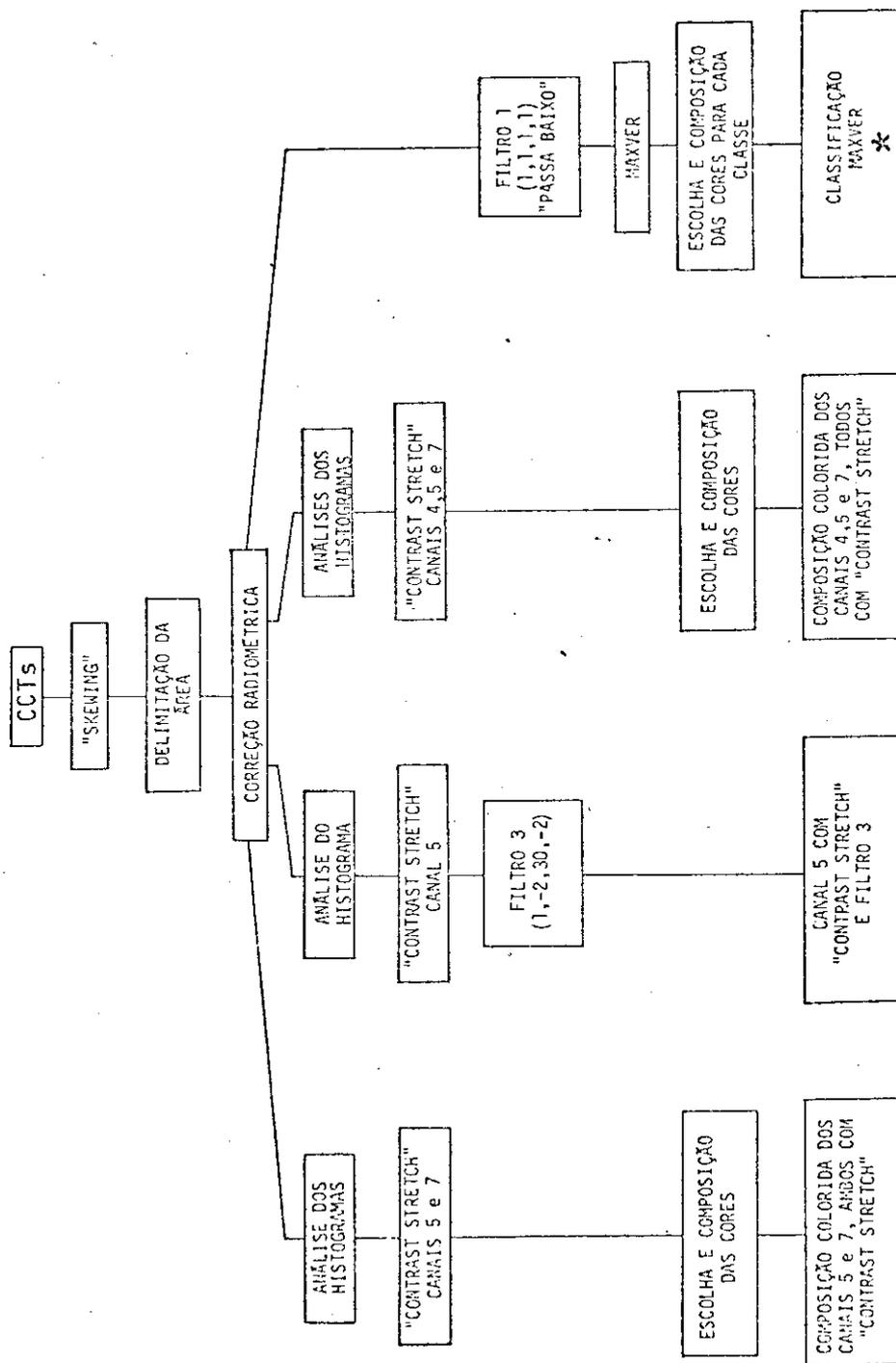


Fig. 2.12 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a parte norte do Sinclinal da Moeda.

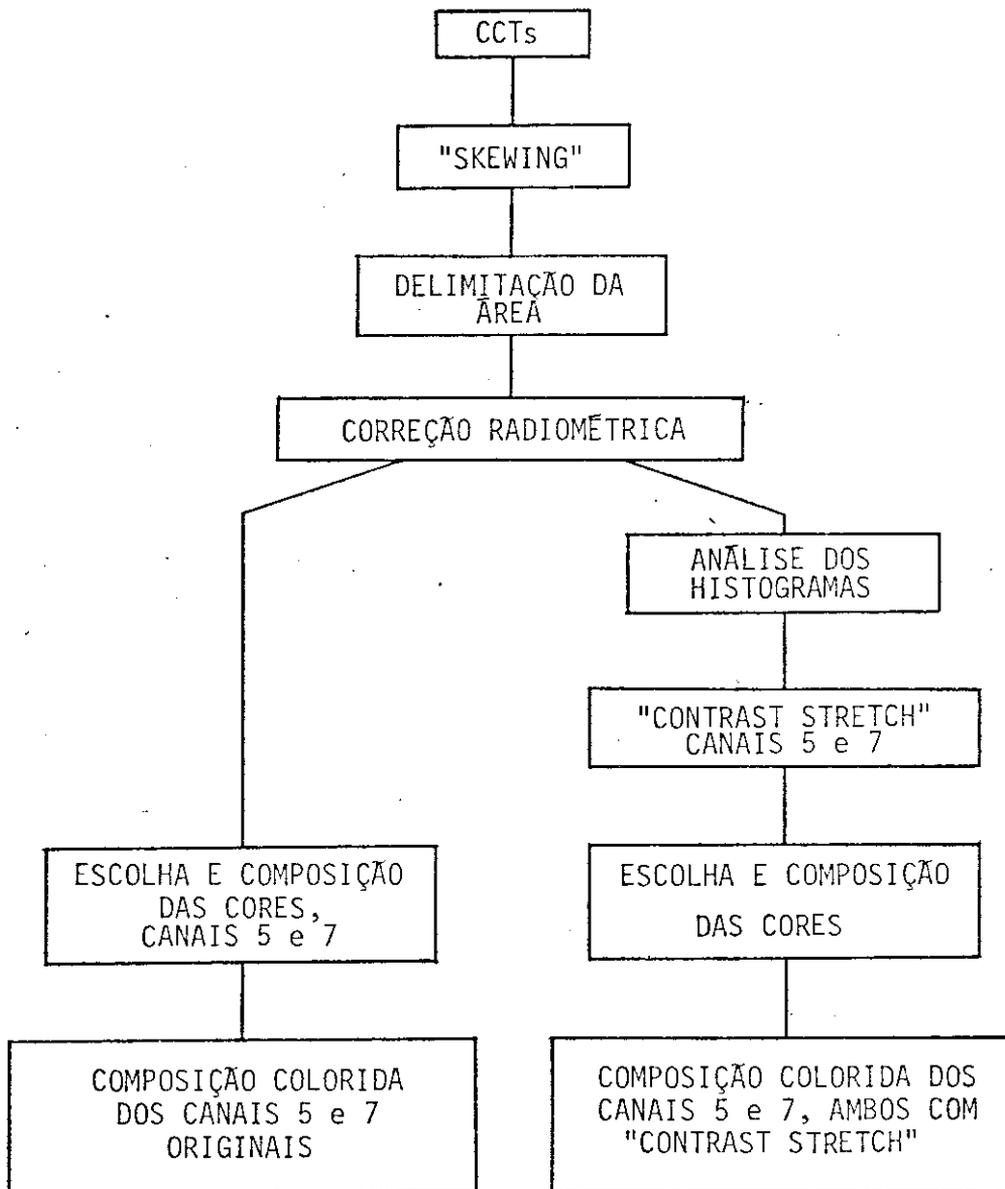


Fig. 2.13 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a porção suldo Sinclinal da Moeda.

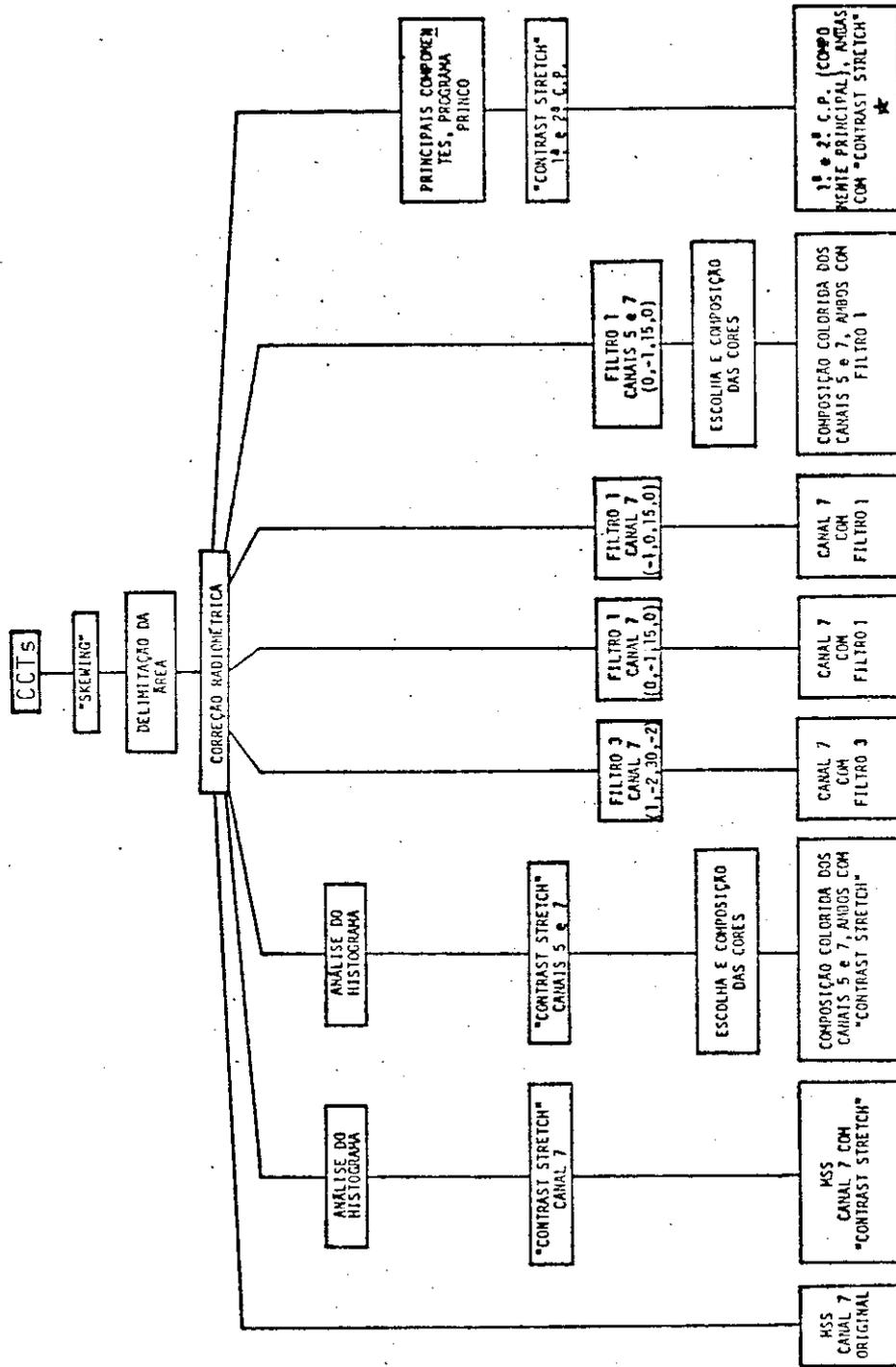


Fig. 2.14 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região do Complexo de Bação.

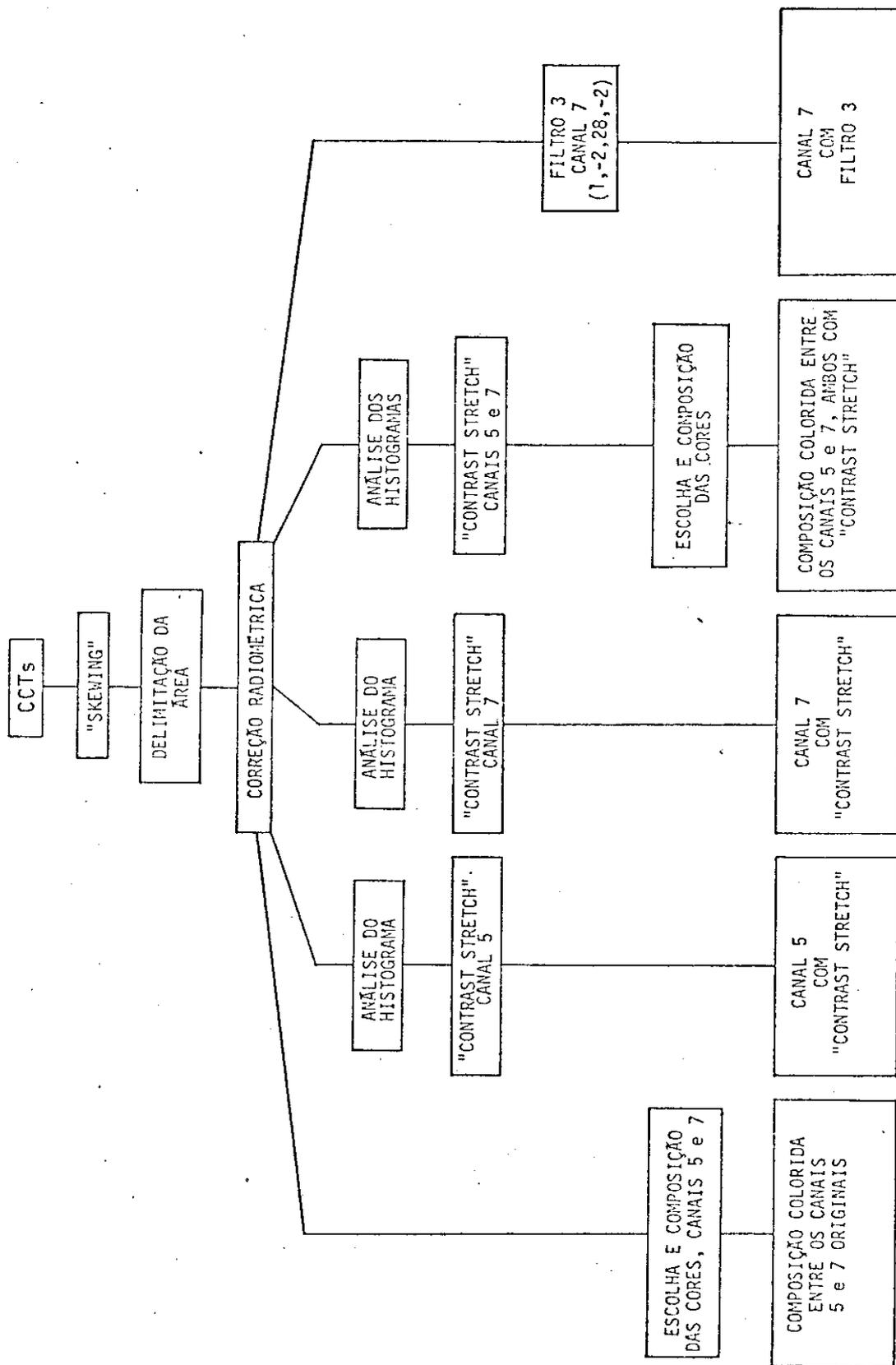


Fig. 2.15 - Diagrama mostrando a sequência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região da Serra do Caraça e Sinclinal da Alegria.

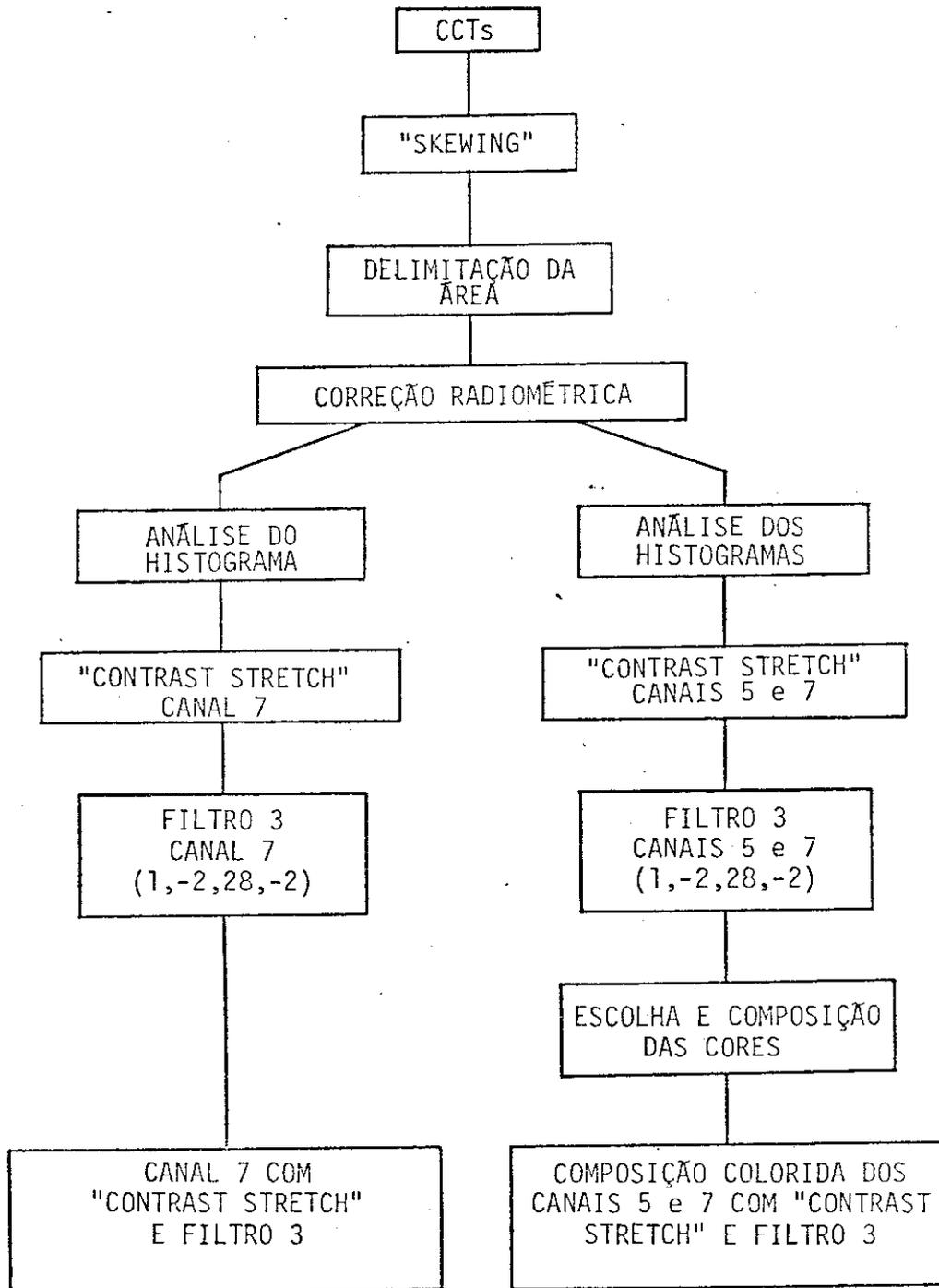


Fig. 2.16 - Diagrama mostrando a seqüência de etapas envolvidas no processamento das fitas compatíveis com o analisador Image-100 e os produtos obtidos para a região da Serra das Cambotas.

2.2.5 - TRABALHOS DE CAMPO (1a. Etapa)

Para esta atividade utilizaram-se como base um esboço fotogeológico em 1:250 000, fotografias aéreas, em 1:42.000 produtos obtidos na primeira etapa de análise no Image-100 e as cartas geológicas disponíveis.

Procurou-se obter uma familiarização com as diferentes unidades geológicas da região e verificar algumas das feições assinaladas nos esboços fotogeológicos, de modo a se testarem os critérios empregados na fotointerpretação e escolher algumas áreas para testes com classificação automática.

O roteiro percorrido cobriu praticamente toda a região.

2.2.6 - REINTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

Após a etapa de campo as imagens foram revistas, compatibilizando-se a fotointerpretação com os dados de campo. Algumas áreas das anteriormente escolhidas tiveram os trabalhos pertinentes praticamente concluídos.

2.2.7 - ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA NO IMAGE-100

Com os dados de campo, foram aplicadas as técnicas de classificação automática nas áreas do Sinclinal da Moeda (porção norte) e Sinclinal da Alegria-Serra do Caraça.

Na região do Complexo de Bação foi testada a técnica de realce pelos principais componentes. Os processamentos conduzidos nesta etapa estão assinalados com asteriscos nas Figuras 2.11 e 2.13 (nos blocos da última linha).

Após esta etapa os trabalhos desenvolvidos concentraram-se na porção norte do Sinclinal da Moeda e no Complexo de Bação. Neste último foram identificados alguns aspectos estruturais importantes.

2.2.8 - INTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS MS E IR DA MISSÃO 96

Restrita à porção centro-sul do Complexo de Bação, e voltada à separação de unidades fotogeológicas e caracterização estrutural. O esboço obtido foi utilizado nas etapas seguintes.

2.2.9 - TRABALHOS DE CAMPO (2a. Etapa)

Conduzido na porção norte do Sinclinal da Moeda e na porção centro-sul do Complexo de Bação. Objetivou, na primeira área, a "checagem" do produto da classificação MAXVER e, na segunda, o reconhecimento geológico de uma feição circular da área. Aqui, além do levantamento de seções geológico-estruturais detalhadas, foram coletadas algumas amostras para caracterização petrográfica.

2.2.10 - ANÁLISE DOS DADOS PETROGRÁFICOS

As amostras coletadas foram caracterizadas petrograficamente e em termos de composições modais, dados estes analisados em conjunto com outros disponíveis na literatura sobre a região do Complexo de Bação. Os dados então obtidos foram tabelados e tratados em diagramas composicionais.

Algumas amostras de formações quartzíticas (Serra da Moeda, Serra do Ouro Branco, Serra do Caraça, Serra das Cambotas e Tamanduá), colhidas durante a primeira etapa de campo, foram analisadas em termos de minerais pesados (índice ZTR). Entretanto, por problemas analíticos não puderam ser totalmente aproveitados os resultados.

2.2.11 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS E CONCLUSÕES

Compreendeu a análise e síntese dos resultados da pesquisa bibliográfica, interpretações de imagens e dos trabalhos desenvolvidos nas cinco áreas escolhidas.

A conclusão de uma etapa não significou que ela ou as anteriores não tenham sido retomadas no transcurso deste trabalho. Pelo contrário, algumas vezes os dados obtidos após a elaboração de uma determinada etapa serviram como complemento ou reavaliação das anteriores. Dessa forma, a sequência apresentada não deve ser entendida como "fechada", mas sim com uma dinâmica peculiar aos estudos efetuados com base em dados de sensoriamento remoto.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

3.1 - ESTRATIGRAFIA

3.1.1 - SEQUÊNCIAS METASSEDIMENTARES E METAVULCÂNICAS PRÉ-CAMBRIANAS

3.1.1.1 - EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS E SITUAÇÃO ATUAL

Geologicamente, a região do Quadrilátero Ferrífero pode ser considerada uma das áreas melhor conhecidas do País. A abundância em recursos minerais, entre eles o ferro, o ouro e o manganês, tornou essa região a mais importante do Brasil, do ponto de vista mineral.

Há mais de um século tem atraído o interesse de inúmeros geólogos, época da qual datam os primeiros trabalhos da região. O primeiro esboço estratigráfico da região foi estabelecido pelo Barão W.L. Von Eschwege em 1832 (apud Renger, 1979). Este autor reconheceu quatro unidades fundamentais presentes sobretudo no Estado de Minas Gerais. As duas inferiores denominadas formações primária e secundária, da base para o topo respectivamente, ocorrem no Quadrilátero Ferrífero. A formação primária de Eschwege (Renger, 1979) ou "rocha do embasamento" engloba terrenos constituídos por granito, gnaiss, micaxisto, sienito e basalto. A formação secundária apresenta itabiritos¹ e itacolomitos, entendendo-se por este último rochas como quartzitos talquíferos (por vezes clásticos), formação ferrífera xistosa ou bandeada e xistos (talco-xisto, clorita-xisto, esteatito, etc.).

Segundo Renger (1979) "Estas formações, primária e secundária, podem ser consideradas de uma maneira bastante geral, como o

¹ Renger (1979) destaca que o itabirito segundo a definição original de Eschwege é o minério de ferro maciço (notadamente de hematita), ao passo que o termo no sentido atual corresponde ao que ele denominava formação ferrífera xistosa.

Precambriano (por exemplo, arqueano e proterozóico). Hoje em dia, como se sabe, não é só o grau de metamorfismo e cristalinidade que indicam a idade de um certo pacote".

Derby (1881) reconheceu uma discordância na formação secundária de Eschwege, separando a sequência inferior mais metamorfisda, composta por quartzito, formação ferrífera e calcário dolomítico, da sequência superior, menos metamorfisada, constituída por arenito com leitos de seixos.

O mesmo Derby, em 1906, define a Série Minas como a sequência xistosa metassedimentar e metavulcânica sobreposta discordantemente ao embasamento arqueano.

Segundo Derby (1906) "A série xistosa da Serra do Espinhaço e regiões adjacentes, *que podem ser convenientemente denominadas série Minas* (grifo do autor), consistem em um grande complexo de xistos predominantemente argilosos, com massas subordinadas de quartzitos comuns, quartzitos ferruginosos (itabiritos passando a minério de ferro puro) e calcários. Todas estas rochas estão fortemente cisalhadas e caracterizadas por um maior ou menor desenvolvimento de minerais micáceos (biotita, sericita, hematita micácea, clorita, talco, etc.); e como em geral estão muito decompostas, existe grande dificuldade em distinguir seus diferentes componentes (exceto aqueles quartzosos e ferruginosos), e, assim, até agora, não houve nenhuma tentativa bem sucedida para estabelecer sua ordem de sucessão. É toleravelmente certo que os componentes quartzosos, ferruginosos e calcários são repetidos em vários horizontes e eventualmente servirão como linhas de referência para estabelecer a subdivisão da série; mas, antes que isto possa ser feito, a repetição, em consequência do dobramento e falhamento, deve ser determinada e levada em conta. Aparentemente, a série inteira foi deformada por dobras apertadas e recumbentes e, sem dúvida, muito falhada. Até que a região, ou pelo menos uma parte típica, tenha sido mapeada acuradamente, qualquer tentativa para determinar sua estrutura em detalhes será infrutífera".

"Os membros argilosos da sērie Minas incluem xistos micāceos (principalmente, senāo exclusivamente, sericīticos), calcoxistos, xistos grafītosos, clorīticos e talcoxistos. Uma parte considerāvel, senāo a totalidade dos ūltimos clorīticos, consiste, sem dūvida, de eruptivas cisalhadas e metamorfisadas; jā tentei mostrar em outras pu**bl**icações que uma parte dos xistos sericīticos tem a mesma origem. Nāo pode haver dūvida, entretanto, que a maior parte da sērie ē de origem sedimentar. Sua idade apenas pode ser presumida, mas parece toleravelmente certo que nāo pode ser mais jovem que o Cambriano, e que pode ser mais antiga" (traduçaō do autor).

Note-se que na definiçaō original da "Sērie Minas", Derby (1906) incluiu rochas do atual Supergrupo Rio das Velhas.

Contando com o apōio financeiro da companhia organizada por C.K.Leith e C.R. Van Hise (Barbosa, 1979), Harder e Chamberlin (1915) realizam o primeiro trabalho de mapeamento geolōgico do Quadri**l**ātero Ferrīfero (Figura 3.1).

Harder e Chamberlin (1915) dividem a Sērie Minas de Derby (1906) em cinco formaçōes. A formaçaō quartzītica inferior, que jaz sobre a superfīcie erodida do embasamento, foi denominada Quartzito Caraça. Admitem ainda uma continuidade para norte deste quartzito, atē Diamantina. Sobre esta formaçaō, algumas vezes separado por uma ca**m**ada pouco espessa de xisto argiloso (Xisto Batatal), estā situado um quartzito rico em ferro, denominado Formaçaō Ferrīfera Itabira. Esta formaçaō por sua vez ē sobreposta por uma sequēncia bastante espessa de xistos e filitos, denominada Formaçaō Piracicaba. A formaçaō supe**r**ior, constituīda por quartzito, com xistos associados, foi denominada Quartzito Itacolomi.

Moraes e Guimarāes (1930) em estudos realizados ao norte do Quadrilātero Ferrīfero (regiāo de Diamantina) reformulam parte das idēias de Harder e Chamberlin (1915). Atribuem ao Quartzito Itacolomi de Harder e Chamberlin (1915), a denominaçaō de "Sērie Itacolomi".

Na região de Diamantina, Moraes e Guimarães (1930) reuniem as unidades rochosas em oito agrupamentos. Os três inferiores corresponderiam ao Complexo Cristalino (inferior), Série de Minas (médio) e Série Itacolomi (superior).

Segundo Moraes e Guimarães (1930) "No intervalo entre a Serie de Minas e a deposição da Serie Itacolomy, houve energico diastrophismo, produzindo dobramento, falhas e injecções de diabasios e baltos. Estas rochas ígneas acham-se atualmente metamorphoseadas, e com aspecto de schistos crystalinos". Estes autores consideram ainda as rochas da região de Diamantina como pertencentes à Série Itacolomi e não ao Quartzito Caraça de Harder e Chamberlin (1915).

Guimarães (1930), tomando como base a discordância existitente na parte superior da Série Minas (Derby, 1881, 1906) e diferenças petrográficas, eleva formalmente à categoria de série o Quartzito Itacolomi de Harder e Chamberlin (1915). Considera o Quartzito Caraça (Harder e Chamberlin, 1915) como pertencente a esta série.

Von Freiberg (apud Renger, 1979) apresenta vários perfis da Série Minas do Quadrilátero Ferrífero. Destaca a importância das variações faciológicas nesta série. Apresenta uma subdivisão estratigráfica para a região de Ouro Preto, onde mantém os critérios de Derby (1906).

Lacourt (1947) divide a Série Itacolomi na região de Ouro Preto em três horizontes ou andares: inferior, representado por itacolomitos com leitos conglomeráticos; médio, constituído por filito; e superior, constituído por itacolomitos sem conglomerados. Baseado no trabalho de Moraes e Guimarães (1930), este autor considera a Série Itacolomi na região de Diamantina, correspondente aos horizontes médio e principalmente ao horizonte superior de Ouro Preto.

Barbosa (1954), em trabalho apresentado no 19º Congresso Geológico Internacional em Argel, 1952, propõe a existência de uma Sé

rie mais antiga do que a Série Minas, a qual denominou Série Barbacena. Segundo este autor, "A série Barbacena pertence um conjunto de xistos parcialmente granitizados e litologicamente muito diferentes das rochas das séries Mantiqueira subjacente e Minas sobrejacente".

"Os xistos verdes da série Barbacena demonstram um vulcanismo básico intenso que existiu naquela época. Sob o ponto de vista petrográfico este fato já foi admitido nos estudos de rochas de Nova Lima e Caeté, conforme Guimarães e Barbosa" (tradução do autor).

No mapa apresentado por Barbosa (1954) alguns aspectos não são totalmente claros, uma vez que a sua Série Barbacena apresenta grande extensão em área, incluindo rochas que Harder e Chamberlin (1915) mapearam como gnaisses, granitos e xistos, para os quais atribuíram idade provavelmente arqueana, e que ficariam melhor situados na Série Mantiqueira (Figura 3.2).

Este aspecto foi também observado por Oliveira (1956) quando diz: "Acima da série Mantiqueira e abaixo da bem conhecida série Minas, situa-se um grupo de rochas metassedimentares para as quais O. Barbosa (1954) propôs o nome série Barbacena. Como a definição foi muito vaga e como o mapa que acompanha o texto mostrou rochas variando em idade desde pré-Minas até pós-Minas incluídas na série proposta, o termo não será utilizado até que seja esclarecido" (tradução do autor).

Com base nesses fatos, Oliveira (1956) propõe que esta série seja temporariamente denominada Série pré-Minas.

Através de um convênio entre o DNPM e o USGS inicia-se em 1946, na região do Quadrilátero Ferrífero, o maior projeto de mapeamento geológico sistemático em escala de detalhe (1:25 000) já realizado no Brasil. Os trabalhos de campo desenvolveram-se até fins de 1961 (Dorr II, 1969), tendo sido mapeadas mais de quatro dezenas de quadri

culas (totais ou parciais) (Figura 2.1), e fornecendo alguns dos elementos mais importantes sobre a estratigrafia da região.

Reynearson et alii (1954) e Matheson (1956) descrevem em regiões semelhantes o contato basal da Série Minas. Segundo os primeiros autores, das dez localidades estudadas, em pelo menos seis o contato entre as rochas da Série Minas e pré-Minas, incluindo-se aqui as rochas xistosas e as rochas gnáissicas das séries Barbacena e Mantiqueira (Barbosa, 1954) respectivamente, é feito através de uma forte discordância angular, que chega a 75° em termos das suas direções. Em outros locais a discordância ou é levemente angular ou é apenas erosiva.

Dorr II et alii (1957) redefinem formalmente a Série pré-Minas de Oliveira (1956) a qual atribuem a denominação Série Rio das Velhas, nome do rio em cujo vale localiza-se a área-tipo da referida série.

Segundo Dorr II et alii (1957) "A série Rio das Velhas contém todas as rochas xistosas já mapeadas do Quadrilátero Ferrífero que são mais antigas do que a série de Minas. É constituída principalmente por xistos e filitos metassedimentares e metavulcânicos com formação ferrífera, grauvaca, conglomerado, quartzitos xistosos e rochas quartzo carbonáticas de aspecto dolomítico intercaladas localmente".

Neste mesmo trabalho Dorr II et alii (1957) dividem a Série Rio das Velhas em dois grupos. O grupo inferior, denominado Nova Lima, constituído principalmente por clorita-xisto, sericita-xisto, quartzo-xisto, grauvaca e formação ferrífera de fácies predominantemente carbonática. O grupo superior, denominado Maquiné, que cobre discordantemente o Grupo Nova Lima, é constituído principalmente por quartzito sericítico, filito e conglomerado.

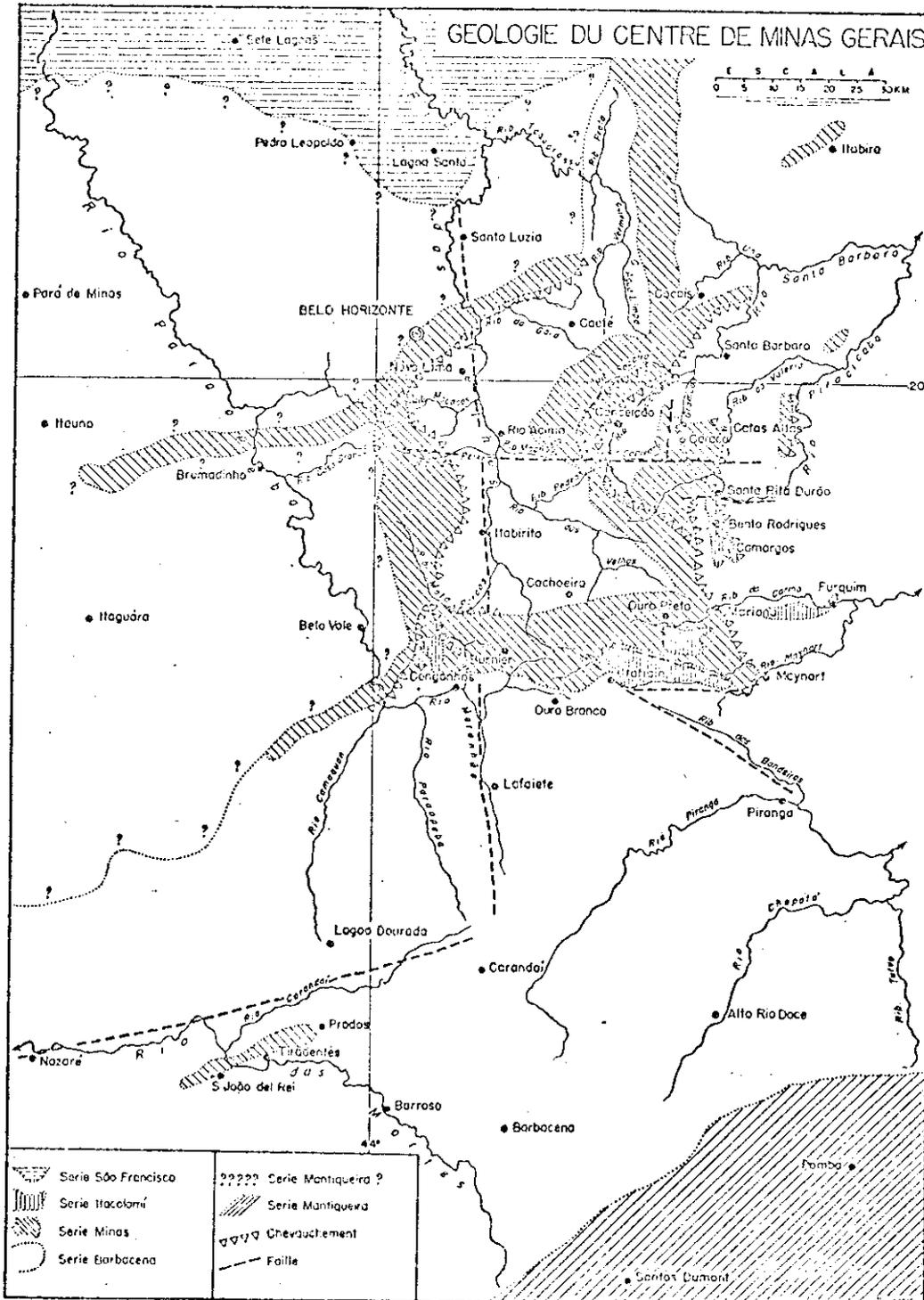


Fig. 3.2 - Mapa geológico da região central de Minas Gerais.

FONTE: Barbosa (1954), p.37.

A Série Minas foi também dividida por Dorr II et alii (1957) em três grupos. Um grupo inferior denominado Grupo Caraça, constituído predominantemente por rochas clásticas; um grupo médio denominado Itabira, constituído por sedimentos químicos ou bioquímicos, e um superior, denominado Grupo Piracicaba, localmente separado do Grupo Itabira por uma discordância erosiva, constituído por sedimentos clásticos com certa proporção de sedimentos químicos. Rochas vulcânicas limitam-se praticamente ao grupo superior.

Em 1958, os geólogos do convênio DNPM-USGS dividem os três grupos da Série Minas, definidos por Dorr II et alii (1957), em nove formações.

O Grupo Caraça, inferior, foi dividido em duas formações: a inferior, denominada Moeda (Wallace, 1958), constituída predominantemente por quartzito, com filitos arenosos e conglomerados subordinados; e a superior, que corresponde ao "Xisto Batatal" de Harder e Chamberlin (1915), e que foi redenominada Formação Batatal por Maxwell (1958).

O Grupo Itabira, médio foi igualmente dividido em duas formações. A formação inferior foi denominada Itabirito Cauê (Dorr II, 1958a) e corresponde à formação ferrífera da Formação Ferrífera Itabira de Harder e Chamberlin (1915). A formação superior, predominantemente dolomítica, foi denominada Formação Gandarela por Dorr II (1958b).

O Grupo Piracicaba foi dividido em cinco formações, da base para o topo: Formação Cercadinho (Pomerene, 1958a), composta por quartzitos, quartzitos ferruginosos e filito; Formação Fecho do Funil (Simmons, 1958) constituída por filito dolomítico, dolomito argiloso, filito, filito siltoso e subordinadamente filito silicoso e quartzito ferruginoso; Quartzito Taboões (Pomerene, 1958b), composto por quartzito de granulação muito fina; Formação Barreiro (Pomerene, 1958c), constituída por xisto, filito e filito grafitoso; Formação Sabará (Gair, 1958), constituída por uma unidade espessa de rochas clásticas com se

dimentos químicos e tufos metamorfisados subordinados, localmente separada da Formação Barreiro por uma discordância erosiva (Dorr II et alii, 1957).

Costa (1961) sugere que a Formação Sabará (Gair, 1958) ficaria melhor colocada na base da Série Itacolomi do que no topo da Série Minas. Embora afirme não ter estudado detalhadamente a Série Itacolomi, este autor considera que o ambiente de sedimentação que presidiu a deposição da Série Itacolomi foi o mesmo que governou a deposição da Formação Sabará.

O'Rourke (apud Simmons e Maxwell, 1961), mapeado as quadrículas de Rio de Pedras e Gandarela (Figura 2.1), encontrou uma sequência de seis camadas de rochas com direção norte-sul, e supôs que essas camadas eram progressivamente mais jovens, de oeste para este. O'Rourke colocou a camada situada mais a oeste, e a seu ver mais antiga, no Grupo Nova Lima. As três camadas seguintes foram colocadas em sua Formação Maquiné, constituindo três membros: inferior, médio e superior. A quinta camada foi denominada Formação Chacrinha e a sexta incluída na Série Minas. Os três membros da Formação Maquiné de O'Rourke eram constituídos respectivamente, da base para o topo, por xisto com algum quartzito e camadas de conglomerado intraformacional, seguido por um membro constituído por quartzito e conglomerado com alguns leitos de xisto, e, finalmente, um membro com xisto, algum quartzito e conglomerado intraformacional.

Ao membro inferior de sua Formação Maquiné, O'Rourke (apud Simmons e Maxwell, 1961) e (Gair, 1962) atribuem a denominação de Formação Palmital.

Posteriormente, Gair (apud Simmons e Maxwell, 1961), e em seu trabalho publicado um ano depois (Gair, 1962), reconhece que a sequência de seis camadas era na verdade devido à repetição por dobramento. Verificou ainda que a estrutura era um grande sinclinal, onde os membros superior e inferior da Formação Maquiné de O'Rourke eram na

verdade a mesma unidade, ou seja, a Formação Palmital de O'Rourke. A Formação Chacrinha era na verdade a repetição do Grupo Nova Lima. Desta forma, Gair (apud Simmons e Maxwell, 1961) e Gair (1962) atribuiu o nome Formação Casa Forte ao membro médio (situado no núcleo do sinclinal) da Formação Maquinê de O'Rourke. As Formações Casa Forte e Palmital foram associadas formando o Grupo Maquinê (Figura 3.3).

Simmons e Maxwell (1961) descrevem uma sucessão de rochas existentes no topo da Série Rio das Velhas (Dorr et alii, 1957) denominando-a Grupo Tamanduã, até hoje a unidade mais controvertida do Quadrilátero Ferrífero. Segundo estes autores, o Grupo Tamanduã na localidade-tipo (quadrícula de Gongo Sôco, Figura 2.1) compreende quatro formações. A formação inferior, denominada Quartzito Cambotas, é constituída na localidade-tipo por uma unidade superior essencialmente quartzítica e por uma unidade inferior composta por xistos de granulação fina, xistos quartzíticos, quartzo xisto, filitos conglomeráticos e quartzitos. As outras três formações sobrepostas ao Quartzito Cambotas e constituídas respectivamente, da base para o topo, por quartzo xisto, itabirito filítico e dolomítico, e filito xisto quartzítico, não receberam denominação.

Simmons e Maxwell (1961) verificaram que o contato destas formações superiores com o Quartzito Cambotas, onde visível, é um contato de falha.

Simmons e Maxwell (1961) observaram que o contato inferior do Grupo Tamanduã (contato inferior do Quartzito Cambotas) é de dois tipos. O primeiro é metassomático com gnaisses e granitos de idade não-determinada. O segundo tipo é um contato discordante, ora com rochas do Grupo Nova Lima, ora com rochas do Grupo Maquinê. Quanto ao contato superior, com as rochas da Série Minas, observaram que "Apenas uma exposição do contato superior do Grupo Tamanduã é conhecida, exposição esta situada na localidade-tipo. Neste local o Grupo Tamanduã e o Caraça da Série Minas são aparentemente concordantes. Entretanto, unidades do Grupo Tamanduã estão truncadas pela Série Minas nas zonas

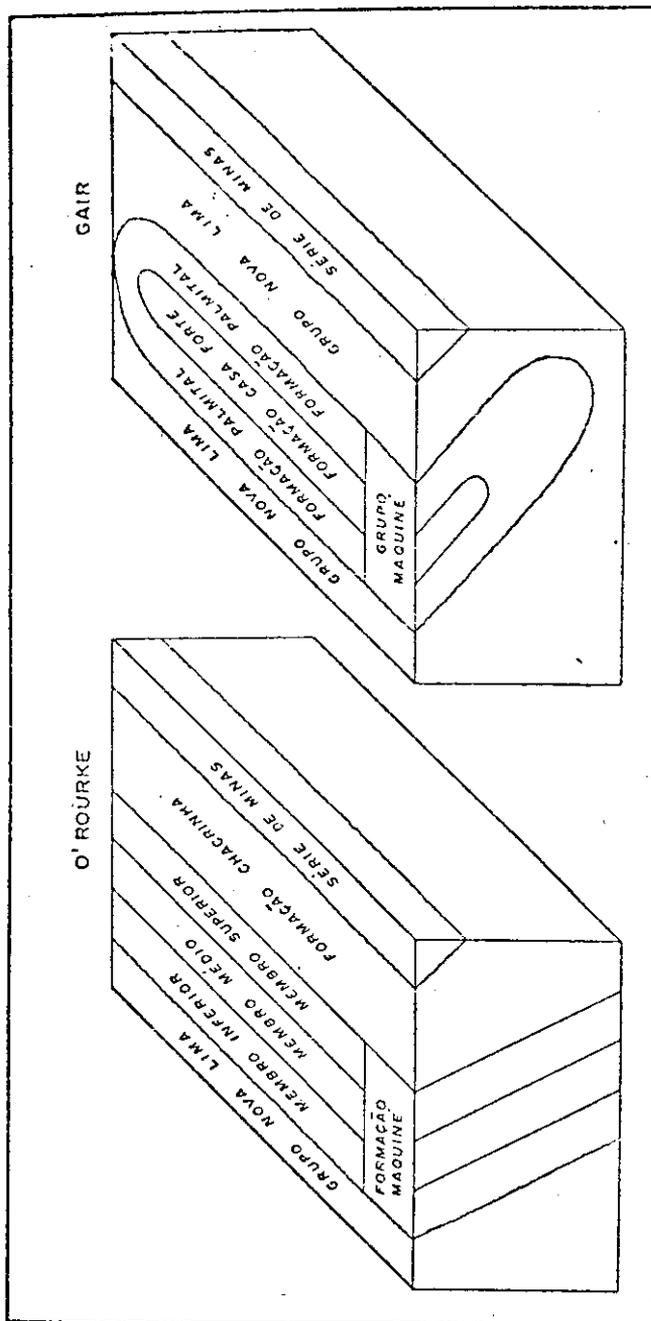


Fig. 3.3 - Blocos-diagramas esquemáticos mostrando as hipóteses de O'Rourke e Gair.

FONTE: Simmons e Maxwell (1961), p.27.

situadas a leste e a oeste. Por esta razão, mesmo que o contato entre os dois grupos não possa ser observado é ele considerado em discordância regional de pequeno aspecto angular".

Os mesmos autores consideram que "o Quartzito Cambotas é uma formação independente, não correlacionável com nenhuma das outras três unidades principais de quartzito do Quadrilátero Ferrífero. Estas três unidades são o Grupo Maquiné (mais velho), a Formação Moeda e a Série Itacolomi (mais novas)".

Embora considerando incerta a posição estratigráfica das três formações superiores, Simmons e Maxwell (1961) colocam-nas no Grupo Tamanduá, correlacionando-as tentativamente com a Formação Chacri nha de O'Rourke.

Hirson (1964), baseado em estudos petrológicos e petrográficos, considera que o quartzito do Grupo Caraça "não pertence à Série de Minas mas é um quartzito típico da Série Itacolomi".

Dorr (1966) apresenta um resumo da estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero, onde o Grupo Tamanduá foi colocado na base da Série Minas.

Reeves (1966), mapeando as quadrículas de Monlevade e Rio Piracicaba, correlaciona as rochas das séries Minas e Rio das Velhas com rochas gnáissicas, granito-gnáissicas e anfibolíticas. Considera estas últimas como produto de intenso metamorfismo das sequências Minas e Rio das Velhas (Figura 3.4).

Series	WESTERN/CENTRAL QUADRILÁTERO FERRIFERO ¹			MONLEVADA AND RIO PIRACICABA QUADRANGLES		
	Group	Formation	Thickness	Formation	Member	Thickness
Itacolomi	Series not subdivided		200m	Not present		
Minas	Piracicaba	Sabará	4000m	Elefante	Bicas Gneiss	Not known
		Barreiro	125m		Pantame	10-200m
		Taboões Quartzite	120m			
		Fecho do Funil	300m			
		Cercadinho	200m			
	Itabira	Gandarela Cau Itabirite	2-1200m	Sitio Largo Amphibolite	0-400m	
				Cau Itabirite	125-350m	
	Cara	Batatal	30-1000+ m	Batatal	20-50	
		Moeda		Moeda	90-500	
	Rio das Velhas	Tamandu	Unnamed formation	1000m	Monlevade Gneiss	Not known
Unnamed formation						
Unnamed formation						
Cambotas Quartzite						
Maquin		Upper formation	1800m			
		Lower formation				
Nova Lima	Group not subdivided	4200m				

¹ After DNPM (1960) except for Tamandu Group.
Tamandu Group after Simmons. (1962)

Fig. 3.4 - Quadro comparativo entre as rochas da região de Monlevade-Rio Piracicaba e as rochas das partes central e oeste do Quadrilátero Ferrifero.

FONTE: Reeves (1966), p. E9.

Hirson (1967), estudando as rochas do Grupo Tamanduã na região das Serras das Cambotas, Conceição e Garimpo, e baseado em critérios essencialmente petrográficos, considera o Grupo Tamanduã pertencente à Série Itacolomi. Correlaciona as rochas destas serras com aquelas das localidades de Bico de Pedra, Pico do Itacolomi, Serra do Itabito, Serra do Caraça e com as rochas da extremidade sul da Serra do Espinhaço (Serra do Cipô). Considera ainda que a Série Itacolomi estende-se para norte através da Serra do Cipô e abrange toda a zona quartzítica da Serra do Espinhaço. Segundo este mesmo autor, "a série Rio das Velhas não é mais do que uma fácies das séries de Minas ou Itacolomi".

Simmons (1968b) considerou as três formações superiores do Grupo Tamanduã com membros de uma única formação, que continuou sem denominação. Desta forma o Grupo Tamanduã ficou constituído por duas formações: o Quartzito Cambotas, inferior, e uma formação superior sem nome. Este autor exclui a unidade inferior do Quartzito Cambotas (Simmons e Maxwell, 1961), concordando com Moore (apud Simmons, 1968) que havia mapeado previamente esta unidade como Grupo Nova Lima.

Embora considere o Grupo Tamanduã como a parte superior da Série Rio das Velhas, Simmons (1968b) não afasta a possibilidade de que este grupo possa pertencer à Série Minas. A seu ver, a inclusão do Grupo Tamanduã em uma das séries depende da posição do grupo em relação a grandes discordâncias.

Segundo Simmons (1968b) se houver uma discordância abaixo do Quartzito Cambotas, mas não acima da formação superior (sem denominação), então o grupo pertence à Série Minas (Dorr II, 1966).

Se por outro lado, existir uma discordância acima da formação superior (sem denominação) do Grupo Tamanduã, mas não abaixo do Quartzito Cambotas, então o grupo situa-se na Série Rio das Velhas (Simmons e Maxwell, 1961).

Se o Grupo Tamanduã for limitado acima e abaixo por grandes discordâncias, será possível elevar o grupo à categoria de série (Simmons, 1968b).

Moore (1969), mapeando a parte leste da quadrícula de Gongo Sôco, verificou uma leve discordância angular entre o Itabirito Cauê da Série Minas e a unidade inferior, constituída por formação ferrífera do Grupo Nova Lima.

Como Simmons e Maxwell (1961) correlacionaram esta formação ferrífera com a parte superior do Grupo Tamanduã e como Moore (1969) verificou que o Quartzito Cambotas na Serra Geral (quadrícula de Gongo Sôco) forma uma língua situada entre rochas do Grupo Nova Lima, Moore (1969) situou o Quartzito Cambotas no topo da Série Rio das Velhas. Considerou a formação superior (sem nome) do Grupo Tamanduã (Simmons e Maxwell, 1961; Simmons, 1968b) como uma parte mais antiga da mesma série, atribuindo grande expressão ao falhamento através do qual se faz o contato entre o Quartzito Cambotas e a formação superior do Grupo Tamanduã, considerando-o como um falhamento de empurrão, ao longo do qual as rochas do Grupo Nova Lima foram jogadas para cima do Quartzito Cambotas (Figura 3.5).

Dorr II (1969) apresenta uma síntese da estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Como já havia feito anteriormente (Dorr, 1966) incluiu o Grupo Tamanduã na base da Série Minas. Este autor prefere a definição original do Quartzito Cambotas (Simmons e Maxwell, 1961) que incluiu a unidade inferior, a qual Simmons (1968b) considerou pertencente ao Grupo Nova Lima. Dorr II (1969) considera que a unidade inferior do Quartzito Cambotas não deve ser incluída no Grupo Nova Lima, pois as rochas do Grupo Nova Lima não possuem a quantidade de quartzo e conglomerados existentes no Quartzito Cambotas, ao passo que as rochas do Quartzito Cambotas não possuem clorita, típica do Nova Lima. Lembra ainda que na definição original não foi feita qualquer menção sobre uma importante descontinuidade estratigráfica ou estrutural entre a unidade inferior e a superior (embora fosse notada uma falha ao lon

go do contato) e que, segundo esta descrição, as rochas do Quartzito Cambotas repousam discordantemente sobre o Grupo Nova Lima.

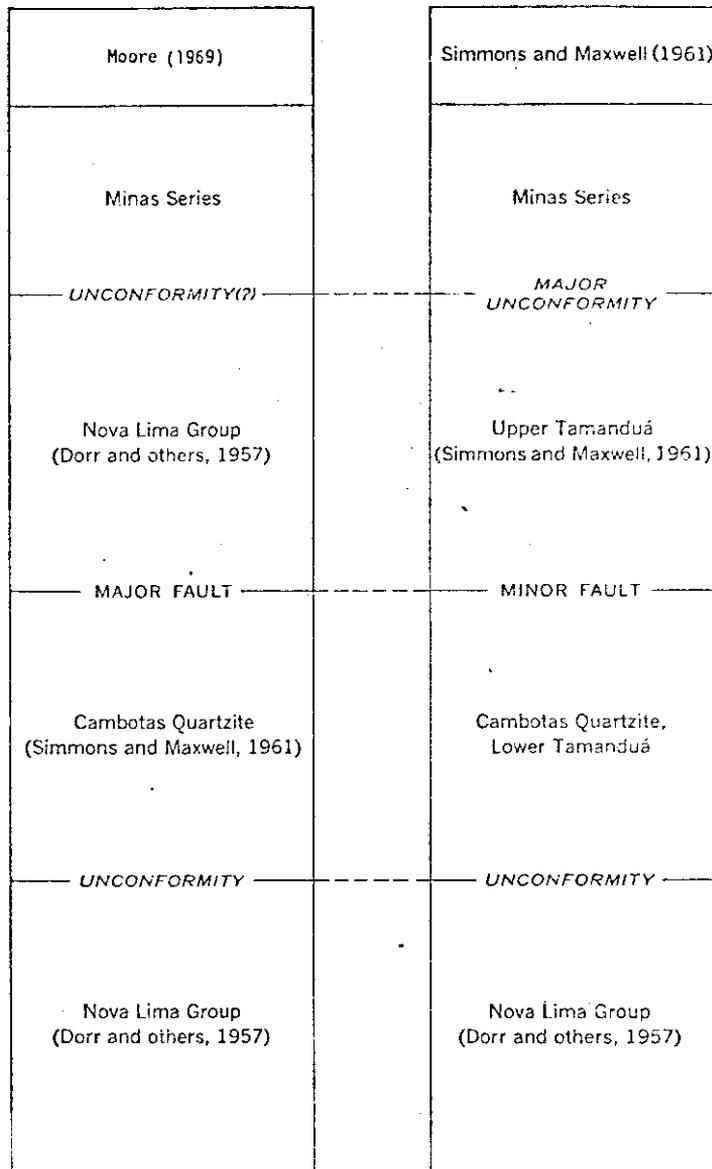


Fig. 3.5 - Correlação do Grupo Tamanduã segundo Simmons e Maxwell, (1961) e segundo Moore (1969).

FONTE: Moore (1969), p. I 11.

Segundo Dorr II (1969) se a unidade inferior da descrição original fosse pertencente ao Grupo Nova Lima, ao invés do Quartzito Cambotas, um intervalo correspondente a todo o Grupo Maquiné deveria estar presente entre estas unidades concordantes. Herz (1970) segue a opinião de Dorr II (1966, 1969) incluindo o Grupo Tamanduã na base da Série Minas.

Maxwell (1972) inclui o Grupo Tamanduã na Série Rio das Velhas, lembrando no entanto que trabalhos futuros poderão elevá-lo à categoria de série ou incluí-lo na Série Minas.

Herz (1978) aparentemente muda de opinião em relação a seu trabalho anterior (Herz, 1970) incluindo o Grupo Tamanduã no topo da Série Rio das Velhas. Lembra, entretanto, que segundo Dorr II (1969) este grupo pode ser a base do Minas. Após este trabalho, vários autores nos últimos anos tem defendido a idéia de uma continuidade entre as rochas da Serra do Espinhaço e o Quartzito Cambotas.

Schoell (1972) considera as rochas da região das Serras das Cambotas, Conceição e Garimpo, como pertencentes à sua "Zona Espinhaço" da Série Minas, com grande continuidade para norte.

Amaral et alii (1976b), através da interpretação de imagens LANDSAT, observaram claramente a ligação entre a Serra do Espinhaço e os quartzitos da Serra das Cambotas. Incluem as rochas desta localidade, bem como as das Serras do Garimpo, Conceição e Tamanduã, no Grupo Espinhaço, para o qual, baseados em dados de campo (Amaral et alii, 1952a,b, 1976a), interpretação de imagens, petrográficos (Hirson, 1967), e geocronológicos, sugerem idade pós-Minas.

Schorscher e Guimarães (1976) e Schorscher (1978a, 1979a, 1979c, 1980) consideram o conjunto litoestratigráfico da Serra das Cambotas pertencente à sequência de quartzitos da Serra do Espinhaço. Schorscher e Guimarães (1976) destacam a persistência do estilo tectônico entre as sequências da Serra do Espinhaço e aquela das Serras das

Cambotas e do Caraça. Admitem ainda uma idade Minas para estes quartzitos com base "principalmente na equivalência das brechas intraformacionais contendo seixos de itabirito e hematita", presentes na parte inferior do horizonte quartzítico da Serra das Cambotas, "com a formação ferrífera do Grupo Itabirita" (Schorscher e Guimarães, 1976; e Schorscher, 1980).

Schorscher (1979a, 1980) sugere o abandono dos termos estratigráficos Grupo Tamanduã, Quartzito Cambotas e formação superior (Simmons e Maxwell, 1961) com base nas evidências anteriormente expostas, aliadas ao fato de que considerou a formação superior (sem denominação) desse grupo como numa faixa de rochas do Grupo Nova Lima empurradas em cima dos quartzitos do Espinhaço.

Entre outros autores que admitem uma continuidade entre as rochas da Serra das Cambotas e o Espinhaço podem ser citados ainda Sperber (1977) e Besang et alii (1977).

Pflug e Renger (1973) incluem a Série Rio das Velhas (Dorr II et alii, 1957) em seu Supergrupo pré-Minas. Incluem ainda neste Supergrupo as rochas do embasamento "migmatítico - granitóide".

Pires (apud DNPM, 1979) engloba todo o conjunto Rio das Velhas dentro do Grupo Barbacena, com continuidade para sul do Quadrilátero Ferrífero.

Em trabalhos independentes (apresentados no 29º Congresso Brasileiro de Geologia, em Ouro Preto), Almeida (1976), Amaral et alii (1976b) e Schorscher (1976), este último com base em estudos petrográficos, consideram as rochas da Série Rio das Velhas como um cinturão de rochas verdes (greenstone belt).

Schorscher (1979a,b e c) constatou a existência de um membro adicional basal, que a seu ver justificaria a redefinição da Série Rio das Velhas (Dorr II et alii, 1957), como um cinturão de rochas ver

des. Segundo este autor, esta unidade basal compõe-se de rochas intrusivas e efusivas ultramáficas, estas últimas mostrando estruturas "spinifex" macro e microscópicas, lavas brechadas, almofadadas e outras, além de composição química predominante de komatiitos peridotíticos. A esta unidade, que constitui o grupo ultramáfico basal do cinturão de rochas verdes Rio das Velhas, Schorscher (1979a, b e c) propõe a denominação de Grupo Quebra Osso. Os grupos Nova Lima e Maquiné corresponderiam respectivamente aos grupos máfico médio e clástico superior do "greenstone belt".

Na região de Itabira, Schorscher e Guimarães (1976) modificam parte dos conceitos ali estabelecidos por Dorr II e Barbosa (1963). Consideram a "Sequência de Paragnaises", anteriormente mapeada por Dorr II e Barbosa (1963) como gnaisses graníticos, como a parte basal da sequência Minas. Sobreposta a esses paragnaises, jaz a "Sequência de Xistos Verdes", também incluída no Supergrupo Minas e que Dorr II e Barbosa (1963) acreditaram ser pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas.

Segundo Schorscher e Guimarães (1976) a ausência da "Sequência de Paragnaises" basal do Minas em outras partes do Quadrilátero Ferrífero, justificar-se-ia pela natureza da interface Minas/Rio das Velhas, que a seu ver faz "sempre com contatos tectônicos" (Schorscher, 1979c). Ao longo desta superfície de falhamento teria ocorrido o transporte de parte da sequência Minas, correspondente aos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, hoje alóctones e dispostos sob a forma de sinclinais representativos de um sistema de "nappes de fácies" transportados em condições subaéreas, exemplificados pela Serra do Curral e Sinclinal Gandarela (Schorscher e Guimarães, 1976 e Schorscher, 1979c).

Uma outra pequena modificação com respeito ao Supergrupo Minas foi introduzida por Barbosa (1979). Com base em inter-relações faciológicas, este autor agrupou as formações Cercadinho e Fecho

do Funil, bem como Taboões e Barreiro, em dois subgrupos denominados "Subgrupo Cercadinho - Fecho do Funil" e "Subgrupo Taboões-Barreiro".

Embora a ocorrência de lavas almofadadas já houvesse sido mencionada anteriormente (Schorscher, 1979a,c), é Ladeira (1981) quem fornece a primeira descrição delas, citando seus locais de ocorrência no Supergrupo Rio das Velhas. Para este autor, estas ocorrências tipificam "enfaticamente o Supergrupo Rio das Velhas como um cinturão de rochas verdes".

3.1.1.2 - PROBLEMAS DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Nos diversos trabalhos publicados sobre a Geologia do Quadrilátero Ferrífero, as diferentes unidades rochosas da região vêm sendo colocadas em agrupamentos maiores. A síntese apresentada na seção 3.1 mostra uma grande variação, de autor para autor, no tocante à terminologia estratigráfica empregada, especialmente com relação às seqüências metassedimentares e metavulcânicas ali presentes.

Alguns autores, entre os quais Dorr II et alii (1957, 1961), Dorr II (1966, 1969), Herz (1970, 1978), Barbosa (1979), atribuem para os agrupamentos maiores a denominação *série*, como Série Minas, Série Rio das Velhas, Série Itacolomi. Outros têm-se referido a esses agrupamentos como *supergrupos*, como Supergrupo pré-Minas (Pflug e Renger, 1973), Supergrupo Minas e Supergrupo Rio das Velhas (Almeida et alii, 1976; Amaral et alii, 1976b). Alguns ainda os denominam *grupos*, tais como Grupo Rio das Velhas (Almeida, 1976; Almeida et alii, 1977), Grupo Itacolomi (Almeida et alii, 1976; Schorscher, e Guimarães, 1976).

A única discussão com respeito à terminologia estratigráfica da região foi apresentada por Dorr II et alii (1957). Estes autores consideram uma *série* "como uma divisão estratigráfica que inclui rochas formadas durante uma certa época, isto é, durante uma das frações mais gerais de que se compõe um período. Desta forma, a defini

ção implica necessariamente numa idéia de tempo". No entanto, Dorr II et alii (1957) não consideram a definição acima aplicável às rochas pré-cambrianas não-fossilíferas, tomando-a com outro sentido. Utilizam o termo *série* para designar "um conjunto de rochas estratificadas, correlacionáveis entre si, limitadas superior e inferiormente por discordância generalizadas". O termo *grupo* é empregado por estes autores como "uma subdivisão local ou principal de um sistema, baseada em feições litológicas; esta categoria é subordinada à da série e compreende duas formações ou mais".

Dos trabalhos desenvolvidos durante um período de quase 30 anos pela Subcomissão Internacional de Classificação Estratigráfica (ISSC) da Comissão de Estratigrafia da União Internacional das Ciências Geológicas, e editados por Hedberg (1980), resultaram três categorias de classificação estratigráfica, quais sejam: litoestratigrafia, *cronoestratigrafia* e *bioestratigrafia* (esta última não discutida aqui, mas com princípios de classificação baseados no conteúdo fóssilífero das rochas).

As principais unidades litoestratigráficas estabelecidas por Hedberg (1980) são, em ordem hierárquica, as seguintes: grupo, formação, membro e camada. São lícitas denominações do tipo supergrupo ou subgrupo nos casos que assim o requererem.

As principais unidades *cronoestratigráficas* (em ordem hierárquica) e seus equivalentes geocronológicos (entre parêntesis) são os seguintes: eonotema (eon), eratema (era), sistema (período), série (época), andar (idade) e cronozona (cron).

O trabalho de Dorr II et alii (1957) mostra certa desarmonia em relação à moderna classificação estabelecida pela ISSC, uma vez que estes autores subdividiram uma *série* (unidade *cronoestratigráfica*) em *grupos* (unidade litoestratigráfica).

Como alguns dos grupos definidos por Dorr II et alii (1957) foram subdivididos em formações (Wallace, 1958; Maxwell, 1958; Dorr II, 1958a e b; Pomerene, 1958a, b e c; Simmons, 1958; Gair, 1958, 1962; Simmons e Maxwell, 1961; O'Rourke, apud Simmons e Maxwell, 1961; Simmons 1968b) e como estas formações estão em geral bem caracterizadas sob o ponto de vista litológico, adota-se neste trabalho a classificação litoestratigráfica conforme os princípios estabelecidos pela ISSC (Hedberg, 1980).

Assim, as formações (já denominadas) estão reunidas em grupos e/ou subgrupos (igualmente já denominados). Os grupos, por sua vez, estão reunidos em supergrupos, em lugar de série, que é uma denominação, no caso, inadequada.

A Série Itacolomi de Guimarães (1930) e Moraes e Guimarães (1930) é aqui denominada Grupo Itacolomi, existindo a possibilidade de vir a ser subdividido em formações como já foi sugerido por Lacourt (1947).

Desta forma, segue-se neste estudo (como um guia de trabalho) a coluna estratigráfica estabelecida por Dorr II (1969), com as modificações propostas por Schorcher (1979a, b, c) relativas à inclusão de um novo grupo (Quebra Osso), levando ainda em conta as idéias relativas ao Grupo Tamanduá expostas em vários trabalhos modernos, entre os quais Shoell (1972), Amaral et alii (1976b), Schorscher e Guimarães e Schorscher (1978a, 1979a, c 1980) (Figura 3.6).

3.1.2 - ROCHAS GRANITO-GNÁISSICAS (MIGMATÍTICAS), MÁFICAS E ULTRAMÁFICAS

3.1.2.1 - TERRENOS GRANITO-GNÁISSICOS

São relativamente poucos os estudos devotados às rochas granito-gnáissicas da região do Quadrilátero Ferrífero. Aqueles existentes foram originados em grande parte dos trabalhos desenvolvidos pe

la equipe DNPM - USGS e referem-se a áreas isoladas. Estas rochas foram estudadas por Guild (1957) na região de Congonhas, Simmons (1968a) ao norte e sul da extremidade ocidental da Serra do Curral, Wallace (1965) na porção a oeste da Serra do Moeda e parte do Complexo de Bação, Johnson (1962) no Complexo de Bação, Alves (apud Dorr II, 1969) e Moore (1969) na região de Caeté, Simmons (1968b) a oeste de Santa Bárbara, Maxwell (1972) no Distrito de Alegria e Dorr II e Barbosa (1963) na região de Itabira. Como trabalho de integração tem-se o estudo relativamente detalhado de Herz (1970). Dos estudos realizados por outros pesquisadores podem-se destacar o trabalho de Guimarães et alii (1967) no Complexo de Bação e observações de Schorscher e Guimarães (1976) no Distrito de Itabira.

Herz (1970) classifica as rochas granito-gnáissicas da região em quatro grandes grupos. O Grupo I (tipo Granodiorito de Engenheiro Correia) e o Grupo II (tipo Granito Gnaiss Itabirito) mostram afinidades com granodioritos e são mais antigos (provavelmente o Grupo I é mais antigo que o II). O Grupo III (tipo Granito Borrachudos) é de afinidade granítica e é nitidamente o grupo mais novo. O Grupo IV (gnaisses mistos) é aparentemente mais jovem que os dois primeiros, embora suas relações com estes não sejam muito claras. Além destes grupos, Herz (1970) reconheceu a presença de outros tipos bastante distintos, a exemplo do granito porfirítico do Complexo Moeda (a oeste da serra homônima). Parte das rochas gnáissicas dos Grupos II e IV, especialmente este último, poderiam ter sido originadas por ultrametamorfismo de rochas sedimentares. Esta idéia foi admitida por Reeves (1966), quando, mapeando as quadrículas de Monlevade e Rio Piracicaba, correlacionou as rochas dos Supergrupos Minas e Rio das Velhas do Quadrilátero Ferrífero com gnaisses, granito-gnaisses e anfibolitos ali presentes, considerando estes últimos como produtos de intenso metamorfismo dos primeiros. Tal pode ser o caso também da "Sequência de Paragnais ses" de Schorscher e Guimarães (1976), tida por estes autores como a unidade basal do Minas.

	PARTES CENTRAL E OESTE		REGIÃO DE RIO PIRACICABA E MONLEVADE	
SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	FORMAÇÃO	MEMBRO
MINAS	ITACOLOMI	SEM DIVISÃO	AUSENTE	
	PIRACICABA	SABARÁ	ELEFANTE	GNAISSE BICAS
		BARREIRO		PANTAME
		TABÓOES		
		FECHO DO FUNIL		
		CERCADINHO		
	ITABIRA	GANDARELA	ANFIBOLITO SÍTIO LARGO	
		CAUË	CAUË	
	CARAÇA	BATATAL	BATATAL	
		MOEDA	MOEDA	
RIO DAS VELHAS	MAQUINÉ	CASA FORTE	GNAISSE MONLEVADE	
		PALMITAL		
	NOVA LIMA	SEM DIVISÃO		
	QUEBRA OSSO	SEM DIVISÃO		
MIGMATITOS E ROCHAS GRANITÓIDES				
ROCHAS COM POSIÇÃO ESTRATIGRÁFICA INCERTA				
	TAMANDUÁ	FORMAÇÃO SUPERIOR SEM NOME	?	
		CAMBOTAS		

Fig. 3.6 - Coluna Estratigráfica adotada neste trabalho.

As maiores exposições de rochas granito gnáissicas no Quadrilátero Ferrífero estão situadas nas bordas das sequências metas sedimentares e metavulcânicas e, em um único caso (Complexo de Bação) a elas interpostas. Constituem-se em grandes domos com zoneamentos mais ou menos claros - domos de Bonfim e "domo gnáissico norte" (Simmons, 1968a), Caeté (Alves, apud Dorr II, 1969), Bação (Herz, 1970). O nível de estudo destas feições é, com raras exceções, apenas superficial. Via de regra as informações contidas nos mapas geológicos são incompatíveis com a escala de 1:25 000 em que alguns destes domos foram mapeados.

3.1.2.2 - ROCHAS MÁFICAS E ULTRAMÁFICAS

Herz (1970) reconheceu no Quadrilátero Ferrífero rochas de natureza máfica e ultramáfica presentes em toda a região. As rochas ultramáficas constituem-se em stocks, diques e bossas, intrusivas em rochas gnáissicas e do Supergrupo Rio das Velhas, transformadas por metamorfismo em serpentinitos, talco-xistos, clorita-xistos, esteatito. Rochas máficas de composição diorítica a gabrônica ocorrem sob a forma de diques e bossas intrusivas em rochas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, e gnáissicas. Alguns corpos de anfibolito podem tratar-se de metadiabásios e metagabros.

Valem ser mencionados os vários trabalhos de Schorscher (1978b, 1979a,b,c) que descreve a ocorrência de komatiitos de composição predominantemente peridotítica, com tipos efusivos, ao que denominou Grupo Quebra Osso.

Wiedemann e Schorscher (1978) descrevem a presença de rochas ultrabásicas na região de Itabira, considerando-as como corpos de tipo alpino, contendo por vezes cromititos.

3.1.3 - DEPÓSITOS SEDIMENTARES CENOZÓICOS

No tocante aos depósitos sedimentares cenozóicos, estes são pouco expressivos na região. Alguns deles têm sido considerados de idade terciária. São eles as bacias de Gandarela e Fonseca, estudadas por Gorceix (1884), por O'Rourke (in Dorr II, 1969) no caso de Gandarela e por Maxwell (1972) no caso de Fonseca. Ocorrências menores são mencionadas por Gair (1962) na quadrícula de Nova Lima e por Pomerene (1964) nas proximidades da Represa do Miguelão. Consistem de sedimentos argilo-arenosos com intercalações, em alguns dos depósitos, de sedimentos carbonosos (linhito, folhelho betuminoso) fossilíferos.

3.2 - ESTRUTURAS

Segundo Dorr II (1969), as estruturas presentes na região foram geradas em três grandes períodos de deformações: pré-Minas, pós-Minas e pré-Itacolomi e pós-Itacolomi.

Ao período pré-Minas associam-se dobramentos que, em alguns locais, devido aos eventos deformacionais posteriores, são difíceis de serem reconhecidos. Entretanto, grandes discordâncias, notadamente ao longo do flanco leste do Sinclinal da Moeda (Rynearson et alii, 1954; Matheson, 1956), evidenciam forte deformação das rochas pré-Minas, antes do início da sedimentação Minas.

Segundo Dorr II (1969) falhamentos de idade pré-Minas ou pré-Itacolomi não foram verificados. No entanto, muitos geólogos da equipe DNPM-USGS acreditam que os falhamentos ativos durante o período pós-Itacolomi representam reativações de falhamentos mais antigos, que poderiam corresponder a este período.

Durante o período pós-Minas a pré-Itacolomi, o Supergrupo Minas sofreu essencialmente um processo de arqueamento e soerguimento (Dorr II, 1969). Em quase toda a região, as rochas do Grupo

Itacolomi jazem sobre quase todas as formações do Grupo Piracicaba do Supergrupo Minas, o que indica que foram removidos mais de 1000 metros de rochas pré-Itacolomi. Em alguns locais a discordância angular entre as rochas Itacolomi e Minas chega a 12°.

Após a deposição do Grupo Itacolomi a região passou pelo período deformacional mais enérgico. Segundo Dorr II (1969), nesta fase foram geradas estruturas com direções nordeste, noroeste, norte-sul, e grandes sinclinais. Estes, em sua maior parte, possuem flancos invertidos para oeste e noroeste, sendo separados entre si por grandes áreas dômicas. O padrão estrutural e estratigráfico foi bastante perturbado pela formação posterior de rochas graníticas.

Falhamentos de empurrão com padrões complexos dificultam o estudo especialmente das partes E e SE da região. Este padrão de falhamentos reflete uma transferência de rochas anteriormente localizadas a E e SE para W e NW (Dorr II, 1969). Esta idéia é compartilhada por Almeida (1977) e Schorscher (1979a). Schorscher considera ainda que os grandes sinclinais são, na verdade, relictos de erosão de um sistema de *nappes* de facies, transportados sob condições subaéreas.

O arqueamento do Rio das Velhas, incluindo o Complexo de Bação, é, sem dúvida, a estrutura mais importante da região. Ao seu redor estão dispostos quase todos os grandes sinclinais da região, tais como Moeda, Serra do Curral, Gandarela, Vargem do Lima, Ouro Fino, Conta História e Dom Bosco. Outros arqueamentos importantes são os de Mariana (que representa o prolongamento do arqueamento do Rio das Velhas para sudeste) e o de Conceição-Caraça. Grandes estruturas sinclinais estão presentes também na região de Monlevade-Rio Piracicaba (Reeves, 1966) e no Distrito de Itabira.

Os falhamentos presentes na região são essencialmente de três tipos: 1) falhamentos de empurrão - sistemas desses falhamentos são observados no extremo sul do Sinclinal da Moeda, flanco sul e extremo leste do Sinclinal Dom Bosco, e na Serra do Caraça. Outros fa

lhamentos desse tipo são os do Fundão, Água Quente e no flanco norte da Serra do Curral; 2) falhamentos transcorrentes - o único de grande importância e dimensão é a Falha do Engenho, que representa o limite sul da área de ocorrência das rochas pós-Rio das Velhas. O Falhamento do Fundão pode ser considerado um falhamento transcorrente em parte de sua extensão; 3) falhamentos transversais - distribuem-se por toda a área e estão associados aos dobramentos (Dorr II, 1969). A maior parte deles formam ângulos próximos a 90° , e ângulos variando entre 30° e 45° , com os eixos dos dobramentos. Predominam movimentações transcorrentes.

3.3 - GEOCRONOLOGIA

As determinações geocronológicas existentes são relativamente escassas. Os estudos de Herz et alii (1961) e Herz (1970) permitem que se suponha a seguinte cronologia de eventos no Quadrilátero Ferrífero: a) formação do Supergrupo Rio das Velhas em um tempo anterior a 2.7Ga; b) intrusão de rochas ultrabásicas e algumas básicas; c) intrusão de granodioritos do Grupo I no Complexo de Bação e talvez na região a oeste da Serra da Moeda a aproximadamente 2.7Ga; d) formação dos gnaisses bandados do Grupo II; e) intrusão de granitos a oeste da Serra da Moeda; f) deposição do Supergrupo Minas; g) deposição do Grupo Itacolomi; h) atividade ígnea nos complexos Moeda e Bação, intrusões de rochas do Grupo III (as determinações ao redor de 1.35 Ga sugerem um limite superior para a formação dos gnaisses do Grupo IV e inferior para as rochas do Grupo III; i) formação de um magma anatótico a aproximadamente 1.0 Ga (Grupo III); j) evento termal no intervalo 550-450 Ma, com intrusão de pegmatitos; k) intrusões máficas correlacionadas com aquelas do sul do Brasil, a cerca de 120 Ma.

Para Cordani e Teixeira (in DNPM, 1979) a época de 2.0 Ma pode ser associada com o diastrofismo relacionado com o Supergrupo

Minas. Na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero Corda et alii (1976) obtiveram isócronas² de 2.1 Ma e 2.85 Ma para rochas gnáissicas (rochas total).

3.4 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Valem ser destacados alguns pontos relevantes decorrentes da análise da documentação cartográfica e bibliográfica sobre a geologia da área.

De modo geral verificou-se que os trabalhos de mapeamento geológico executados pela equipe DNPM-USGS aliados àqueles produzidos por geólogos alemães (na parte norte da área) exprimem quase todo o quadro geológico regional.

Destacam-se, entretanto, alguns pontos abertos:

- 1) o baixo nível de detalhe contido nos mapas 1:25 000 (DNPM-USGS) relativos aos terrenos ocupados por rochas granito-gnáissicas e migmatíticas, incompatíveis com esta escala;
- 2) discrepâncias entre quadrículas em 1:25 000 mapeadas por diferentes geólogos de equipe DNPM-USGS e a interpretação final realizada por Dorr II (1969) (v.g. as Quadrículas de Dom Bosco/Ouro Branco e Ouro Preto/Santa Rita de Ouro Preto). Estas discrepâncias não se referem ao reconhecimento geológico em si, e sim às interpretações de ordem estratigráfica;
- 3) quadrículas onde a estratigrafia apresentada desperta certa curiosidade, como por exemplo Monlevade e Rio Piracicaba, onde as seções geológicas apresentadas (Reeves, 1966, Plate 3) exibem estruturas sinclinais, com empilhamento estratigráfico em ordem normal, onde rochas de maior grau de metamórfico es

² Rb/Sr com $\lambda_{Rb} = 1,47 \times 10^{-11}$ anos⁻¹ e $RI = 0,705$ (assumida).

tão situados sobre rochas com grau metamórfico menor, sem a presença de estruturas importantes entre elas; tendo em vista que estas quadrículas foram, ao menos em termos das unidades litológicas, cuidadosamente mapeadas, a situação descrita sugere que algumas quadrículas carecem de interpretação estrutural mais adequada;

- 4) para a questão da correlação entre os quartzitos da Serra do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero, três correntes de opinião existem, acreditando alguns que a correlação se faz pelo Grupo Itacolomi; outros, notadamente os alemães, que esta correlação se faz pelo Supergrupo Minas, e outros ainda propondo uma correlação pelo topo do Supergrupo Rio das Velhas;
- 5) a existência ou não de um Grupo Tamanduã e sua correlação com as demais unidades da região.



CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORES REMOTOS E INTEGRAÇÃO

4.1 - IMAGENS MSS-LANDSAT EM 1:500 000

Ao nível da análise visual das imagens MSS-LANDSAT em 1:500 000, alguns aspectos já são dignos de nota. Estas imagens possibilitam uma visualização global da estruturação geral do Quadrilátero Ferrífero (Figuras 4.1 e 4.2).

Em termos gerais, destacam-se os grandes sinclinais da Moeda, Gandarela, Alegria, Dom Bosco, bem como a Serra do Curral, dispostos ao redor de um núcleo central correspondente ao Complexo de Baçã, e ao redor de todo esse conjunto uma grande extensão de rochas granito-gnáissicas e migmatíticas.

Na porção nordeste destaca-se um grande lineamento, associado ao Rio Piracicaba que prossegue para nordeste alojando-se ao longo do Rio Doce. Seu traçado pode ser bem definido no canal 7 pelo alinhamento entre as cidades de Coronel Fabriciano, Antonio Dias e um ponto a dois e meio quilômetros ao sul de São Gonçalo do Rio Abaixo. O prolongamento desta feição para o interior do Quadrilátero Ferrífero aparentemente condiciona parte da borda norte do Sinclinal Gandarela. A grande falha do Fundão (Dorr II, 1969) tem também sua terminação noroeste neste lineamento.

Na região compreendida entre os meridianos $43^{\circ}15'W$ e $42^{\circ}30'W$ (aproximadamente), estruturas vizinhas do lineamento acima descrito são infletidas para oeste, quando posicionadas ao norte, e para leste, quando situadas ao sul da feição, o que sugere uma movimentação dextral ao longo dela (Figura 4.3).

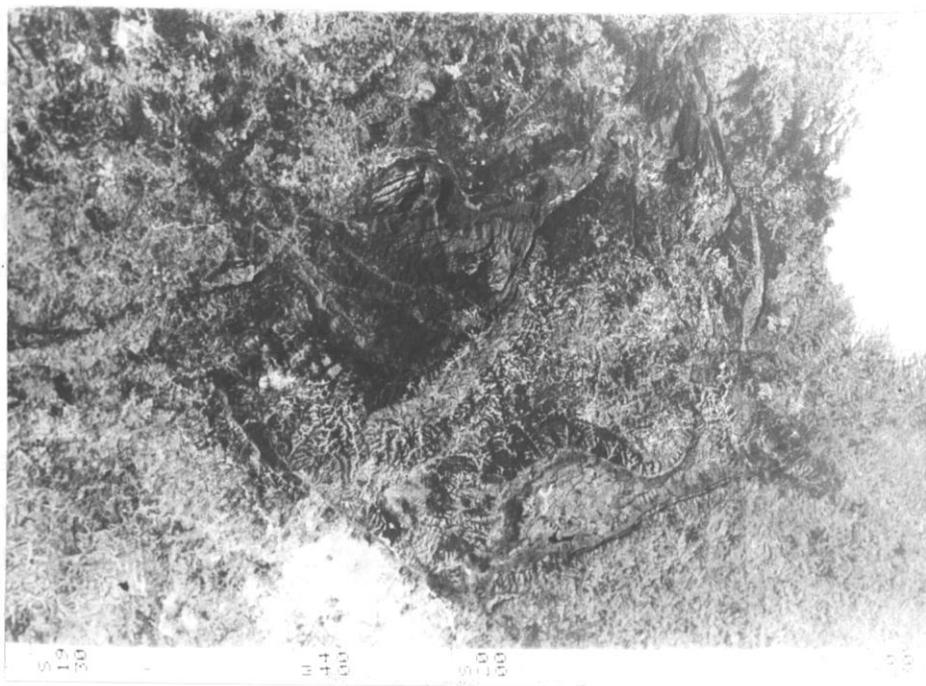


Fig. 4.1 - Quadrilátero Ferrífero - Imagem MSS-LANDSAT no canal 5, em escala 1:1.250.000.

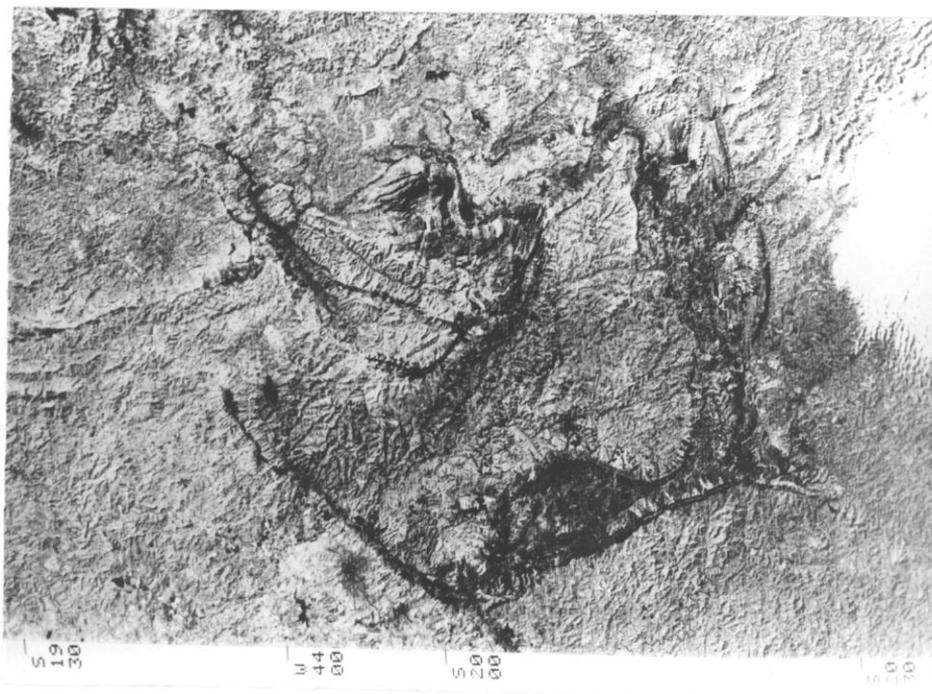


Fig. 4.2 - Quadrilátero Ferrífero - Imagem MSS-LANDSAT no canal 7, em escala aproximada 1:1.250.000.



Fig. 4.3 - Imagem MSS-LANDSAT, canal 7, mostrando o lineamento ao longo do Rio Piracicaba; escala aproximada 1:1.200.000.

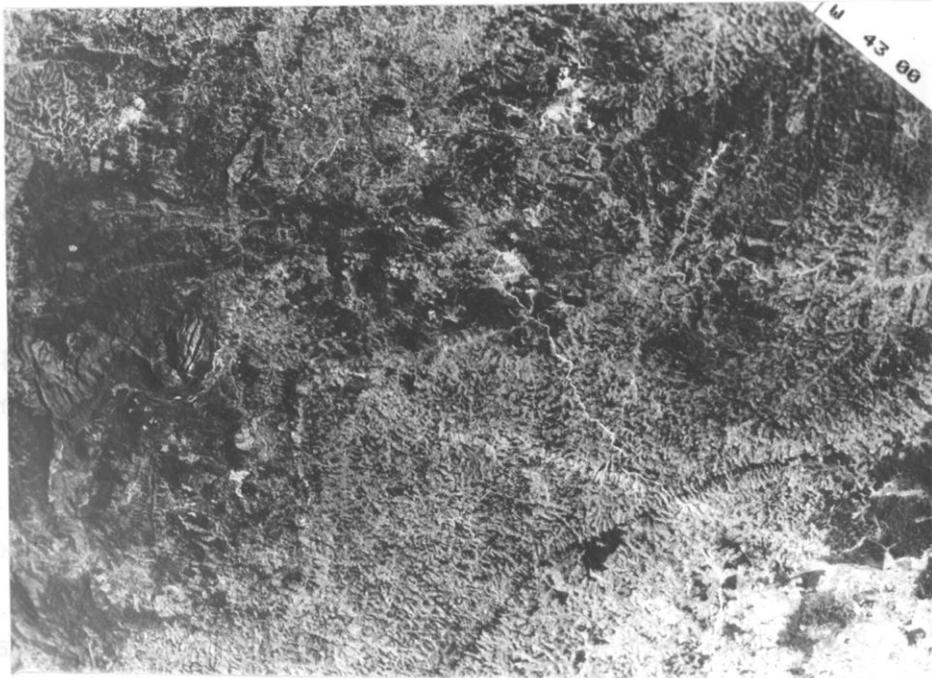


Fig. 4.4 - Imagem MSS-LANDSAT, canal 5, mostrando outro lineamento, aproximadamente paralelo e ao sul do anterior; escala aproximada 1:1.200.000.

Ao sul deste lineamento, com traçado aproximadamente paralelo e distante 6 a 7 km deste, outra feição linear, com grande expressão sobretudo no canal 5, também se faz presente (Figura 4.4).

Na parte norte, pode ser claramente vista a ligação entre a Serra do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero. Tal ligação se processa através de extensa e delgada crista de quartzito, encaixada num embasamento granito-gnáissico, com aproximadamente 45 km de extensão, após o que, rumo ao sul, alonga-se para constituir as imponentes formações quartzíticas da Serra das Cambotas. O limite sul desta serra com rochas do Sinclinal Gandarela parece estar condicionado pelo extenso lineamento ao longo do Rio Piracicaba acima descrito.

O Sinclinal Gandarela, que ao sul da Serra das Cambotas alinha-se estruturalmente segundo NE, interpõe-se entre esta serra e a do Caraça onde volta a manifestar-se um nítido arranjo N-S das rochas, concordantemente com as Serras do Espinhaço e das Cambotas.

Na Serra do Caraça o padrão submeridiano é ditado por sistemas de falhamentos inversos e/ou de empurrão, similares àqueles do Espinhaço, conferindo à região um aspecto escamado. Nas vizinhanças a oeste desta serra, faz-se presente um padrão de fraturamentos semelhantes a uma megabrecha onde predominam as direções N-S, E-W e WNW-ESE. A estes associam-se possantes intrusões básicas.

Ao sul, tem-se o Sinclinal Dom Bosco, cuja interpretação está prejudicada pelas linhas de varredura do MSS-LANDSAT, paralelas à direção das estruturas. Ao sul deste feição, destaca-se o grande contraforte quartzítico representado pela Serra do Ouro Branco, alongada segundo E-W. Apresenta esta serra textura bastante semelhante às do Espinhaço, Cambotas e Caraça. O seu limite norte é bem definido por um grande lineamento que prolonga-se segundo E-W para a parte oriental e inflete-se para SW rumo à porção ocidental da área. É representado no terreno pela importante Falha do Engenho, que nesta porção de sua extensão apresenta caráter transcorrente.

Na parte oeste encontra-se magnífica estrutura representada pelo Sinclinal da Moeda. Para esta estrutura, a possibilidade de interpretação das imagens utilizando-se o efeito estereoscópico obtido por diferença de paralaxe aumentou a capacidade de detecção de estruturas e também a precisão da sua delimitação.

No seu interior, o efeito estereoscópico possibilitou a definição de prováveis traços de camadas e seus rumos de mergulho. Na borda oeste deste sinclinal encontra-se a serra homônima sustentada por itabiritos e quartzitos, deslocada em alguns pontos por falhamentos com componentes horizontais de movimentação, aparentemente transcorrentes. A discordância estrutural entre as rochas da Serra da Moeda e o embasamento a oeste é bastante nítida, como também na junção deste sinclinal com a Serra do Curral, ao norte. Esta última, procedente de sudeste, corta retilinearmente a região rumo a nordeste.

Continuando esta descrição da região, no sentido de movimentação dos ponteiros de um relógio, tem-se na porção compreendida entre a terminação nordeste da Serra do Curral, contraforte ocidental da Serra das Cambotas e borda noroeste do Sinclinal Gandarela, o denominado Complexo Caeté, de forma aproximada circular e natureza gnáissico-migmatítica.

Finalmente, na porção central do Quadrilátero Ferrífero encontra-se a imponente massa granito-gnáissica-migmatítica do Complexo de Bação. Apresenta forma nitidamente ovalada, com eixo maior alongado segundo E-W. Seus contatos são bem definidos nas porções oeste, sul e leste, tornando-se difuso no flanco norte.

Internamente ao complexo, podem ser observadas algumas feições circulares, especialmente aquelas situadas nas suas porções sudeste e centro-sul. Na porção centro-sul, na área de ocorrência de rochas pertencentes ao que Herz (1970) denominou Granodiorito Engenheiro Correia, tem-se a mais imponente destas feições. É delimitada por uma

sucessão de cristas e vales encurvados, conferindo à estrutura um nítido aspecto anelar, aliado a um nível de cinza mais escuro. Nota-se um maior realce desta estrutura na imagem de agosto de 1973 (Figura 4.9b) onde o ângulo de elevação solar é menor. Lineamentos, alguns de grande porte, também estão presentes neste complexo, afetando não apenas este como também as unidades circunvizinhas.

No domínio dos terrenos granito-gnáissicos a análise visual das imagens permite que se façam poucas separações em termos de diferentes níveis de cinza e texturas. Talvez a única exceção seja a parte centro sul do Complexo de Bação, acima descrita.

Já para os terrenos metassedimentares e metavulcânicos a possibilidade de delimitação de diferentes unidades é muito grande. Sobressai-se, em primeiro lugar, o Grupo Itabira, muito destacado pela presença dos itabiritos, ricos em ferro, elemento este com forte absorção na faixa do infravermelho. Aparece com baixos níveis de cinza, quase negro, nos canais 6 e sobretudo no canal 7.

As formações quartzíticas também são delimitadas com relativa facilidade sobretudo pela sua morfologia, mas também em função dos altos níveis de cinza, claro no canal 5.

Rochas do Supergrupo Rio das Velhas (aqui exceto o Maquiné) são também de fácil delimitação, pelo contraste com as unidades ora granito-gnáissicas, ora quartzíticas e itabiríticas vizinhas. Também suas características texturais bastante rugosas, refletindo uma alta densidade da rede de drenagem (realçada sobretudo no canal 7 e em menor grau no canal 6) e também baixo nível de cinza (escuro) no canal 5, ligado provavelmente a cobertura vegetal, favorecem a sua delimitação.

Na parte interna do Sinclinal da Moeda, rochas do Grupo Piracicaba e Itacolomi podem ser separadas no canal 5, uma vez que são mais claras em relação às rochas vizinhas. Por outro lado, no ca

nal 7 esta área apresenta-se bastante escura, com aspecto semelhante aos itabiritos. Tal fenômeno deve ser relacionado à presença de componentes ferruginosos na cobertura superficial ali presente, aliado a uma fraca cobertura vegetal. Este último fator é sugerido pelo comportamento semelhante deste área nas imagens de épocas seca e úmida (Figuras 4.9a e b). Destaque-se que, como já mencionou Barbosa (1980), o interior do Sinclinal da Moeda é um pediplano. Assim, a presença de componentes ferruginosos pode ser devida à própria evolução desta superfície, com proveniência destes componentes nos itabiritos vizinhos (Serras da Moeda e Itabirito).

O Grupo Maquiné no Sinclinal Vargem do Lima é também facilmente individualizável no canal 5, pelo seu alto nível de cinza, contrastante sobretudo com o baixo nível de cinza do vizinho Grupo Nova Lima.

Rochas básicas na região oeste da Serra do Caraça são também bastante contrastados em relação às rochas essencialmente quartzíticas que elas atravessam. Enquanto as primeiras apresentam altos níveis de cinza, as últimas exibem baixos níveis no canal 17. Ressalte-se que este comportamento para as rochas básicas no canal 7 não é o esperado. Deveriam apresentar-se bastante escuros, visto que este tipo de rocha possui forte absorção da radiação no infravermelho. Dessa forma, o aspecto aqui observado pode ser devido à uma densa cobertura vegetal existente sobre estas rochas, o que é bastante sugestivo nas imagens no canal 5, onde são verificados níveis de cinza mais baixos nestas áreas.

Sedimentos da Bacia de Fonseca, a leste da Serra do Caraça, podem ser separados pela sua textura lisa e baixos níveis de cinza no canal 7, esta última devida à presença de uma cobertura limonítica na área. Neste caso a cobertura vegetal não deve ser tão densa.

Áreas urbanas e de solo exposto são particularmente evidentes no canal 5 da imagem MSS-LANDSAT.

4.2 - IMAGENS MSS E RBV-LANDSAT EM 1:250 000, "STRIPS" DE RADAR DA MISSÃO 96 EM 1:360 000 E MOSAICOS RADAMBRASIL EM 1:250 000

Ao nível da análise das imagens em escala 1:250 000 (MSS e RBV-LANDSAT e mosaicos RADAMBRASIL) e "strips" de radar em escala 1:360 000 (Missão 96 da NASA), a delineação das feições estruturais sofreu notável incremento.

A ligação Espinhaço-Quadrilátero é particularmente notável no mosaico de radar RADAMBRASIL e nos "strips" de radar da Missão 96 da NASA. A direção submeridiana das linhas de voo, associada a diferentes rumos de imageamento, proporcionou uma boa definição das estruturas da região (Figuras 4.5 e 4.6).

A persistência do estilo estrutural entre rochas das Serras do Espinhaço, Cambotas e Caraça é também notável quando observada nos produtos obtidos por radares de visada lateral. No caso da Serra do Caraça, as Figuras 4.6 e 4.7 (adjacentes) ilustram muito bem o problema de incorreções que podem advir do exame de imagens de radar obtidas segundo um único rumo de imageamento. Na área se faz necessária uma combinação das imagens das Figuras 4.6 e 4.7 para se observar o trabalho completo da Serra mascarada parcialmente em cada uma das imagens pelo efeito de sombreamento do radar.

As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 ilustram também os tipos de polarização paralela e cruzada. Nos "strips" da esquerda tem-se polarização HH e paralela e à direita polarização HV ou cruzada. Embora no caso apresentem poucas diferenças, as imagens HV são levemente superiores em termos de facilidade de interpretação estrutural, ocorrendo o inverso em termos de níveis de cinza.

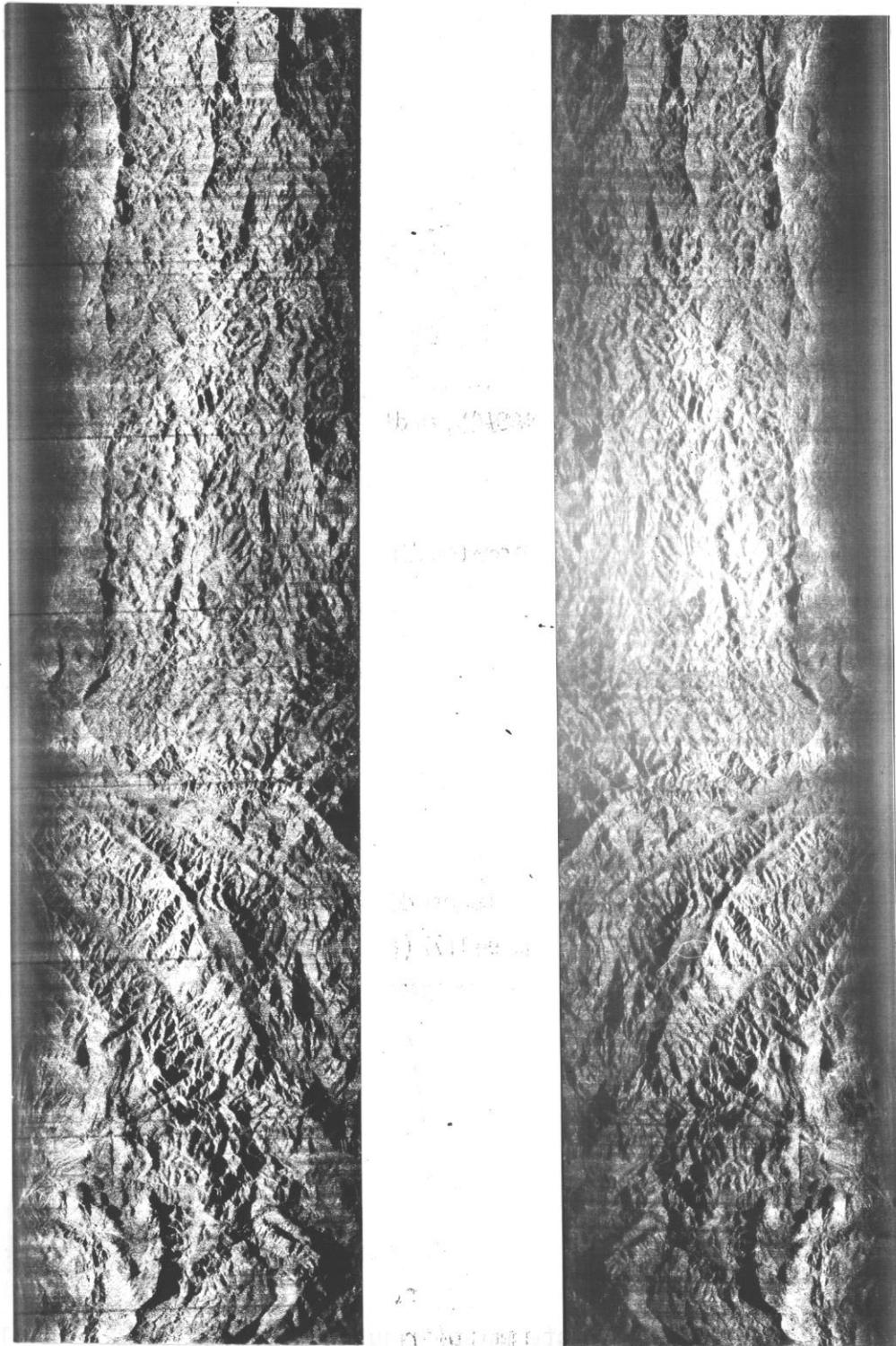


Fig. 4.5. - "Strip" de radar de visada lateral da Missão 96 da NASA, correspondente à porção leste do Quadrilátero Ferrífero, com polarizações HH (esquerda) e HV (direita).

- Observar a continuidade entre as serras do Espinhaço (no local Serra do Cipó) e das Cambotas. Escala aproximada 1:360 000. O alongamento das imagens se dá aproximadamente segundo N-S.

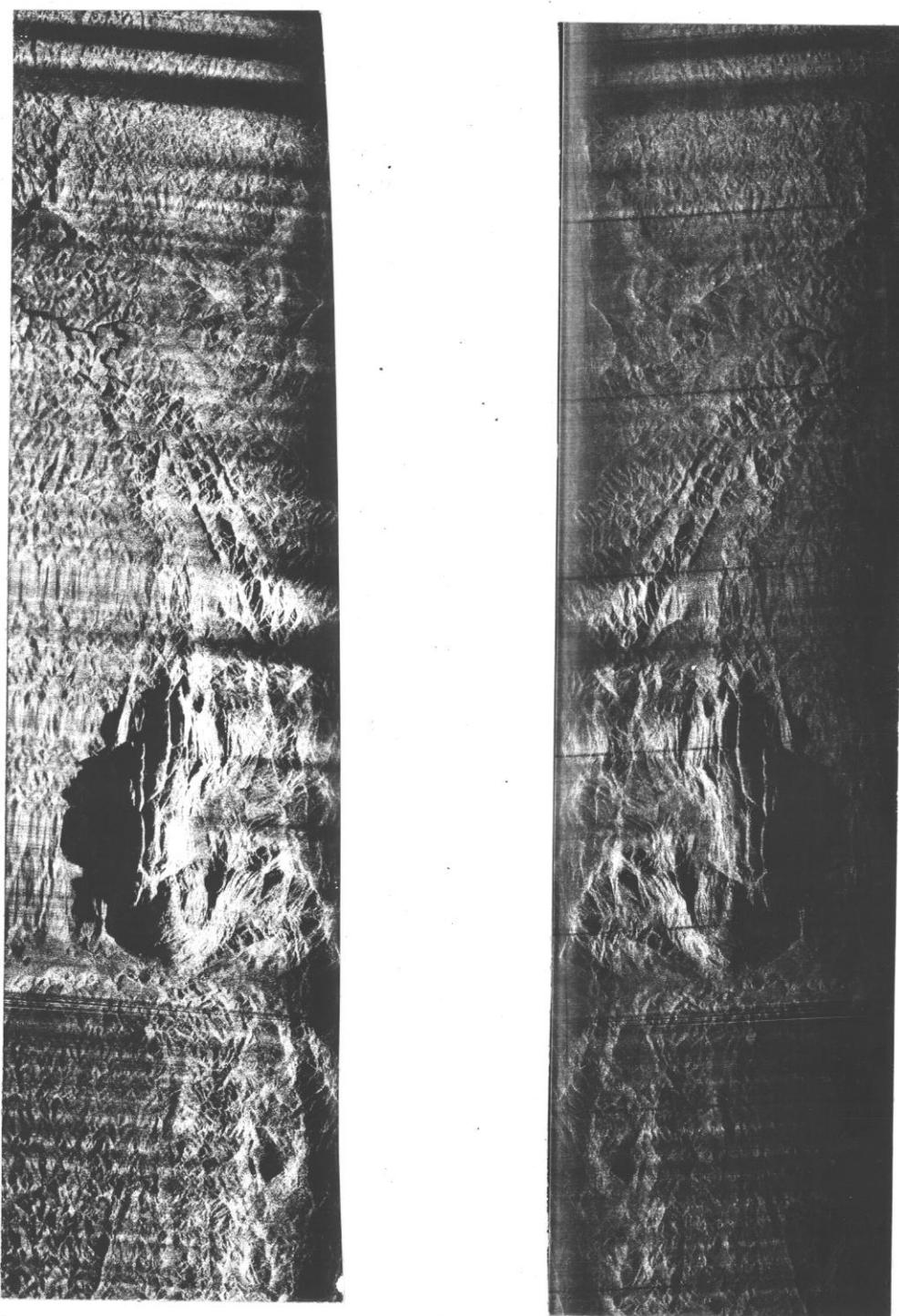


Fig. 4.6 - "Strip" adjacente ao da Figura 4.5, situado mais a leste, com características geométricas semelhantes aos da figura anterior.

- Notar o efeito de sombreamento na porção leste da Serra do Caraça e "layover" na porção oeste.

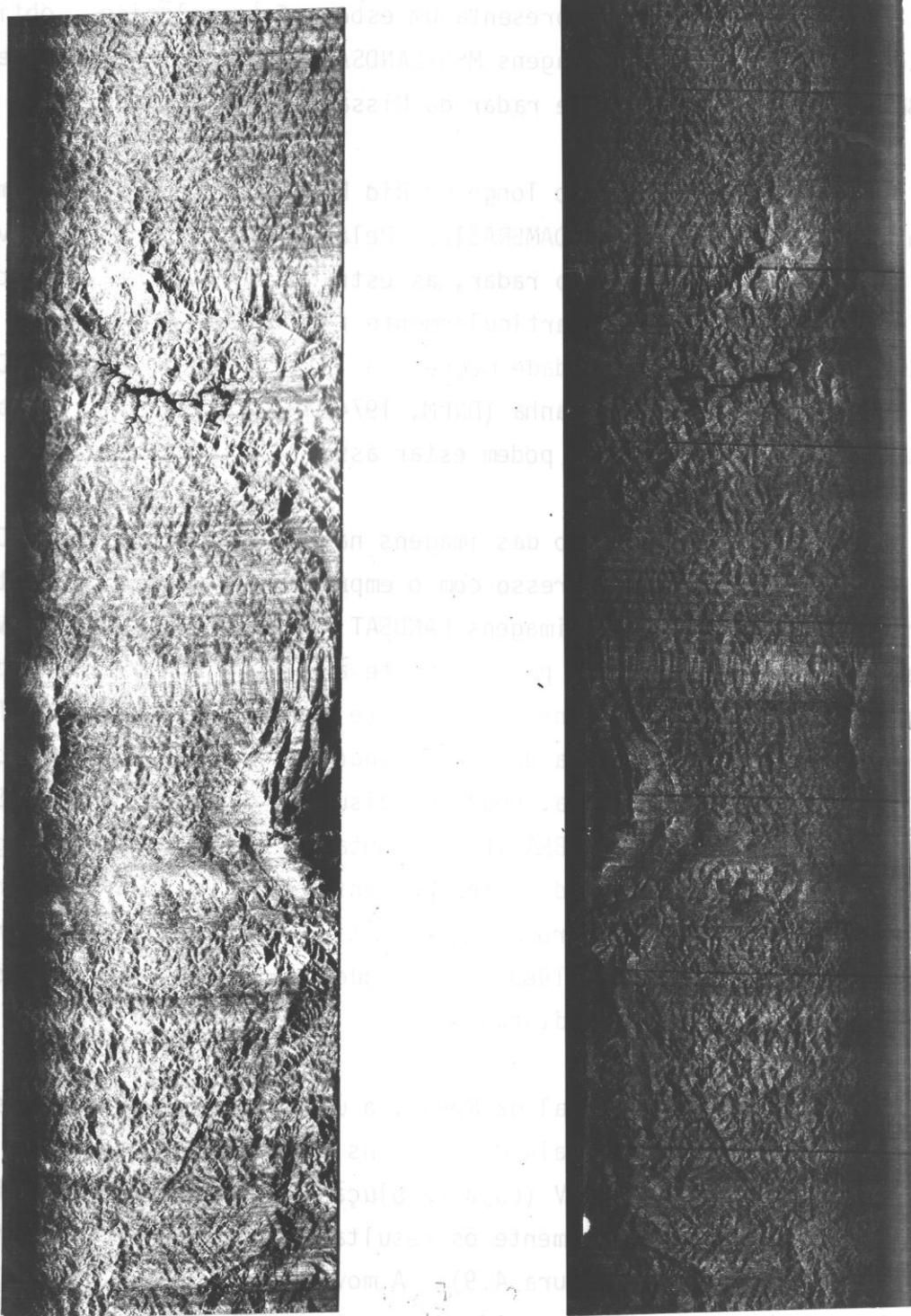


Fig. 4.7 - "Strip" adjacente ao da Figura 4.6, mais a leste.

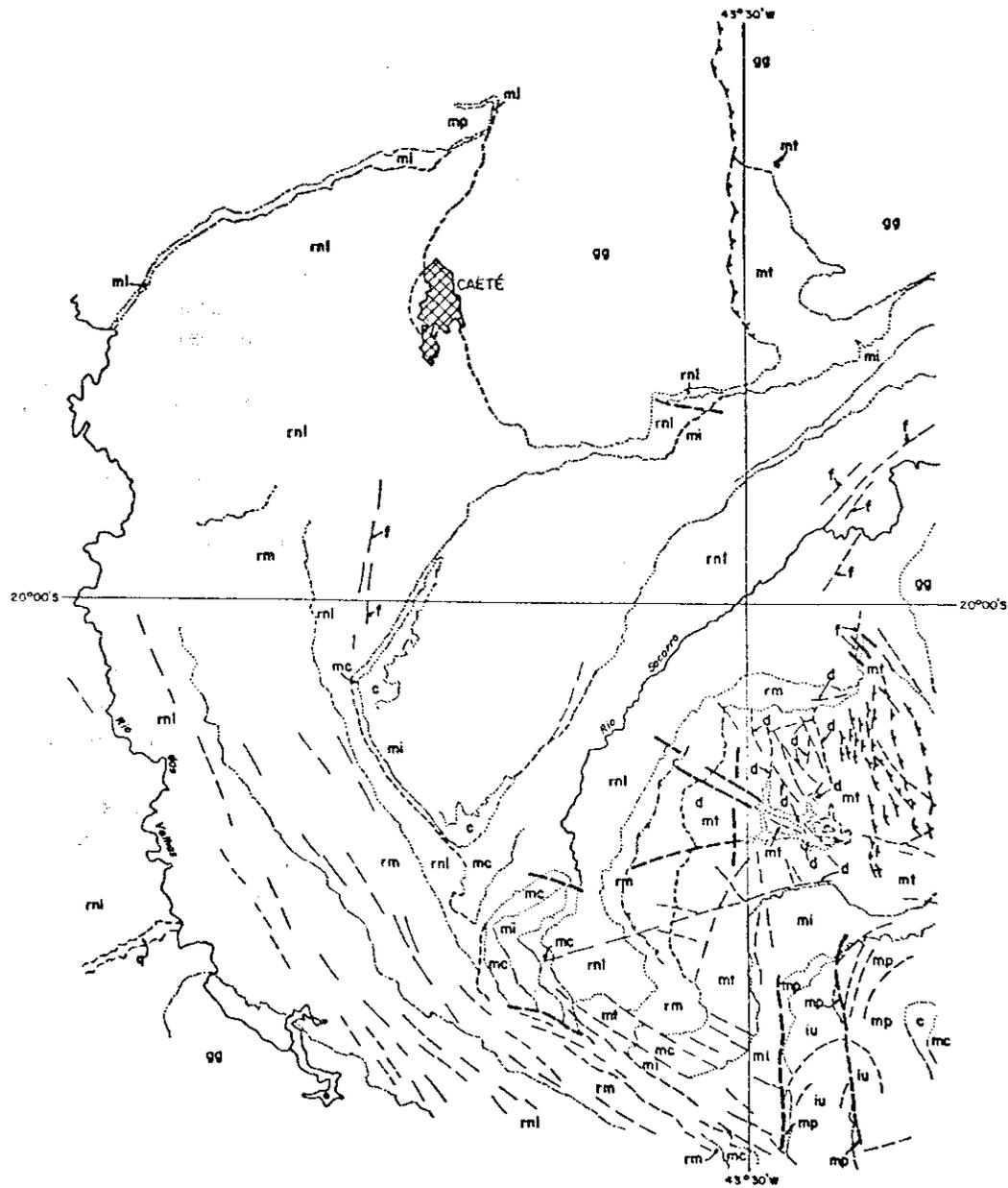
- Esta figura e a anterior ilustram o problema do mascaramento pelo efeito de sombreamento. Para uma completa delineação da Serra do Caraça é necessária a análise integrada das imagens 4.6 e 4.7.

A Figura 4.8 apresenta um esboço fotogeológico obtido da interpretação visual de imagens MSS-LANDSAT, mosaicos do Projeto RADAMBRASIL e dos "strips" de radar da Missão 96.

O lineamento ao longo do Rio Piracicaba está também muito bem definido no mosaico RADAMBRASIL. Pela sua orientação favorável em relação às linhas de voo do radar, as estruturas defletidas associadas a este lineamento estão particularmente ressaltadas no mosaico. O mapa de isoanômalas de intensidade magnética total (1:1 000 000) do Convênio Geofísico Brasil - Alemanha (DNPM, 1974) mostra algumas anomalias ao longo do Rio Doce que podem estar associadas a esta feição.

A interpretação das imagens na região do Sinclinal Dom Bosco apresentou pequeno progresso com o emprego dos novos produtos (radar) e a escala maior das imagens LANDSAT (MSS e, em parte, RBV). A orientação desta estrutura, paralelamente à direção de visada dos sistemas de radar, diminui consideravelmente a detectabilidade de feições internas a ela. Na Serra do Ouro Branco, extenso lineamento que corta integralmente esta serra, pode ser visualizado nas imagens MSS e RBV - LANDSAT e mosaico RADAMBRASIL. Orienta-se aproximadamente segundo WNW-ESE, tendo sido realçado principalmente pelo seu nível de cinza (mais escuro) diferente das rochas quartzíticas vizinhas (mais claro). O mapa geológico de Dorr II (1969) indica que este lineamento constitui-se de um grande dique de diabásio.

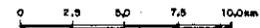
Para o Sinclinal da Moeda, a utilização do efeito este reoscópico, aliado à nova escala das imagens MSS-LANDSAT, bem como a disponibilidade de imagens RBV (cuja resolução é sensivelmente maior que o MSS) confirmam integralmente os resultados obtidos com as imagens em escala inferior (Figura 4.9). A movimentação relativa de alguns falhamentos com componentes transcorrentes pode ser precisada (Figura 4.10) não só para a borda oeste (Serra da Moeda), mas também na borda leste (Serra do Itabirito), onde afetam também rochas do Supergrupo Rio das Velhas e do Complexo de Bação. A contribuição oferecida pelo mosaico RADAMBRASIL é pequena, pois o sombreamento é intenso na borda ocidental do sinclinal (Figura 4.11). "Strips" da Missão 96 da NASA não são disponíveis para esta região.



rnl	1
f	2
q	3
rm	4
mt	5
mc	6

mi	7
mp	8
iu	9
gg	10
d	11
c	12

	13
	14
	15
	16
	17
	18



LEGENDA: Grupo Nova Lima, 1; com formações ferríferas, 2; e quartzitos, 3; Grupo Maquiné, 4; Grupo Tamanduá, 5; Grupo Caraça, 6; Grupo Itabira, 7; Grupo Piracicaba, 8; Grupo Itacolomi, 9; rochas granito-gnáissicas, 10; diques de diabásio, 11; Canga ferruginosa, 12; contatos entre unidades, 13; contatos prováveis, 14; falhas prováveis (com deslocamento observáveis nas imagens, 15; lineamentos estruturais (falhas, fraturas, sistemas de juntas, foliação, cristas, etc), 16; prováveis traços de camadas, com indicação de mergulhos prováveis, 17; falhas de empurrão inferidas (dentes de serra no bloco que subiu), 18.

Fig. 4.8 - Esboço fotogeológico da região das Serras das Cambotas, Caraça e do Sinclinal Gandarela, obtido pela interpretação visual de imagens MSS-LANDSAT em 1:250 000, "strips" do Radar da Missão 96 e mosaicos RADAMBRASIL.

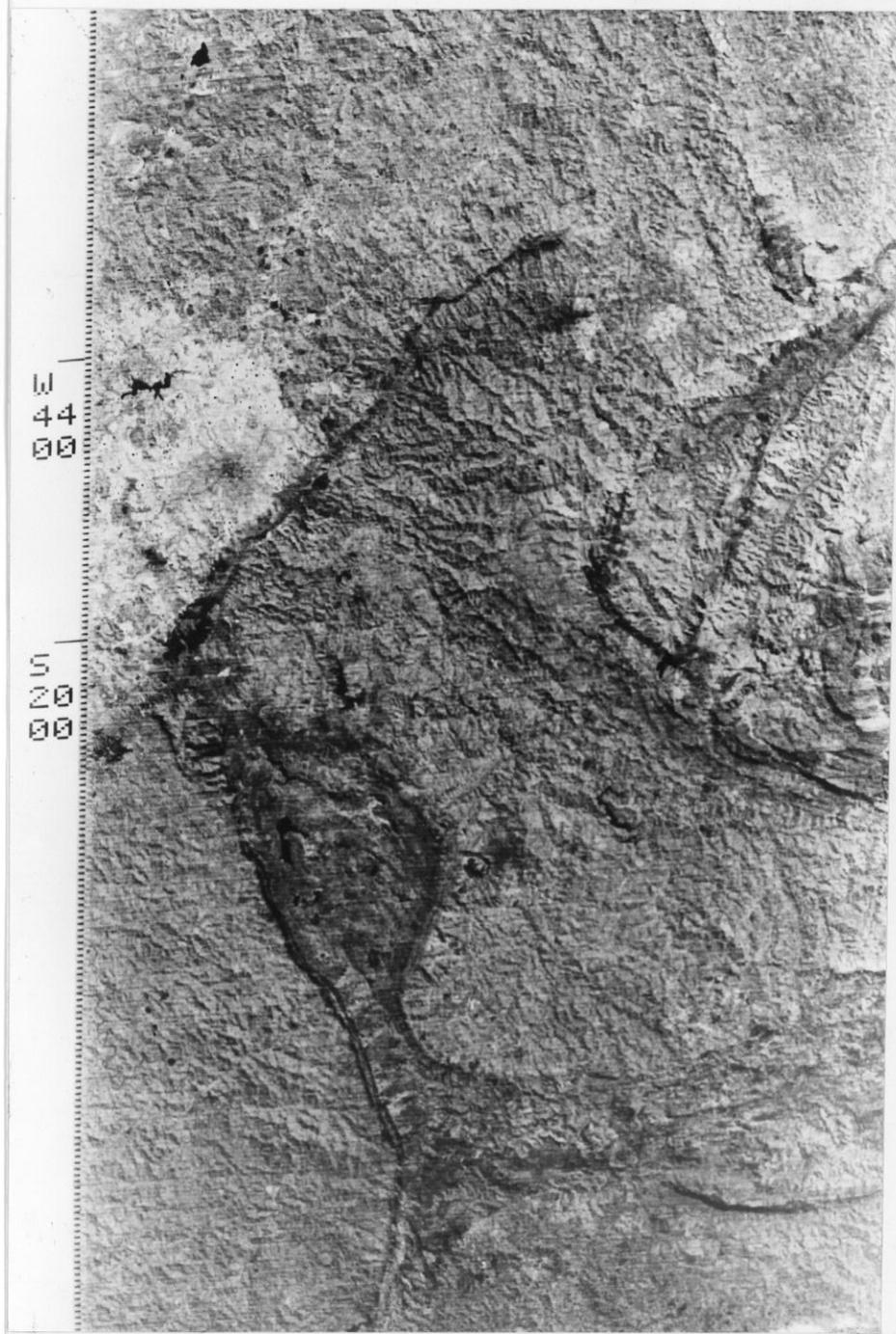
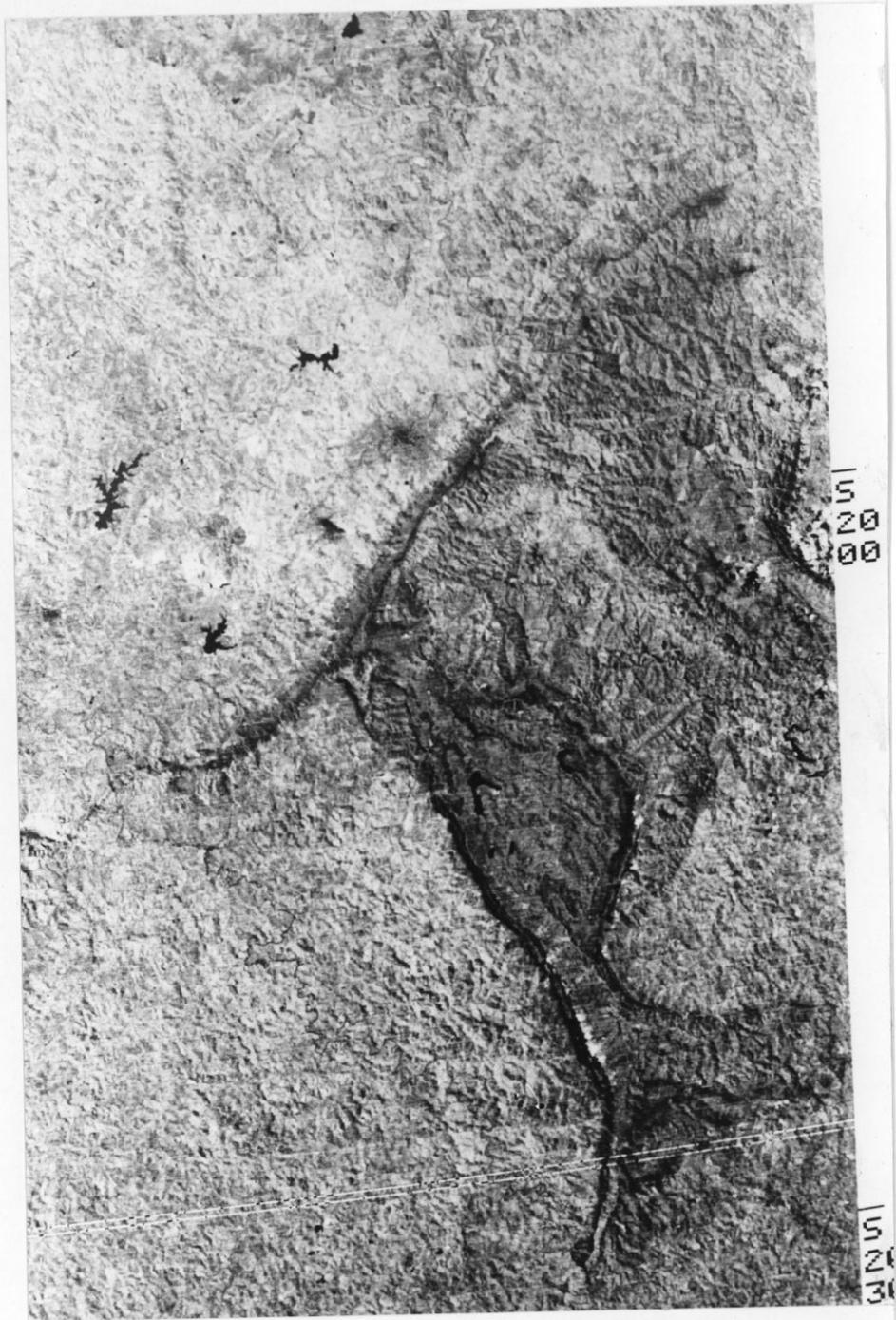
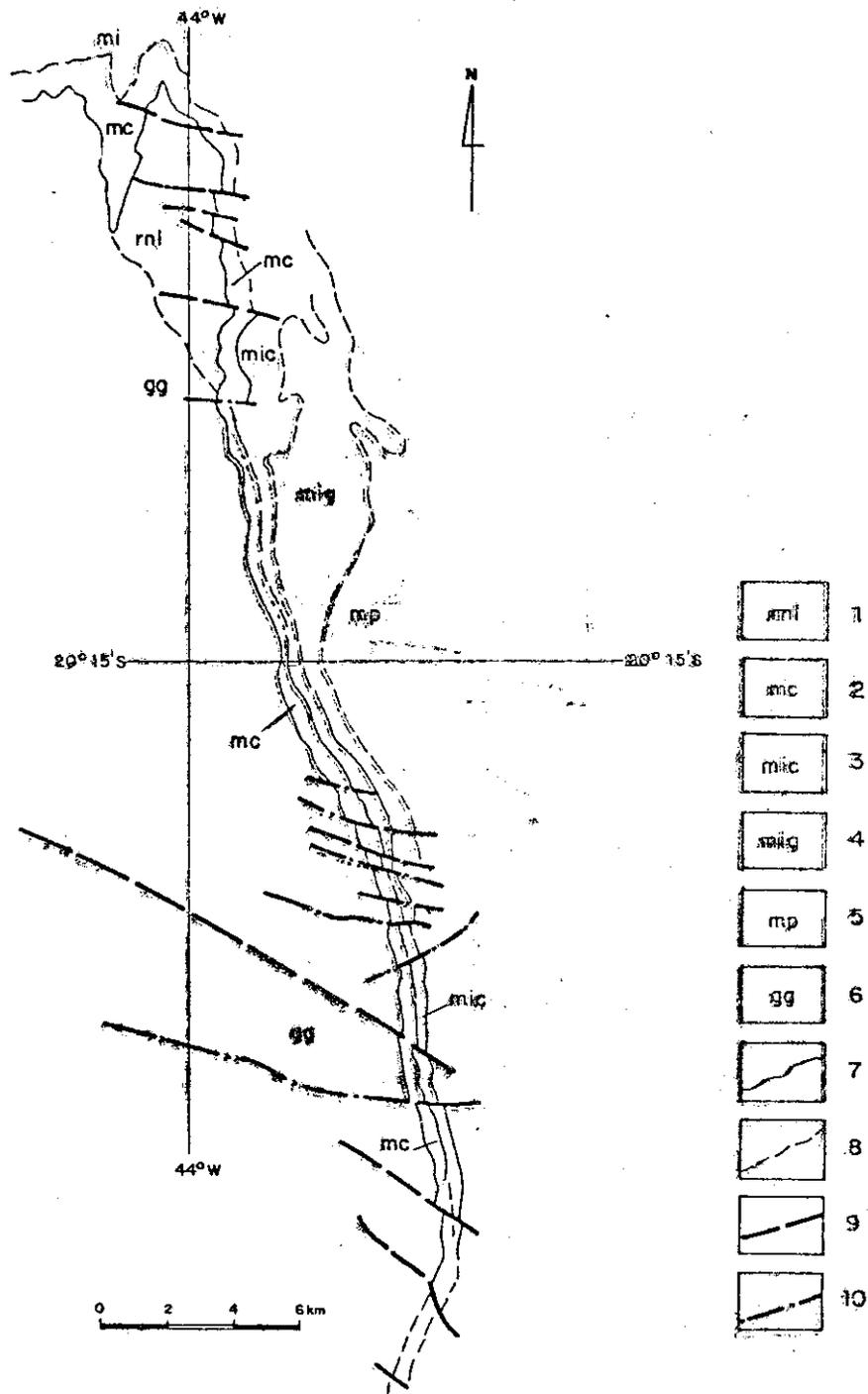


Fig. 4.9 - Par estereoscópico de imagens MSS-LANDSAT (Canal 6) adjacentes, correspondente à região do Sinclinal da Moeda, escala aproximada 1:600.000.



LEGENDA: Rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas, 1; Grupo Nova Lima, Rochas proterozóicas do Supergrupo Minas, 2; Grupo Carança, 3; Grupo Itabira, Formação Cauê, 4; Grupo Itabira, Formação Gandarela, 5; Grupo Piracicaba, 6; terrenos granito-gnáissicos-migmatíticos, 7; contatos fotogeológicos, 8; contatos fotogeológicos aproximados, 9; falhas já mapeadas, 10; falhas não mapeadas. Em 3 e 4 estão incluídos em parte, produtos de alteração das rochas do Grupo Itabira.

Fig. 4.10 - Esboço fotogeológico do flanco oeste do Sinclinal Moeda. (Serra da Moeda).



Fig. 4.11 - Parte do mosaico RADAMBRASIL corresponde à região do Sinclinal da Moeda, escala aproximada da foto 1:570 000.

- Notar o efeito de sombreamento bastante intenso presente na porção oeste da estrutura (Serra da Moeda, alinhada segundo NNW).

Embora as imagens de radar não tenham oferecido um volume significativo de novas informações, as imagens MSS-LANDSAT em 1:250 000 proporcionaram uma considerável melhoria na interpretação das estruturas da região do Complexo de Baçã. As feições circulares anteriormente delineadas puderam ser melhor definidas (Figuras 4.12 e 4.13), sobretudo aquela da porção centro-sul do complexo. Alguns lineamentos de grande porte foram identificados e interpretados como possíveis falhamentos. Outros menores são provavelmente representativos dos traços de foliação das rochas ou fraturas.

Feições circulares semelhantes a estas, detectados no interior do Complexo de Baçã, são também possíveis de serem delineados em alguns dos domos gnáissicos identificados pela equipe DNPM-USGS, sobretudo no Domo de Bonfim, a leste da Serra da Moeda.

4.3 - ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS MSS-LANDSAT

A análise automática de imagens MSS-LANDSAT foi conduzida para as regiões do Sinclinal da Moeda, Complexo de Baçã e Serra do Caraça-Sinclinal Gandarela - Serra das Cambotas.

4.3.1 - SINCLINAL DA MOEDA

Para a porção norte da estrutura foram confeccionadas composições coloridas dos canais 5 e 7, ambos com "contrast stretch" (Figura 4.14), bem como dos canais 4, 5 e 7, todos processados (Figura 4.15). Além disso, o filtro isotrópico do tipo 3 (Tabela 2.6), com parâmetros ($A = 1$, $B = -2$, $C = 30$, $D = -2$) foi aplicado no canal 4, precedido por um "linear stretch" da cena (Figura 4.16). Na parte sul do sinclinal os produtos obtidos foram composições coloridas dos canais 5 e 7 originais (Figura 4.17) e com "linear stretch" (Figura 4.18). Além dessas também foi testada a técnica de razão entre canais, implantada em "hardware" no analisador Image-100, sem bons resultados.

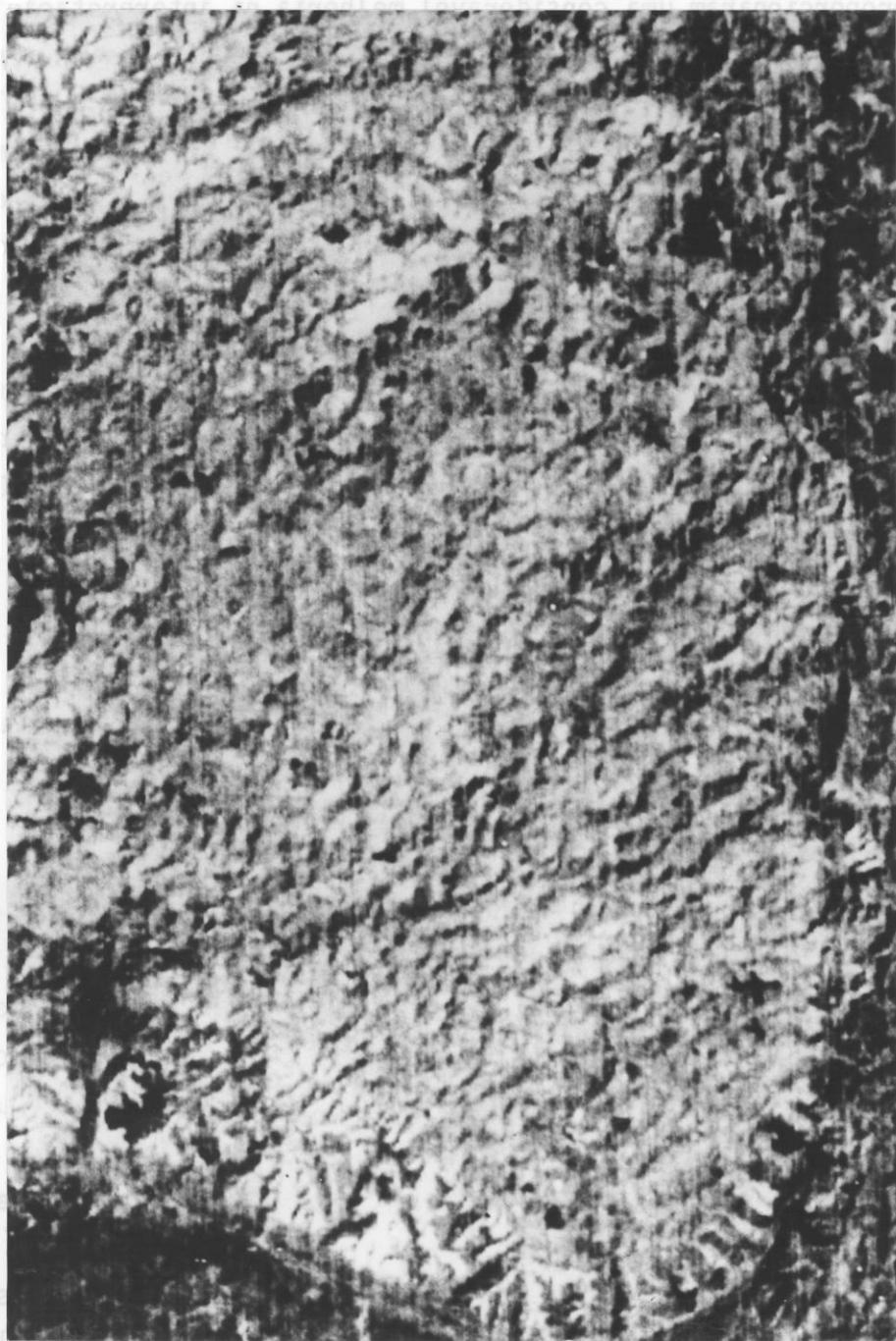
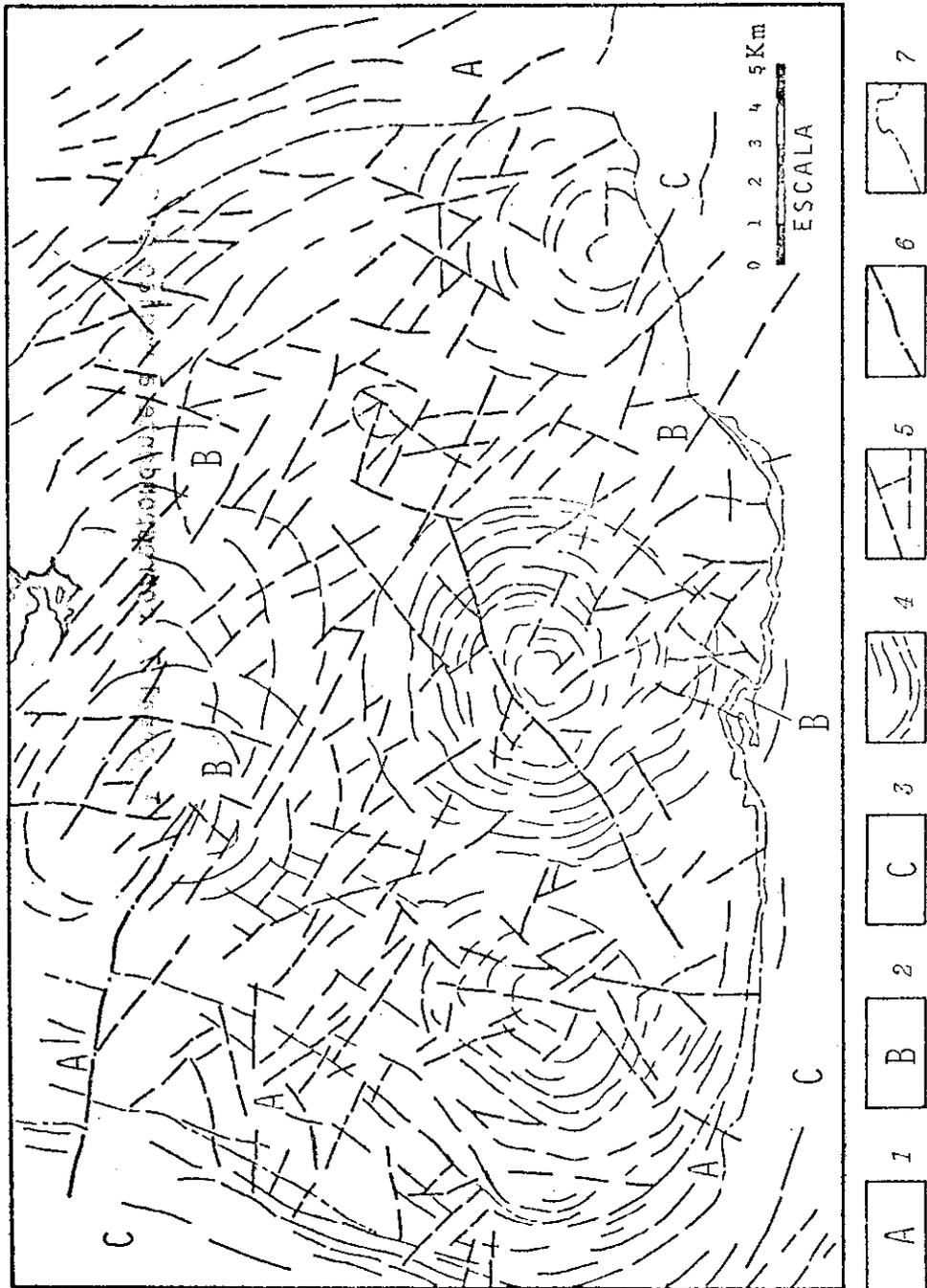


Fig. 4.12 - Parte da cena MSS-LANDSAT, canal 7, correspondente à região do Complexo de Bação, escala aproximada 1:200 000.



LEGENDA: Unidades fotogeológicas, 1,2,3; prováveis traços de foliação, 4; prováveis fraturas, 5; prováveis falhas, 6; contatos fotogeológicos, 7;

Fig. 4.13 - Resultado da fotointerpretação da imagem da figura anterior.



Fig. 4.14 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (a noroeste).

- Composição colorida dos canais 5 e 7, ambos com "contrast stretch" (Canal 5 = verde + azul; canal 7 = vermelho). O traço negro mede aproximadamente 5 km.



Fig. 4.15 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (cena levemente deslocada para leste em relação à anterior).

- Composição colorida dos canais 4,5 e 7, todos com "contrast stretch"

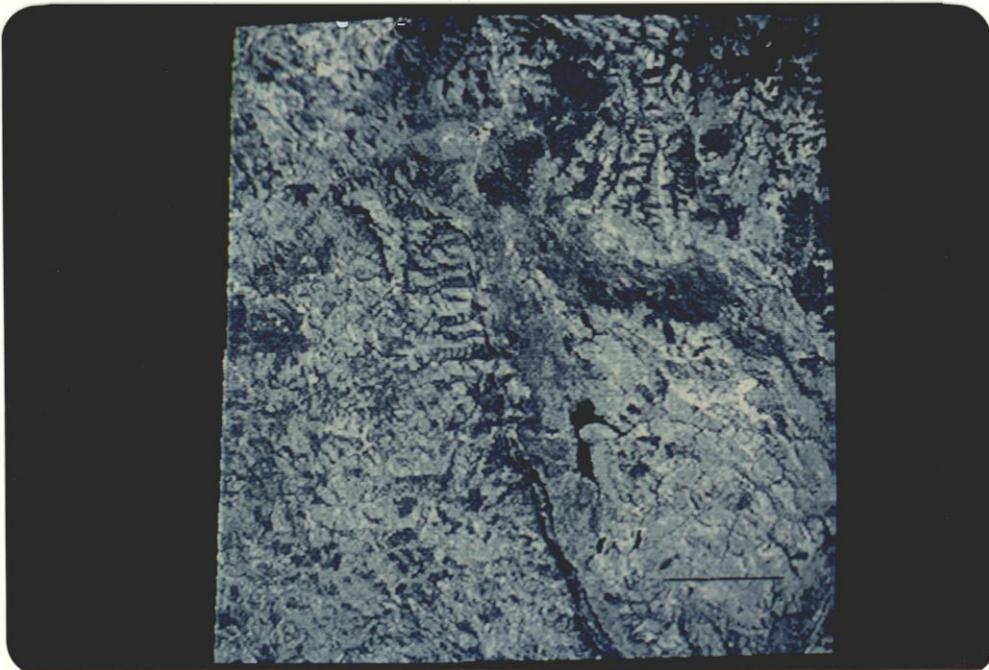


Fig. 4.16 - Parte norte do Sinclinal da Moeda, em sua junção com a Serra do Curral (mesma localização que a foto anterior).

- Canal 5 com "contrast stretch" e filtro 3 com parâmetros (A=1, B=-2, C=30, D=-2). O traço negro mede aproximadamente 5 km.

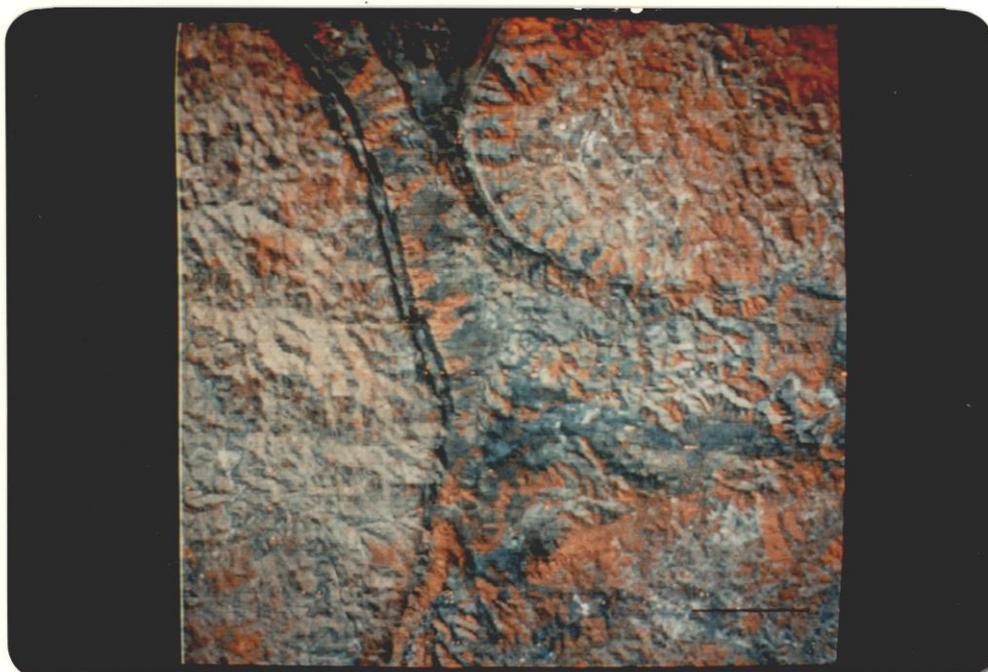


Fig. 4.17 - Parte sul do Sinclinal da Moeda.

- Composição colorida entre os canais 5 e 7 originais. O traço negro do canto direito inferior da foto mede aproximadamente 5 km.



Fig. 4.18 - Parte sul do Sinclinal da Moeda.

- Mesma composição que a da foto anterior, na mesma escala, com "contrast stretch" nos canais 5 e 7.

A técnica do "linear stretch" proporcionou uma melhoria no contraste da cena, facilitando sobretudo a delimitação das unidades fotogeológicas. Os filtros digitais por sua vez destacaram muito bem os falhamentos anteriormente identificados. A combinação destas técnicas gerou produtos onde a delimitação estrutural ficou evidentemente facilitada em relação às imagens LANDSAT no estado original.

Ainda na porção norte do Sinclinal da Moeda foi testada a classificação MAXVER, objetivando a separação de diferentes litologias presentes na área. Foram escolhidas sete classes conhecidas no campo e uma oitava onde não se possuía conhecimento prévio aqui denominada incôgnita, sendo nela incluídos os "pixels" restantes até então não classificados (Tabela 4.1)

A matriz de classificação da cena (Tabela 4.1) mostra na primeira coluna a porcentagem de pontos não-classificados como pertencentes a uma determinada classe. As outras colunas mostram as porcentagens de pontos de uma classe i classificados como pertencentes a uma classe j . Quando $i = j$ a tabela mostra os pontos corretamente classificados.

Algumas classes mostram-se espectralmente bem distintas das demais, como é o caso das classes água, Supergrupo Rio das Velhas, área urbanizada e/ou solo exposto, itabiritos da Formação Cauê, rochas granito-gnáissicas e migmatíticas. Destaque-se que a classe Supergrupo Rio das Velhas apresentou boa destinação pela abundante vegetação que a capeia. Outras classes, como as classes rochas ultrabásicas e rochas dos grupos Piracicaba e Itacolomi, apresentam certa porcentagem de seus "pixels" classificados como pertencentes a outras classes, pela semelhança espectral entre elas. Neste caso este fato deve provavelmente estar relacionado à presença de uma cobertura com componentes ferruginosos, sobre a área de ocorrência dos grupos Piracicaba e Itacolomi, como já foi discutido na Seção 4.1, e uma cobertura vegetal sobre rochas ultrabásicas. Esta combinação de fatores pode ter sido responsável pela resposta semelhante em termos espectrais, destas duas classes.

TABELA 4.1

CLASSIFICAÇÃO MAXVER (LIMIAIR=5.00) - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO (EM PORCENTAGENS)

CLASSES	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Água	0.6	96.8	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2. Rochas do Supergrupo Rio das Velhas	1.4	0.0	98.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3. Área urbanizada e/ou solo exposto	2.8	0.0	0.0	84.7	0.0	6.5	0.0	0.6	5.4
4. Itabiritos da Formação Caue	0.5	0.0	0.0	0.5	89.8	0.0	7.4	1.9	0.0
5. Rochas granito-gnâissicas e migmatíticas	0.2	0.0	0.0	3.4	0.0	95.4	0.0	0.0	1.1
6. Rochas ultrabásicas	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	62.9	24.6	6.4
7. Rochas dos Grupos Piracicaba e Itacolomi	0.2	0.0	0.0	1.4	3.8	0.0	18.6	54.0	21.9
8. Incôgnita	0.0	0.0	0.0	6.4	1.1	1.1	8.6	8.6	74.3

Vale mencionar que na classe incôgnita foram classifica dos "pixels" correspondentes a rochas do Grupo Caraça na porção leste da Serra do Itabirito, com razoável correspondência em relação aos mapas geológicos existentes. Isto sugere que com uma escolha mais adequada de uma área de treinamento para esta unidade, ela poderia ter sido classificada de forma mais adequada.

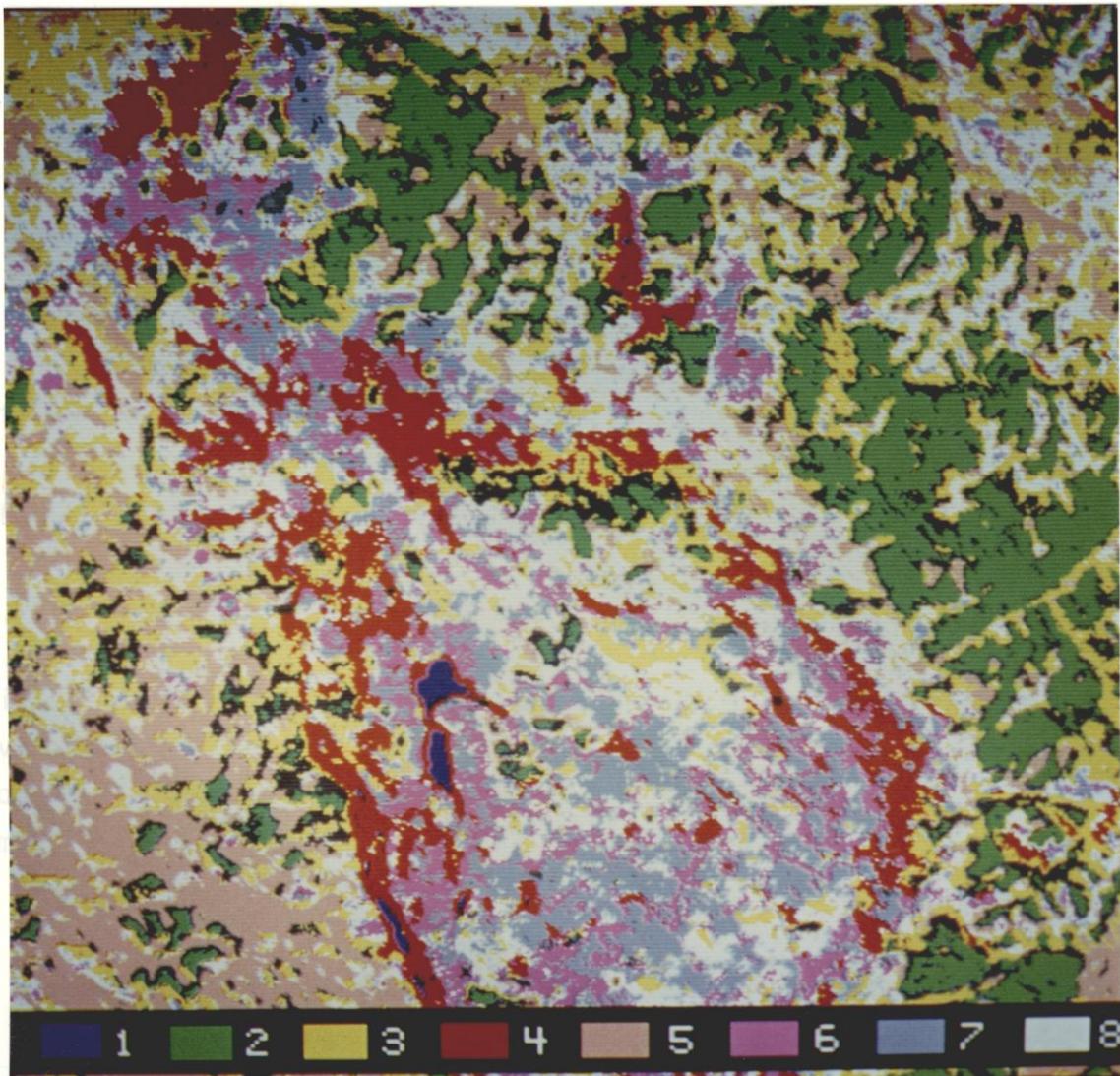
Comparando o produto obtido nesta classificação (Figura 4.19) com os mapas geológicos disponíveis da área verifica-se grande concordância, com destaque para os itabiritos (e seus produtos de alteração), Supergrupo Rio das Velhas, rochas granito-gnâissicas e migmatíticas, além naturalmente da classe água.

Embora a cena utilizada apresentasse um baixo ângulo de elevação solar, este fator não acerretou grande prejuízo à classificação MAXVER na área, pois sobre o Sinclinal da Moeda tem-se um relevo relativamente plano. Apenas uma estreita faixa, paralela ao flanco oeste do Sinclinal (Serra da Moeda), foi prejudicada pelo efeito de sombreamento.

4.3.2 - COMPLEXO DE BAÇÃO

Várias foram as técnicas de realce utilizadas na análise desta região. A Figura 2.13 sumaria a sequência de processamentos utilizados e os produtos obtidos, estes apresentados nas Figuras 4.20 a 4.28. Foi também empregada a razão entre canais, aqui também sem bons resultados.

Para o realce pelos principais componentes utilizou-se o programa PRINCO cujos parâmetros estão reproduzidos na Tabela 4.2.



LEGENDA: Massas d'água, 1; rochas do Supergrupo Rio das Velhas, 2; Áreas urbanizadas e/ou solo exposto, 3; itabiritos da Formação Cauê, 4; rochas graníticas, gnáissicas e migmatíticas, 5; rochas ultrabásicas, 6; rochas dos grupos Piracicaba e Itacolômi, 7; incôgnita, 8.

Fig. 4.19 - Parte norte do Sinclinal da moeda; classificação automática supervisionada MAXVER.

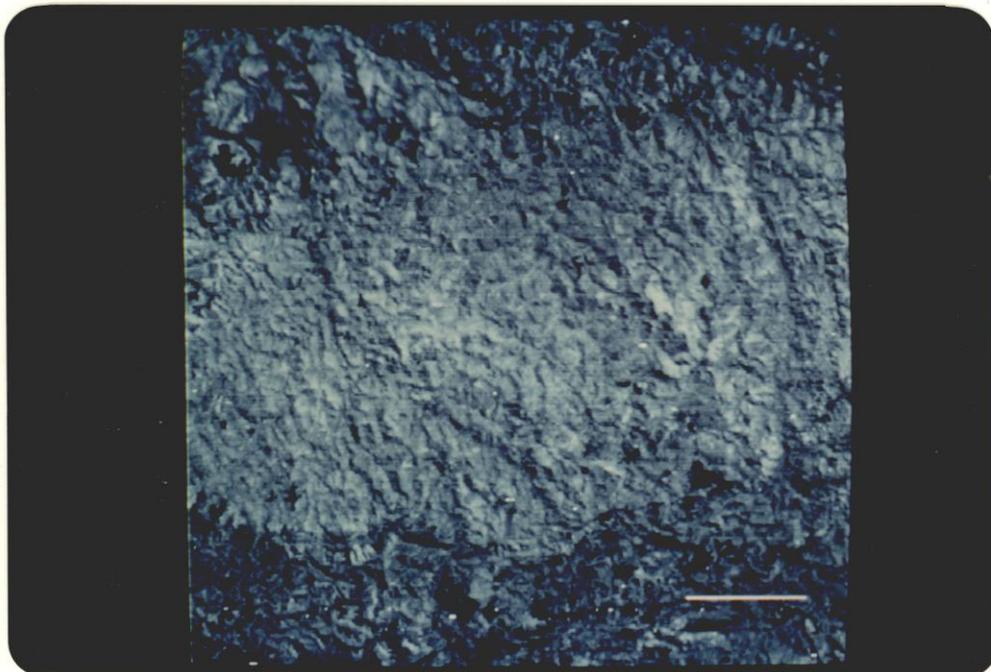


Fig. 4.20 - Região do Complexo de Bação.
- Canal 7 original (traço branco = 5 km).

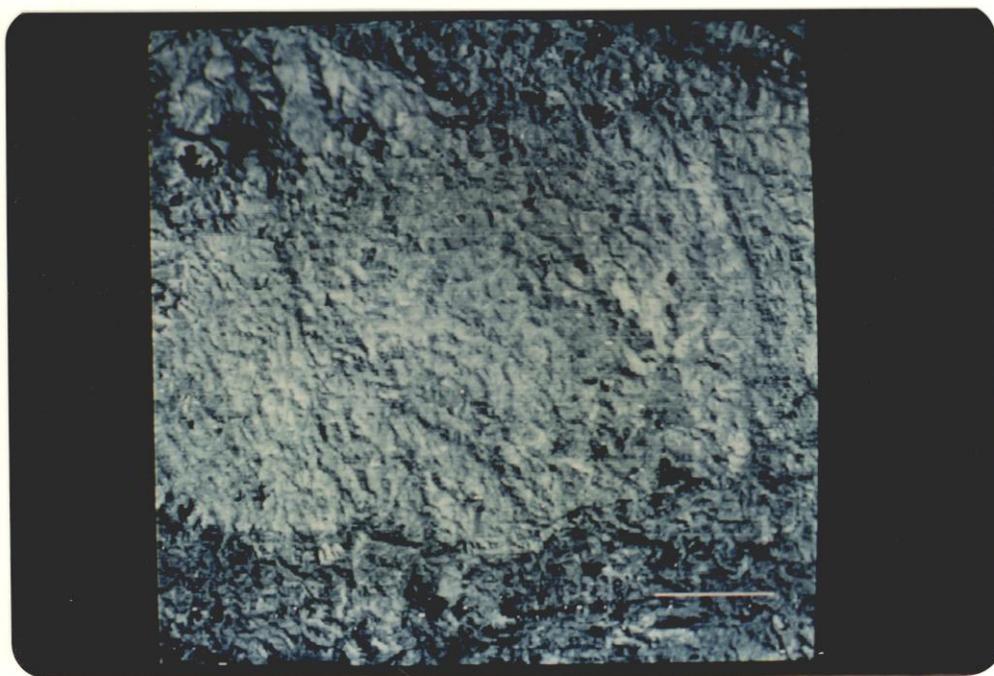


Fig. 4.21 - Região do Complexo de Bação.

- Canal 7 com "contrast stretch" (traço branco = 5 km).

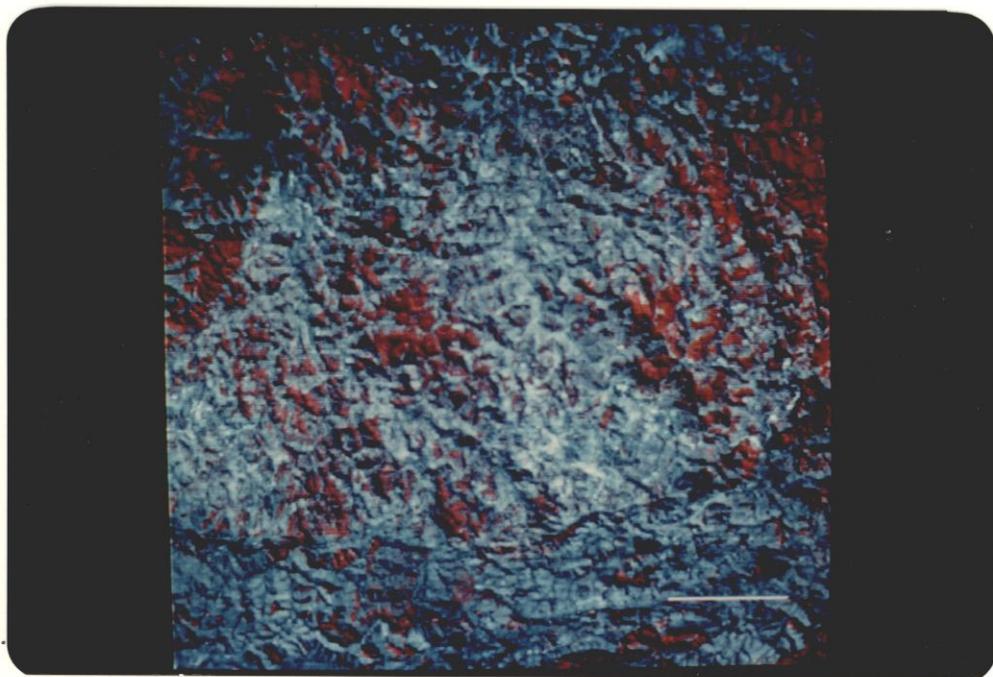


Fig. 4.22.- Complexo de Bação.

- Composição colorida entre os canais 5 e 7, ambos com "contrast stretch". Canal 5 = verde + azul; canal 7 = vermelho. Traço branco = 5 km.

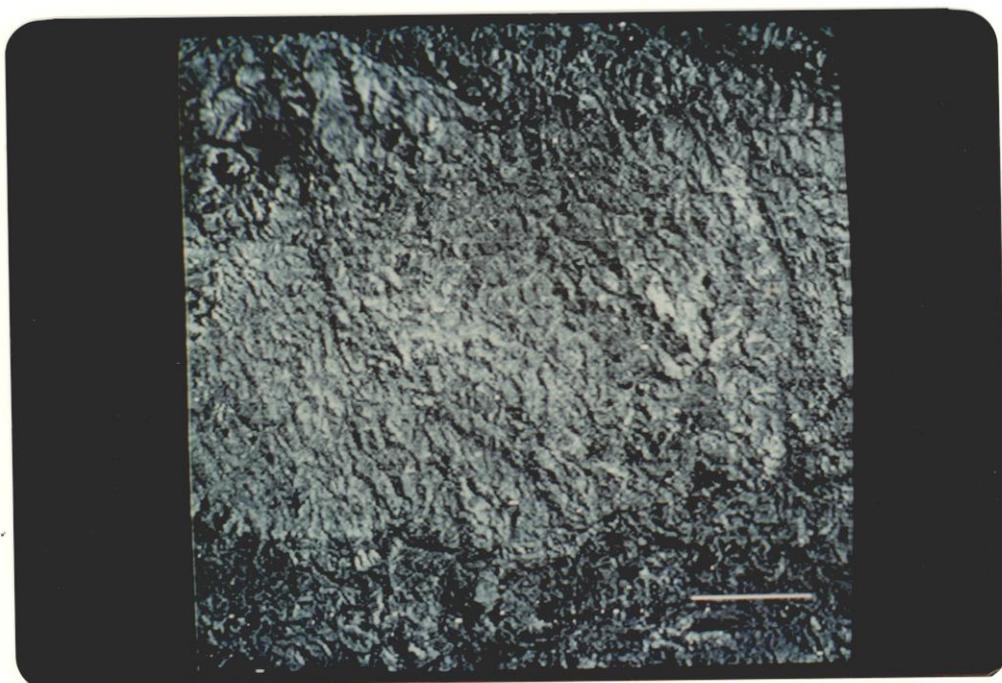


Fig. 4.23 - Complexo de Bação.

- Canal 7 com filtro 3, com parâmetros ($A=1$, $B=-2$, $C=30$, $D=-2$), Traço branco = 5 km. Notar o lineamento, indicado pelas setas, cortando a estrutura de Engenheiro Correia.

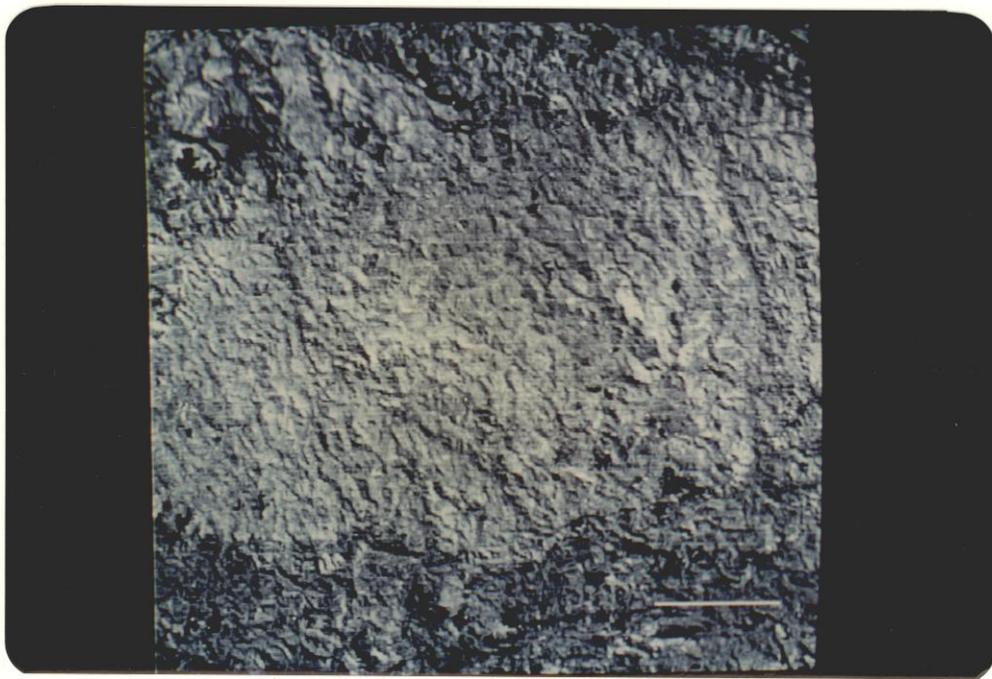


Fig. 4.24 - Complexo de Bação.

- Canal 7 com filtro 1 (realce para NW), com parâmetros ($A=0$, $B=-1$, $C=15$, $D=0$). Traço branco = 5 km.

Fig. 4.24 - Complexo de Bação.



Fig. 4.25 - Complexo de Bação.

- Canal 7 com filtro 1, (realce para NE), com parâmetros (A=-1, B=0, C=15, D=0). Traço branco = 5 km.

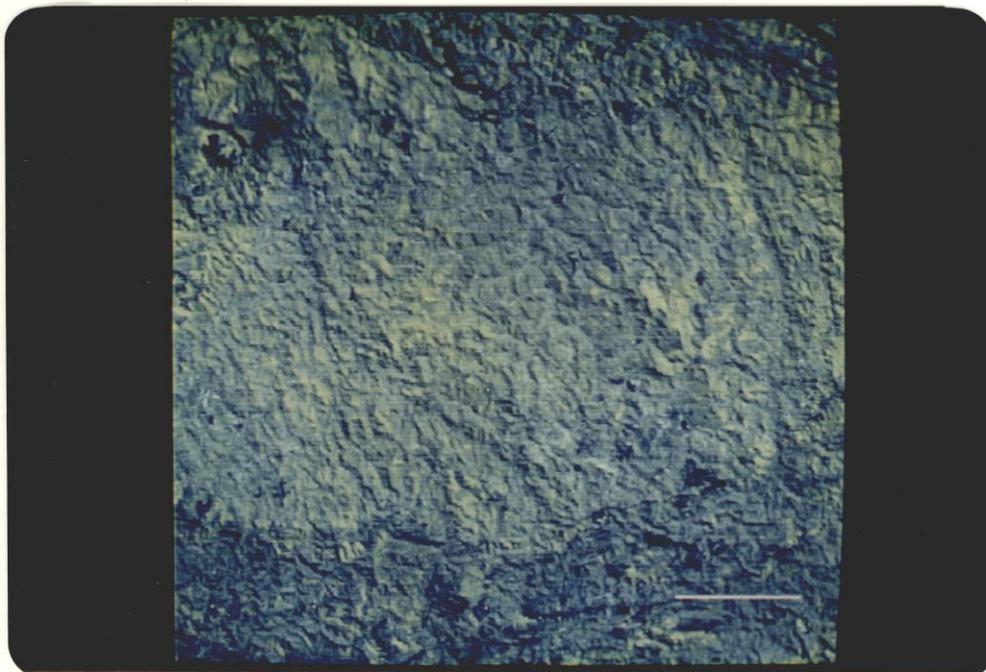


Fig. 4.26 - Complexo de Bação.

- Composição colorida dos canais 5 e 7 ambos com filtro 1 e parâmetros (A=0, B=-1, C=15, D=0). Canal 5 = azul; canal 7 = verde+vermelho. Traço branco = 5 km.

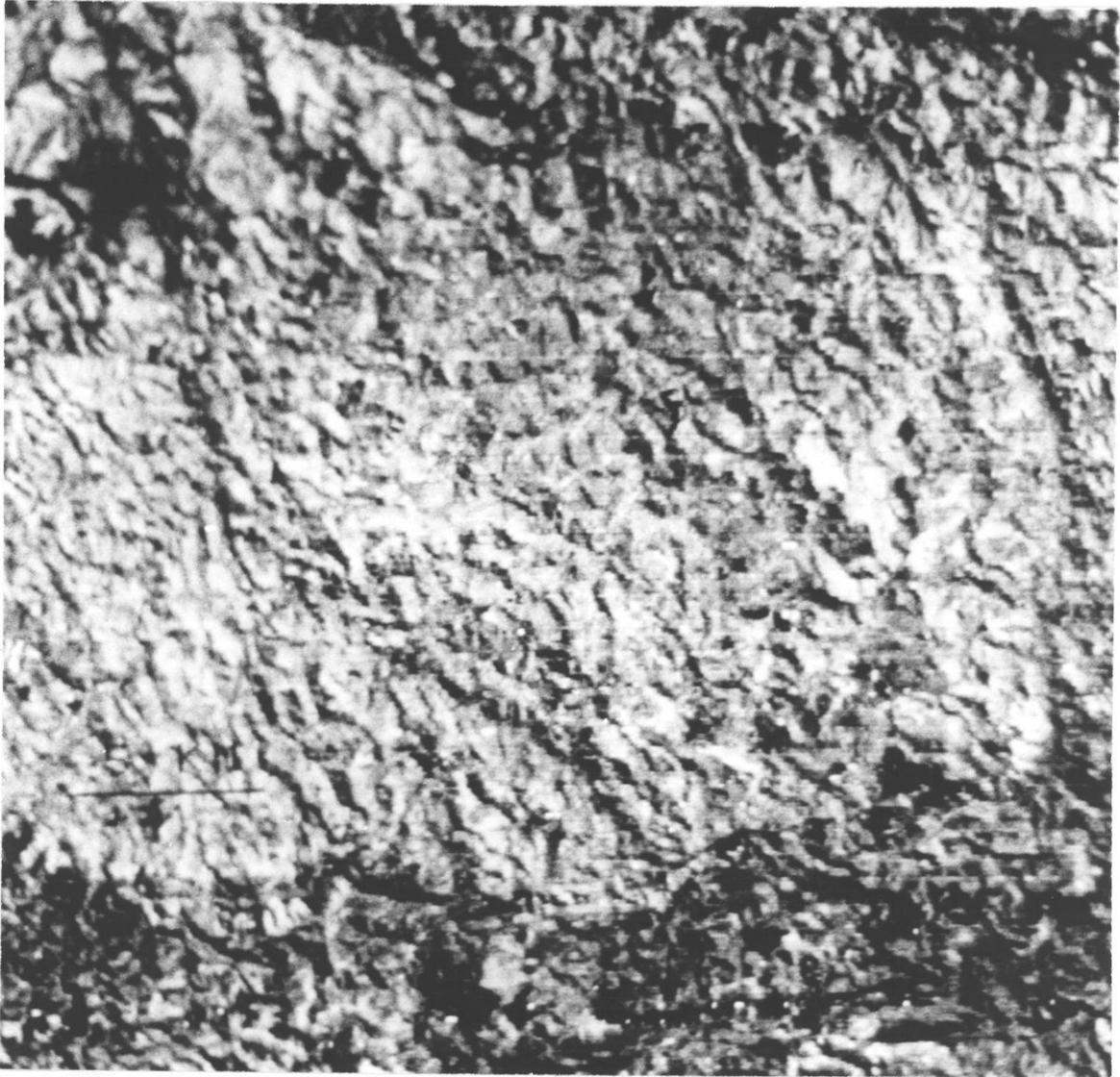


Fig. 4.27 - Complexo de Bação.

- Principais componentes: 1a. com
ponente principal, com "contrast
stretch".

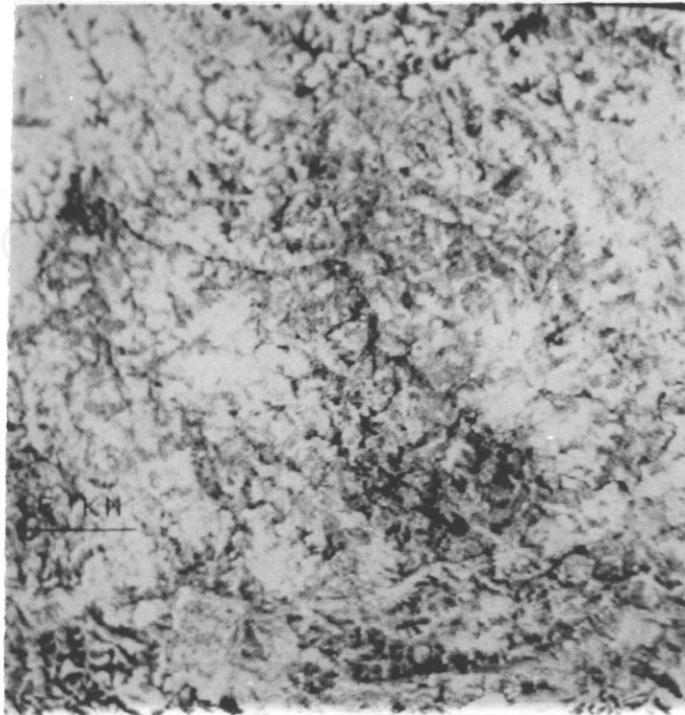


Fig. 4.28 - Complexo de Bação.

- Principais componentes: 2a. com
ponente principal com "contrast
stretch".

TABELA 4.2

PRINCIPAIS COMPONENTES-PARÂMETROS PRINCO

	4	5	6	7
4	1.000	0.690	0.352	0.109
5	0.690	1.000	0.317	0.060
6	0.352	0.317	1.000	0.780
7	0.109	0.060	0.780	1.000

MATERIAIS DE COVARIÂNCIA ($\Sigma s^2=506.485$)

23.533	26.069	12.818	10.108
26.069	60.688	18.547	8.890
12.818	18.547	56.371	112.036
10.108	8.890	112.036	365.893

MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO

1	AUTOVETOR	0.039	0.044	0.310	0.949
2	AUTOVETOR	-0.439	-0.850	-0.255	0.141
3	AUTOVETOR	0.084	-0.356	0.888	-0.277
4	AUTOVETOR	0.894	-0.386	-0.223	0.054

AUTOVALORES

% DE INFORMAÇÃO

403.346	79.6	1º C.P.
78.239	15.4	2º C.P.
15.190	3.0	3º C.P.
9.709	1.9	4º C.P.

506.484

Nota-se que 95% das informações espectrais contidas nos quatro canais do MSS-LANDSAT estão "concentradas" nas duas primeiras componentes principais. A primeira componente principal (Figura 4.27), onde está concentrada 79,6% das informações, corresponde às características do brilho total contido nos quatro canais, relacionadas principalmente à morfologia do terreno. A segunda componente principal (Figura 4.28) apresenta 15,4% das informações relacionadas principalmente ao contraste espectral das imagens, ou seja, às prováveis variações litológicas. As demais componentes apresentam pequenas quantidades de informações, concentrando-se aí o ruído das imagens (quarta componente principal).

A maior parte dos produtos obtidos para região do Complexo Bação mostrou uma melhoria no realce das estruturas internas, favorecendo sua delimitação. Os melhores resultados foram obtidos aplicando o filtro do tipo 3 no canal 7 da imagem LANDSAT. A estrutura circular da região de Engenheiro Correia foi particularmente bem realçada, notando-se também a presença de um lineamento cortando diametralmente a feição com pequeno deslocamento de cristas constituintes, provavelmente um falhamento com componente horizontal sinistral. A Figura 4.23, mostra esta feição. Embora esteja representado no mapa da Figura 4.13, sua verificação na imagem MSS-LANDSAT só foi possível após a sua identificação nos produtos processados automaticamente.

Pelas suas características morfológicas, a estrutura de Engenheiro Correia é bem clara na imagem correspondente à primeira componente principal (Figura 4.27), tendo pouca expressão na segunda componente (Figura 4.28), onde apenas o seu núcleo apresenta certo contraste espectral, que, como já foi mencionado anteriormente, pode estar relacionado a diferenças litológicas. Por outro lado, na segunda componente principal merece destaque a feição ovalada realçada na porção centro-noroeste da imagem, além de um certo contraste na área da feição aproximadamente circular da porção sudoeste do Complexo de Bação, ambas já assinaladas anteriormente na Figura 4.13.

4.3.3 - SERRA DO CARAÇA - SINCLINAL GANDARELA - SERRA DAS CMBOTAS

Para esta região foram aplicadas as técnicas de "linear stretch" e filtragem digital, além das classificações pela média-K e MAXVER, estas duas últimas sem bons resultados. Os produtos obtidos para a Serra do Caraça correspondem aos canais 5 e 7 com "stretch" (Figuras 4.29 e 4.30), bem como uma composição colorida entre eles, com e sem "contrast stretch" (Figuras 4.31 e 4.32), além do canal 7 com filtro 3 e parâmetros (A=1, B=-2, C=28, D=-2) (Figura 4.33). Na junção Cambotas-Gandarela os produtos obtidos referem-se ao canal 7 com "linear stretch" e filtro 3 com os mesmos parâmetros empregados na área do Caraça (Figura 4.34), além de uma composição colorida entre os canais 5 e 7, ambos com "stretch" e o filtro aqui mencionado (Figura 4.35).

Para a região da Serra do Caraça-Sinclinal da Alegria, o "linear stretch" mostrou-se a técnica mais adequada, com grande definição das estruturas, como os falhamentos na Serra do Caraça e os lineamentos a oeste da serra, associados aos diques de diabásio, cujas extensões mostraram-se maiores que as definidas anteriormente. Embora mostrando uma tendência à saturação da imagem, a filtragem digital proporcionou um bom realce de lineamentos N-S, alguns dos quais apenas aqui identificados.

Os produtos obtidos para a região Cambotas-Gandarela evidenciaram claramente o limite entre elas e a grande discordância entre seus estilos estruturais. Favorecem também a delimitação das diferentes unidades ali presentes.

4.4 - FOTOGRAFIAS AÉREAS DA MISSÃO 96 DA NASA

A utilização de fotografias aéreas da Missão 96 restringiu-se unicamente à região da estrutura circular de Engenheiro Correia. Foi dada preferência para as fotografias Ektachrome IR Aerographic, tendo sido analisadas também as fotos Ektachrome MS Aerographic. Estas

Últimas também foram utilizadas para completar o reconhecimento da área, pois algumas fotos infravermelhas extraviaram-se.

A interpretação destas fotografias aéreas proporcionou a elaboração de um mapa fotogeológico utilizado como base para os trabalhos de campo na região. Ficou, nesta análise, bastante evidenciada a associação morfológica da feição.

As fotografias aéreas da Missão 96 não foram, neste trabalho empregadas no estudo de rochas ferríferas, pela limitação já apresentada por Liu et alii (1978), relativa à coincidência entre as regiões de maior sensibilidade do filme com a de maior reflectância para o ferro.

4.5 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS COM MAPAS E TRABALHOS PRÉVIOS

Os resultados das interpretações dos produtos de sensores remotos foram analisados à luz do vasto material bibliográfico existente sobre a região. Como principais aspectos têm-se:

- a) O lineamento ao longo do Rio Piracicaba está em parte presente no mapa de Amaral et alii (1976b), que assinalam a presença de uma "zona de falha" acompanhando os Rios Piracicaba e Doce, sem contudo estabelecer o traçado desta feição para sudoeste, além da região de João Montevade";
- b) A continuidade entre as rochas da Serra do Espinhaço e Quadrilátero Ferrífero pela Serra das Cambotas é também mencionada no trabalho de Amaral et alii (1976b), que indicam a presença de um extenso falhamento de empurrão, limitando a borda oeste e sul da unidade quartzítica;

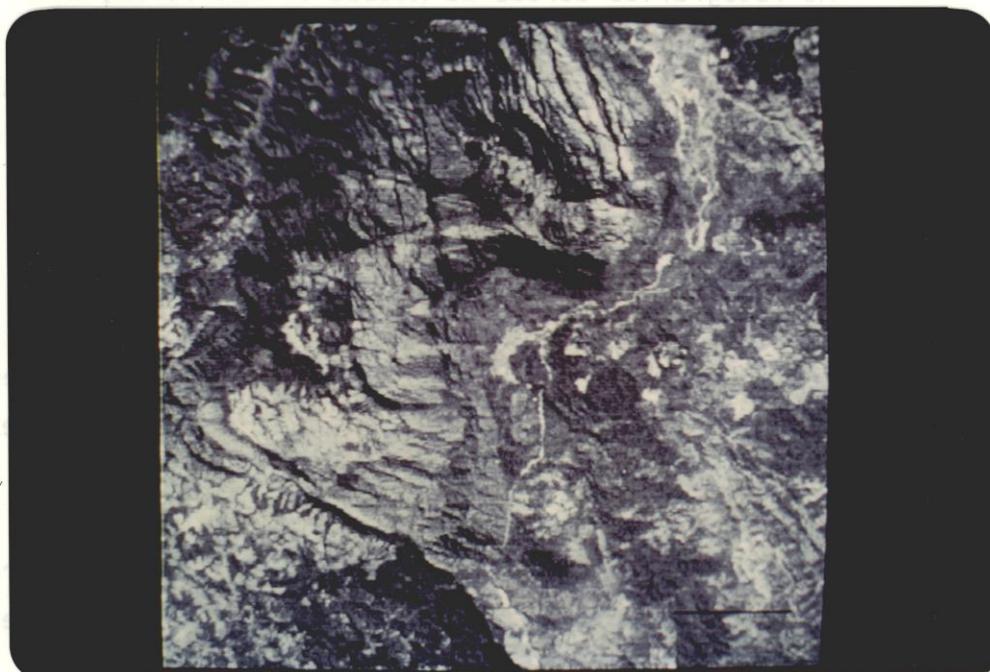


Fig. 4.29 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça.

- Canal 5 com "contrast stretch". Traço negro = 5 km.



Fig. 4.30 - Serra do Caraça e Sinclinal da Alegria.

- Canal 7 com "contrast stretch". Traço negro = 5 km.

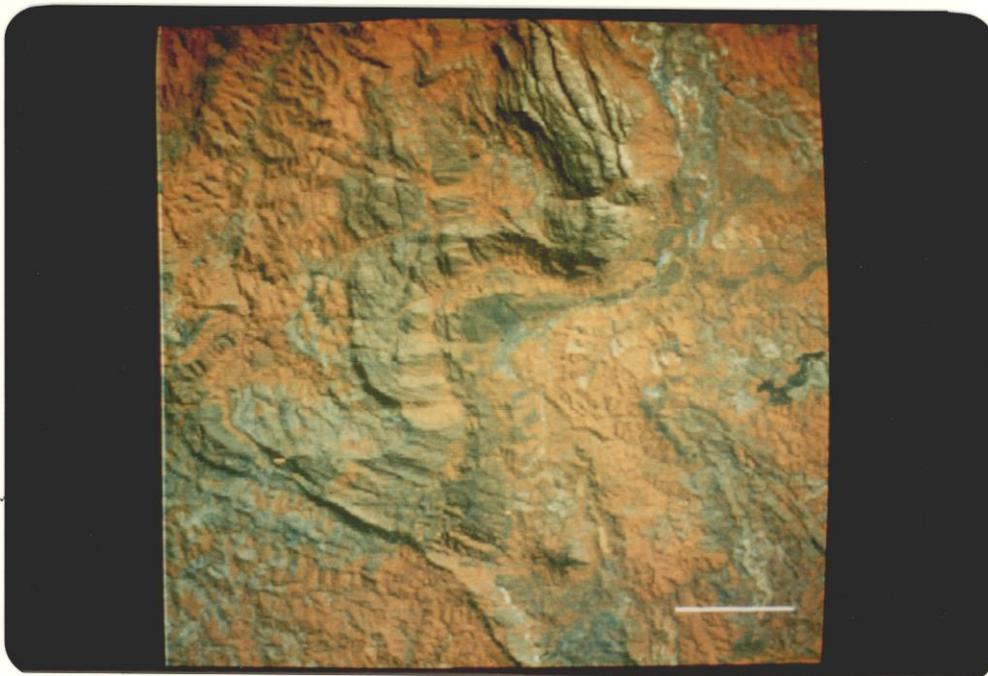


Fig. 4.31 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça.

- Composição colorida dos canais 5 e 7 originais. Traço branco = 5 km.



Fig. 4.32 - Sinclinal da Alegria e Serra do Caraça.

- Composição colorida dos canais 5 e 7, ambos com "contrast stretch". Traço negro = 5 km.



Fig. 4.33 - Serra do Caraça e Sinclinal da Alegria.

- Canal 7 com filtro 3 (isotrôpico) e parâmetros ($A=1$, $B=-2$, $C=28$, $D=-2$). Traço negro no canto inferior direito = 5 km.

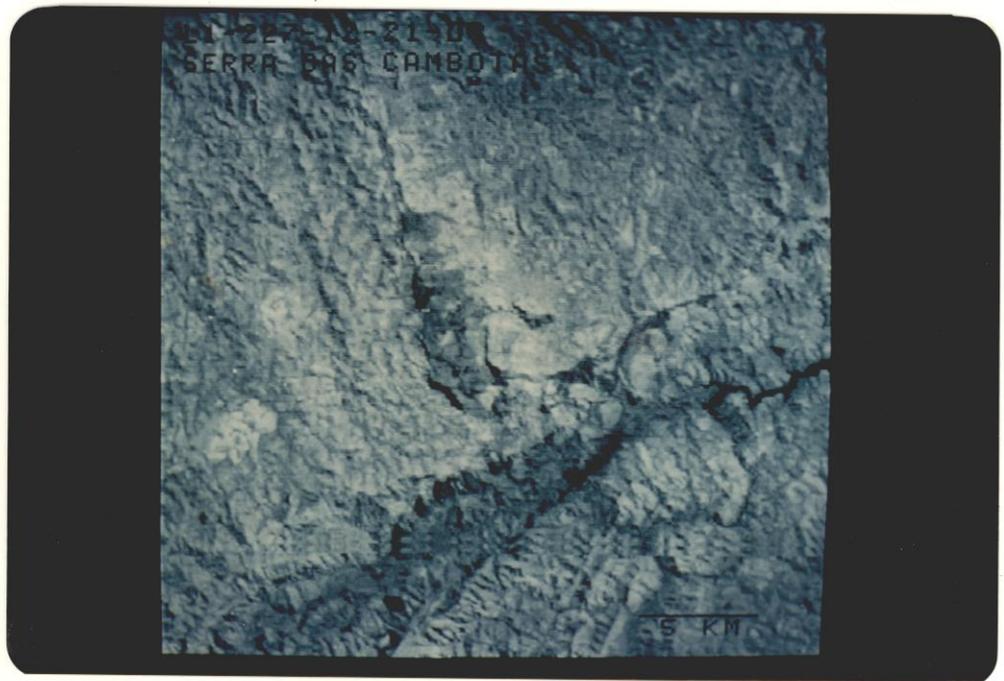


Fig. 4.34 - Junção entre a Serra das Cambotas (centro) e o Sinclinal Gandarela (faixa NE-SW, cortando a metade inferior da foto).

- Canal 7 com "contrast stretch" e filtro 3 (isotrópico) com parâmetros (A=1, B=-2, C=28 e D=-2).



Fig. 4.35 - Junção entre a Serra das Cambotas e o Sinclinal Gandarela.

- Composição colorida dos canais 5 e 7, ambos com "constrat stretch" e filtro 3 (isotrópico) com parâmetros (A=1, B=-2, C=28, D=-2). Canal 5 = verde + azul; canal 7 = vermelho.

SERRA DAS CAMBOTAS - SINCLINAL GANDARELA

- c) A extensão de alguns lineamentos delimitados na região imediatamente a oeste da Serra do Caraça é maior que a assinalada nos mapas geológicos da região (Moore, 1969; Maxwell, 1972; Dorr II, 1969). Alguns destes lineamentos não estão assinalados nos mapas existentes.
- d) No Sinclinal da Moeda, alguns dos falhamentos interpretados que truncam seu flanco oeste (Serra da Moeda) não foram assinalados nos mapas geológicos (Guild, 1957; Pomerene, 1964; Wallace, 1965).
- e) Nenhuma feição estrutural importante foi mapeada na parte interna do Complexo Bação, mesmo nos mapas geológicos em 1:25 000 (Guild, 1957; Johnson, 1962; Wallace, 1965; Dorr II, 1969). Apenas Herz et alii (1961) delimitam na porção centro-sul do complexo um corpo granodiorítico, o de Engenheiro Correia, sem qualquer menção à sua estruturação interna.

4.6 - TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram executados em duas fases distintas, conforme já exposto na Seção 2.2. Procurou-se também, durante o desenvolvimento destes trabalhos, a caracterização de feições delimitadas por interpretação visual e classificação automática que não encontraram durante a integração com mapas e dados bibliográficos informações suficientes para ser elucidadas.

Os principais resultados obtidos são expostos nas seções 4.6.1 a 4.6.4.

4.6.1 - SERRA DO CARAÇA - SINCLINAL GANDARELA - SERRA DAS CABBOTAS

A investigação de campo na região oeste da Serra do Caraça permitiu que se verificasse a continuidade dos lineamentos ali delineados além dos limites estabelecidos nos mapas geológicos disponíveis.

veis. Nos casos verificados foram encontrados diques de rochas bási
cas associadas a algum destes lineamentos, cuja extensão real em em
alguns casos, realmente maior que os anteriormente mapeados.

Para a junção Cambotas - Gandarela, não foi possível es
tabelecer no campo, ao nível de detalhe com que os trabalhos foram con
duzidos, a relação entre as estruturas de ambas as unidades, nem tam
pouco a relação entre a Falha do Fundão e o lineamento ao longo do Rio
Piracicaba.

Cortando a Serra das Cambotas no rumo de leste para oes
te, pela estrada Barão de Cocais-Caeté, pôde ser vista a intensa tec
tônica sofrida pelos quartzitos desta área, que também pôde ser perce
bida na estreita faixa de rochas atribuídas ao Supergrupo Rio das Ve
lhas situado no flanco oeste da serra.

4.6.2 - SINCLINAL DA MOEDA

Os trabalhos de campo nessa região permitiram a caracte
rização de alguns falhamentos interpretados, que não apresentam cor
respondência nos mapas disponíveis. Em termos qualitativos, os traços
de camadas e suas atitudes, interpretados em imagens MSS-LANDSAT, apre
senta total concordância com medidas no campo.

A estrada que corta a Serra da Moeda, rumo à cidade igual
mente denominada Moeda, foi levantada em detalhe, mostrando a validade
dos critérios empregados na fotointerpretação para a separação dos uni
dades do Supergrupo Minas. A região do contato entre este supergrupo
e rochas granito-gnáissicas foi observada cuidadosamente, mostrando ser
do tipo concordante.

4.6.3 - COMPLEXO DE BAÇÃO

No interior do Complexo de Bação o levantamento de campo
foi conduzido na sua porção centro-sudeste. Dentre as feições circu

lares ali presentes, a única que mostrou concordância com os dados obtidos por fotointerpretação foi a de Engenheiro Correia. Foram levantadas algumas seções geológico-estruturais detalhadas acompanhadas de uma coleta sistemática de amostras para petrografia.

As demais estruturas não puderam ser estudadas devido à escassez de afloramentos.

4.6.4 - SERRA DO OURO BRANCO

A sul-sudeste do Complexo de Bação foi realizada uma seção ao longo da estrada Ouro Branco-Ouro Preto, cortando a Serra do Ouro Branco. Puderam ser observados os contatos sul e norte desta serra, constituída por rochas duvidosamente atribuídas ao Grupo Tamanduã (segundo Dorr II, 1969), com rochas do Grupo Nova Lima. No contato norte da serra, com rochas do Grupo Nova Lima, não foram observados evidências diretas de falhamentos - de empurrão, segundo Johnson (1962) ou transcorrente, segundo Dorr II (1969). O que se observa no local é a presença de abundantes veios de quartzo e também diques máficos levemente foliados. Em termos estruturais há uma discordância de cerca de 20° (direção) entre as rochas dos grupos Tamanduã, orientadas segundo NNW e Nova Lima, orientadas segundo NE.

Na parte sul da serra verifica-se também uma discordância estrutural de cerca de 35° junto ao contato. Todavia, as rochas do Grupo Tamanduã tendem, rumo ao norte, a tornarem-se paralelas em relação ao Grupo Nova Lima. Aqui, neste contato, estão presentes também veios de quartzo com espessuras decimétricas.

Embora, como já foi dito, não ocorram evidências diretas de falhamentos, as situações observadas tanto ao norte como ao sul da serra apresentam bastante semelhança com outras situações de falhas de empurrão e inversas presentes em outras partes da área.

1. The first part of the document is a list of names and addresses.

2. The second part is a list of dates and times.

3. The third part is a list of names and addresses.

4. The fourth part is a list of names and addresses.

5. The fifth part is a list of names and addresses.

6. The sixth part is a list of names and addresses.

7. The seventh part is a list of names and addresses.

8. The eighth part is a list of names and addresses.

9. The ninth part is a list of names and addresses.

10. The tenth part is a list of names and addresses.

11. The eleventh part is a list of names and addresses.

12. The twelfth part is a list of names and addresses.

CAPÍTULO 5

PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são analisados em termos da sua contribuição ao conhecimento da geologia da área e do desempenho dos produtos de sensores remotos.

5.1 - CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA DA ÁREA

5.1.1 - COMPLEXO DE BAÇÃO

Os trabalhos desenvolvidos nesta região, incluindo duas etapas, permitiram a caracterização de uma grande estrutura circular na região de Engenheiro Correia. A primeira etapa, cujos resultados preliminares foram anteriormente relatados por Riccomini e Amaral (1980), já mostrava boa indicação da presença desta estrutura.

No mapeamento levado à cabo na região, procurou-se reconstituir os dobramentos com base nas estruturas mesoscópicas presentes nas rochas. Estas rochas constituem-se principalmente de gnaisses (migmatitos) com estrutura homogênea, foliação incipiente a moderada, ou gnaisses típicos, xistos, micaxistos e, mais restritamente, anfíbolitos.

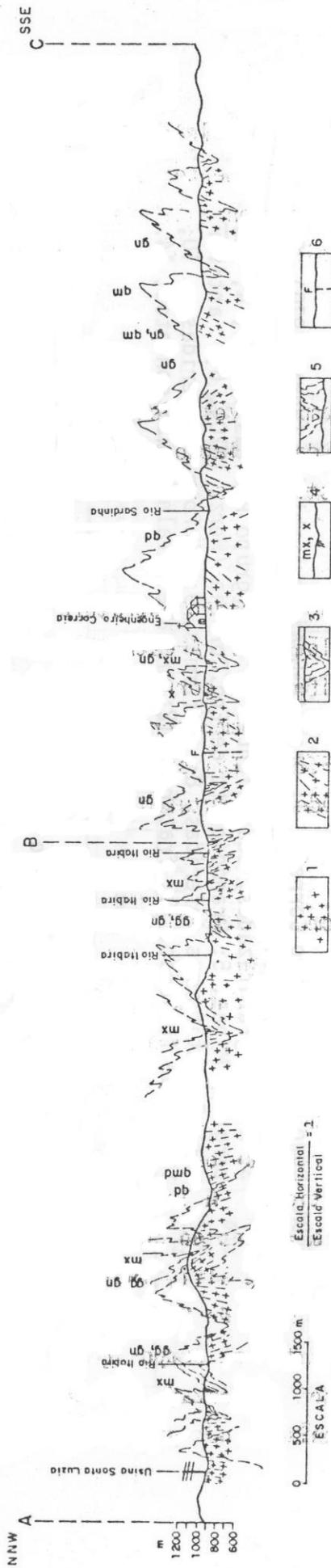
As rochas mais homogêneas, de aspecto granitóide, foram interpretadas como de um nível estrutural mais profundo e situadas em núcleos antiformais. Rochas de nível estrutural cada vez menos profundo corresponderiam sequencialmente aos gnaisses levemente foliados e gnaisses típicos, estes últimos provavelmente posicionados em calhas sinformais. Também as ocorrências de rochas xistosas ("roof pendants") estariam nesta última situação.

As seções elaboradas nestes princípios, como por exemplo aquela da Figura 5.1, mostram nítida associação relevo/estrutura. Os núcleos antiformais interpretados na área geralmente refletem-se em superfície como formas mais elevadas (provavelmente em virtude da homogeneidade das rochas ali contidas, mais resistentes ao intemperismo), ao passo que às rochas mais foliadas e xistosas associam-se relevos mais baixos e locais preferenciais para o entalhe da rede de drenagem.

As seções realizadas mostram por vezes sucessões litológicas semelhantes e variações nas atitudes da foliação metamórfica sugerindo um encurvamento dos eixos destas estruturas antiformais e sinformais.

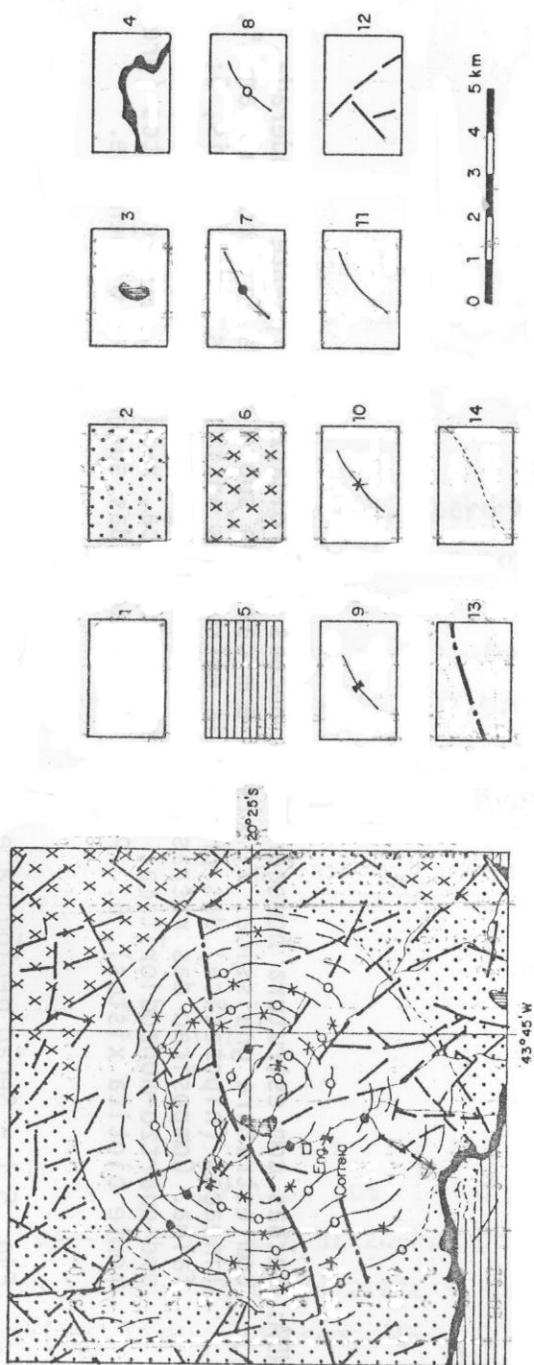
Assim, pôde ser interpretado o quadro estrutural local, com base em critérios geológicos e morfológicos. A estrutura constituiria um grande domo, onde os núcleos antiformais corresponderiam às feições elevadas curvilíneas, e as sinformais teriam correspondência com os vales igualmente encurvados (Figura 5.2). Tal situação é também possível de ser delineada com base nas atitudes estruturais tomadas no campo aliadas àquelas dos mapas disponíveis.

Em termos macroscópicos, como já foi dito, as rochas aqui presentes são predominantemente granitóides e gnaisses (migmatitos) e, subordinadamente, xistos e micaxistos (predominantemente biotita xistos). Sete amostras dos granitóides e gnaisses do interior da estrutura de Engenheiro Correia foram laminadas para caracterização petrográfica e em termos de composições modais. Composicionalmente variam de granitos a quartzo-dioritos, com termos intermediários grandioríticos, quartzo-monzoníticos e quartzo-monzodioríticos. A integração destas análises com aquelas da literatura sobre a região do complexo como um todo (Guild, 1957; Johnson, 1962; Guimarães et alii, 1967; Herz, 1970) (Tabela 5.1) - cerca de 30 - em diagramas QAP de Streckeisen (1973), permite a definição de quatro campos distintos de composição das rochas (Figuras 5.3, 5.4 e 5.5). A amostra 03 foi desprezada por tratar-se de uma intrusão de rocha de composição monzonítica nos granitos de Itabirito.



LEGENDA: Rochas com estrutura homogênea, 1; rochas com foliação incipiente a moderada, 2; rochas com estrutura gnáissica, 3; xistos e micaxistos sob a forma de "roof pendants", 4; de lineação (hipotética) das principais estruturas antifomais e sinformais, 5; provável falha. Composição das rochas: gg-granítica, gn-granodiorítica, gm-quartzo-manzonítica, qmd-quartzo-monzodiorítica, qd-quartzo-diorítica, x-xistos, mx-micaxistos (predominantemente biotita xistos), 6. Para a localização das seções ver o Apêndice.

Fig. 5.1 - Seção geológica esquemática da porção centro-sul do Complexo Bação.



LEGENDA: Domo de Engenheiro Correia, 1; Granito-Gnaiss Itabirito (Herz, 1970), 2; encraves correlacionados ao Supergrupo Rio das Velhas ("roof pendants"), 3; Xistos granitizados, equivalentes do Supergrupo Rio das Velhas, 4; Supergrupo Minas, 5; Granodiorito de Eng. Correia (Herz, 1970), 6; antiformas, 7; sinformas inferidas, 8; sinformas, 9; sinformas inferidas, 10; traços de foliação, 11; fraturas, 12; prováveis falhas, 13; contatos, 14.

Fig. 5.2 - Esboço geológico do Domo de Engenheiro Correia.

TABELA 5.1

COMPOSIÇÃO MODAL DE ALGUMAS ROCHAS DO COMPLEXO DE BAÇÃO (DADOS EM %)

Amostra	Quartzo	Feldspato potássico	Plagioclásio	Biotita	Muscovita	Epidoto, clinozoisita	Sericita	Clorita	Carbonato	Apatita, titanita	Opacos, zircão	Turmalina	Referências
10	28,0	17,6	50,4	1,2	0,8	11,2	...	0,8	...	...	...	...	2
11	28,4	34,2	26,2	7,2	1,2	12,6	...	...	...	0,2	...	...	2
12	20,0	28,4	40,8	5,2	0,8	14,0	...	0,8	...	...	...	...	2
48-G-12	25,1	11,7	53,5	5,8	3,9	...	...	...	...	...	...	...	1,3
BÇ-05	15-20	40-45	30-35	5-10	...	...	P	...	...	P	...	...	4
BÇ-07A	20	10-15	55-60	5	...	< 5	< 5	...	...	P	...	...	4
BÇ-07B	10-15	40-45	40	5	...	...	P	...	...	...	P	...	4
BÇ-011	15	...	75	5	...	< 5	< 5	...	...	P	...	...	4
BÇ-019	20-25	20-25	45	5-10	...	< 5	< 5	...	...	P	...	...	4
13	23,6	8,6	50,4	3,4	3,0	11,0	...	...	...	...	...	...	2
14	34,6	20,8	37,6	1,6	2,0	13,4	...	...	...	...	...	...	2
Ha-4	30,4	14,8	44,0	5,3	3,3	11,0	...	...	...	0,6	0,4	...	3
BÇ-028	15	15	65	5	...	...	P	...	...	P	...	...	4
BÇ-029	10-15	...	80-85	5	...	P	P	...	P	P	P	...	4
15	28,4	7,6	47,0	5,4	6,6	15,0	...	...	...	...	...	...	2
16	36,9	22,1	34,6	...	1,0	16,2	...	...	...	1,0	...	...	2
51-G-56	25,6	11,3	41,1	14,4	7,3	...	...	...	...	P	P	...	3
J-668	21	10	54	10	1	P	...	...	...	2P	P	...	1,3
J-37	26	10	47	10	3	3	...	...	...	P	...	...	1,3
J-76	26,0	6,1	56,0	11,5	...	P	...	...	...	P	P	...	1,3
Ha-3	27,2	27,8	35,5	3,7	3,8	1,4	...	0,5	...	...	...	...	3
J-1	34,0	9,4	50,0	5,6	P	P	...	...	...	...	P	P	1

(continua)

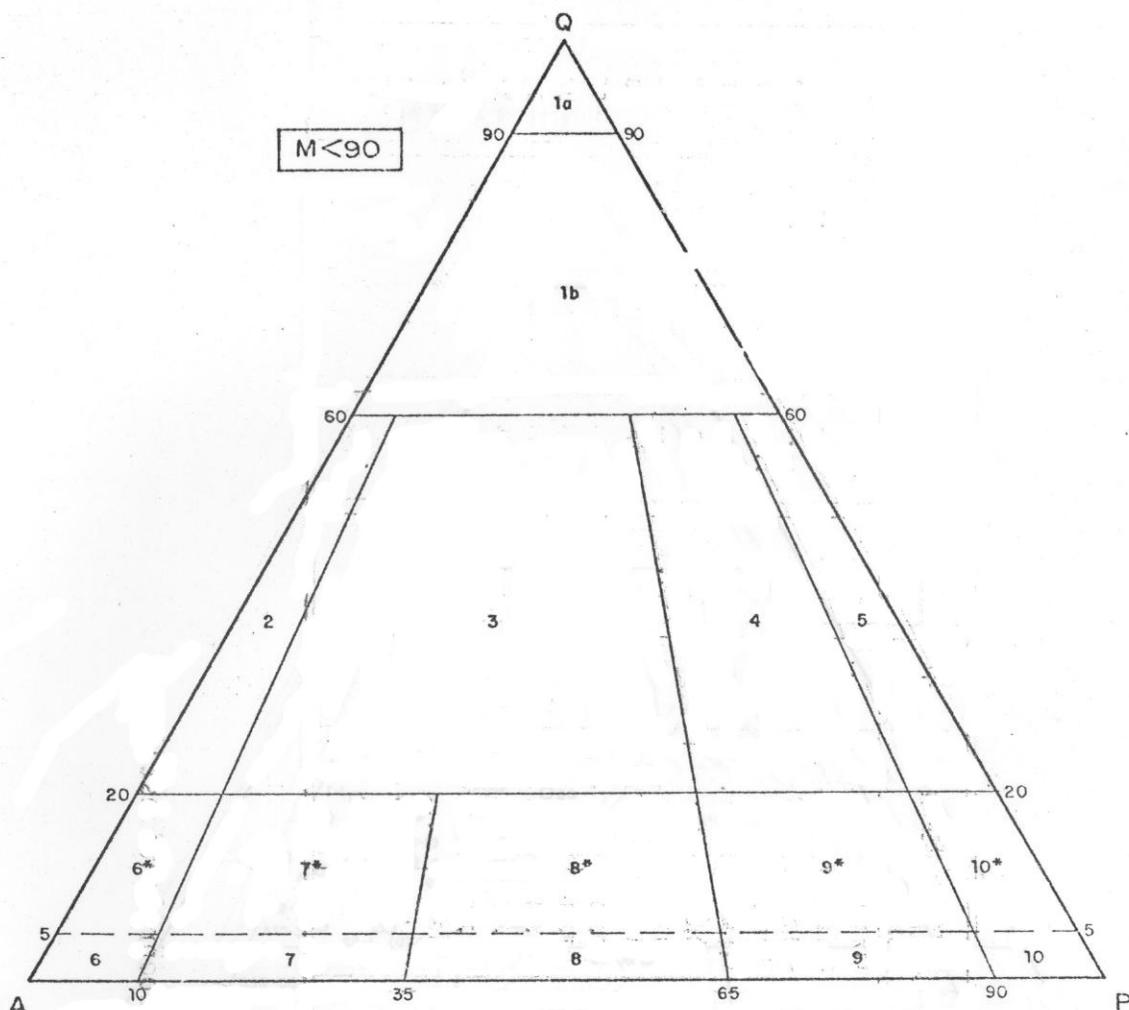
Tabela 5.1 -- Conclusão

Amostra	Quartzo	Feldspato potássico	Plágio-clásio	Biotita	Muscovita	Epídoto, clinozoisita	Serfictita	Clorita	Carbonato	Apatita, titanita	Opacos, zircão	Turmalina	Referências
4	36,9	...	26,8	6,6	9,9	17,2	...	...	...	2,6	...	...	2
5	28,0	5,6	31,2	6,8	16,4	11,2	...	0,4	...	...	0,4	...	2
6	28,4	5,2	19,6	13,2	13,6	18,4	...	...	...	...	1,6	...	2
7	41,2	5,0	23,8	9,6	10,8	19,6	...	...	...	...	...	...	2
8	23,2	21,8	28,8	4,4	4,4	11,4	...	...	...	...	...	...	2
9	42,6	5,0	17,0	11,4	15,0	18,8	...	...	...	0,2	...	...	2
Ha-5(L)	29	25	36	5	2,5	3	...	P	...	...	...	...	3
Ha-5(D)	25	12	35	8	...	4	...	...	...	P	...	...	3
1	28,8	35,8	25,6	2,0	2,8	15,0	...	...	...	...	...	...	2
2	27,7	36,3	30,5	2,9	1,5	11,1	...	...	...	...	...	...	2
3	...	45,2	39,0	4,4	2,0	19,4	...	...	...	...	...	...	2
Ha-2	30,1	37,4	22,3	3,7	4,4	1,8	...	0,3	...	...	P	...	3
Ha-28	22,2	20,0	33,0	9,0	7,5	7,8	...	P	0,5	2p	P	P	1,3
Ha-29	20	15,5	36	11	9	1,6	...	P	...	P	...	...	3
J-82	14	12	37	26	3,5	P	...	...	...	P	P	...	3
J-3	31,0	25,7	33,8	6,7	2,8	P	...	...	...	...	P	...	1

Obs: 1=inclui alantita; 2=inclui leucóxeno; P=presente.

Referências:

- 1 - Johnson (1962)
- 2 - Guimarães et alii (1967)
- 3 - Herz (1970)
- 4 - Análises efetuadas para o presente estudo



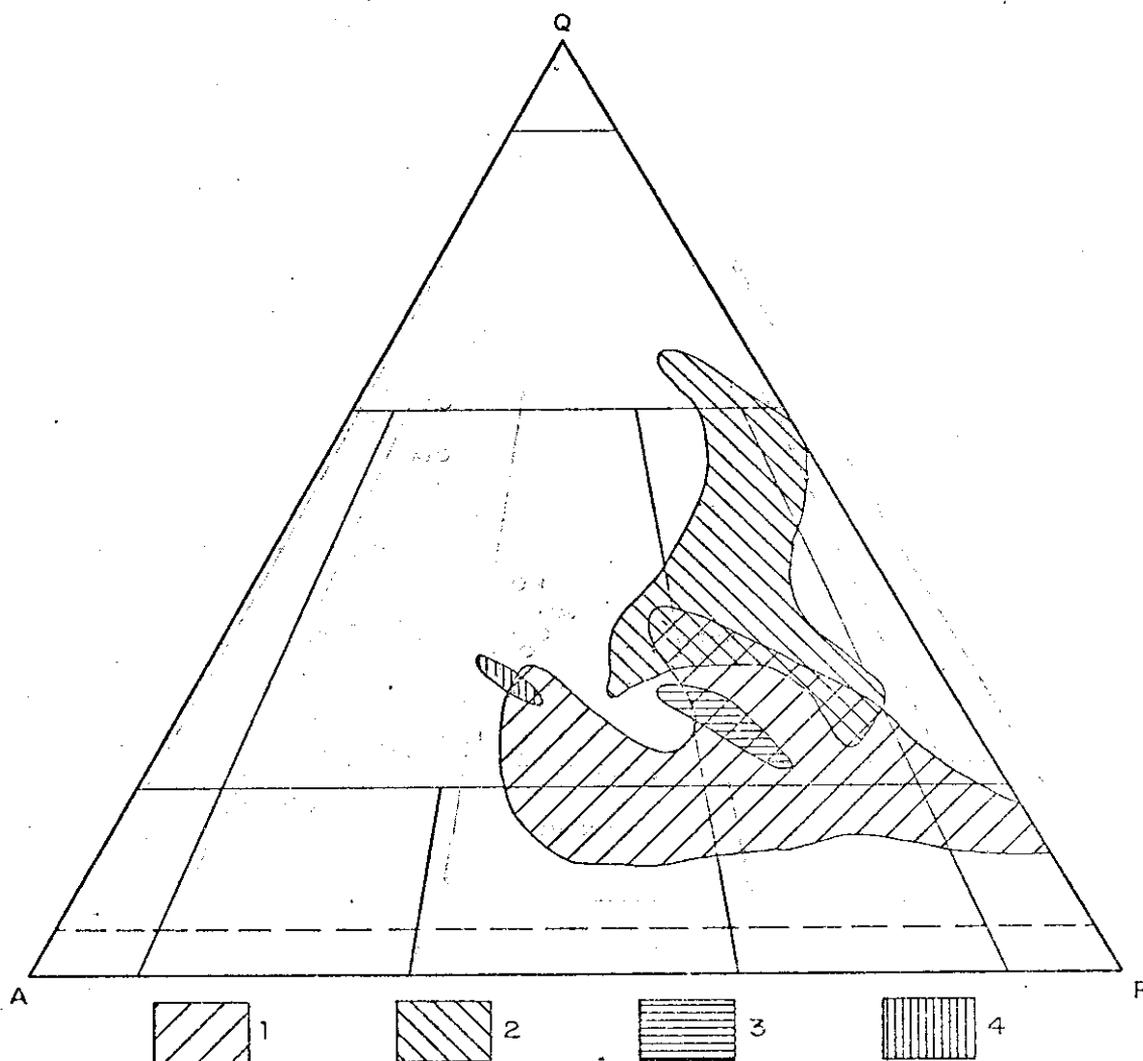
Minerais e grupos minerais: Q - quartzo; A - feldspato alcalino (ortoclásio, microclínio, pertita, anortoclásio, albita An_{00-05}); P - plagioclásio An_{05-100} , M - máficos e minerais relacionados (micas, anfíbois, piroxênios, olivinas, minerais opacos), acessórios (zircão, apatita, titanita, etc.), epidoto, alanita, granadas, melilitas, monticellita, carbonatos primários, etc.

$$Q + A + P = 100$$

Campos: 1a - quartzolito (silexito); 1b - granitoides ricos em quartzo; 2 - granitos com feldspatos alcalinos; 3 - granitos; 4 - granodiorito; 5 - tonalito; 6* - quartzo-sienito com feldspato alcalino; 7* - quartzo-sienito; 8* - quartzo-monzonito; 9* - quartzo-monzodiorito / quartzo-monzogabro; 10* - quartzo-diorito, quartzo-gabro, quartzo-anortosito; 6 - sienito com feldspato alcalino; 7 - sienito; 8 - monzonito; 9 - monzodiorito/monzogabro; 10 - diorito/gabro/anortosito.

Fig. 5.3 - Diagrama QAP.

FONTE: Streckeisen (1976), p.26.



LEGENDA: Rochas da parte interna da estrutura circular de Engenheiro Correia, 1; Granito Gnaissé Itabirito (Herz, 1970), 2; rochas da zona de contato entre o Complexo de Bação e rochas do Supergrupo Rio das Velhas, 3; gnaisses graníticos da cidade de Itabirito, 4.

Fig. 5.5 - Campos de variação composicional de rochas do Complexo de Bação.

O Apêndice é uma síntese dos principais dados utilizados neste estudo nas interpretações sobre o Complexo de Bação. Não estão incluídos nele os locais complementares de descrição de afloramentos.

Em termos de porção do Complexo de Bação que interessa ao estudo, as análises modais indicam um campo de composição que abrange granitos, granodioritos, quartzo-monzonitos, quartzo-monzodioritos e quartzo-dioritos, para as rochas situadas na parte interna da estrutura de Engenheiro Correia. Para a porção externa à estrutura, o que Herz (1970) denominou Granito Gnaiss Itabirito, a composição das rochas restringe-se principalmente ao campo do granodiorito, com pequenas variações para granito, tonalito e granitoides ricos em quartzo. Além disso, este segundo campo apresenta maior porcentagem de quartzo e principalmente biotita, podendo esta chegar e até mesmo ultrapassar os dez por cento do volume da rocha, sugerindo uma herança sedimentar nestas rochas.

Dessa forma, também em termos composicionais a estrutura de Engenheiro Correia é distinta das porções vizinhas. Pelas interpretações de Herz (1970), pode-se considerar esta feição associada à intrusão, de rochas por ele tidas como granodioríticas (embora nessas análises mostrem um campo de variação maior) em metassedimentos e metavulcânicas do Supergrupo Rio das Velhas, na porção centro-sul do Complexo de Bação. A partir dessa região, os efeitos da intrusão foram decrescendo, gradando para as rochas Rio das Velhas.

Não deve ser descartada a possibilidade de que estes domos (latu sensu) poderiam ter sido gerados por interferências de dobramentos.

Seguindo esta linha, estas estruturas corresponderiam a um padrão de interferência do tipo I de Ramsay (1967) ou padrão em domo e bacia. Este autor menciona que estruturas do tipo "mantled

gneiss domes" poderiam refletir este padrão de interferência. Entretanto, para o Quadrilátero Ferrífero esta hipótese parece pouco provável, pelas razões que se seguem:

- pensando no Complexo de Bação como um todo, o modelo de Ramsay seria viável, pois ter-se-iam domos e bacias, estas últimas correspondentes aos grandes sinclinais; por outro lado, considerando a estruturação interna do Complexo de Bação, ali estão ausentes as bacias;
- seria de se esperar que o arranjo desses domos, como fruto de interferência de dobramentos, apresentasse uma geometria peculiar e de certa forma regular, o que não se verifica no Quadrilátero Ferrífero;
- as massas granito-gnáissicas-migmatíticas da região comportaram-se, em parte, como "contrafortês" aos dobramentos, não refletindo, comumente, os padrões de dobramento das rochas metassedimentares e metavulcânicas vizinhas.

Dessa forma, parece mais seguro admitir processos reomórficos profundos, no sentido de Khain (1973), como responsáveis pela geração destas estruturas.

Geologicamente, a situação do Complexo de Bação apresenta similaridades com outras partes do mundo, como por exemplo os terrenos arqueanos russos, do Canadá, da Rodésia. Em particular para este último local, a semelhança já havia sido destacada por Dorr II (1969, p. A94). O arranjo estrutural local mostra grande concordância com os modelos dos domos gnáissicos propostos por Salop (1972). O Complexo de Bação corresponderia a uma estrutura do tipo "mantled gneiss dome" e a estrutura de Engenheiro Correia a um domo gnáissico na concepção deste tectonista russo.

5.1.2 - SINCLINAL DA MOEDA

Como já foi dito na Seção 4.6.2 foram caracterizados alguns falhamentos com componente transcorrente seccionando o flanco ocidental do sinclinal. Todavia, outro aspecto igualmente interessante é relativo à interface entre as rochas gnáissicas, neste mesmo flanco.

Com respeito a este contato, Wallace (1965), estudando a região o descreve como gradacional. Outros geólogos da equipe DNPM-USGS consideram que na superfície de contato existe um regolito pré-Minas (Wallace, 1965, p. F24).

Observações dessa zona de contato indicaram que ele é concordante. Tem-se na base da Formação Moeda um quartzito conglomerático que se torna cada vez mais feldspático, passando para um paragnaisse com o incremento em biotita. Na transição podem ser observadas estreitas faixas decimétricas de rochas essencialmente quartzosas, de aspecto milonítico, orientando-se paralelamente ao flanco da serra, com mergulhos subverticais. Cristais de quartzo azul se fazem presentes no quartzito conglomerático, na zona de transição e paragnaisse, que se mantém estruturalmente paralelo do quartzito. Esta última litologia, denominada "granito-gnaisse" por Wallace (1965) ocupa uma faixa paralela ao Quartzito Caraça, variando sua largura entre 0,4 e 2 Km. Tem seus limites assinalados no mapa de Herz (1970). A oeste desta faixa, com contatos não muito bem definíveis - apenas em alguns lugares lentes de quartzito de espessuras até decamétricas situam-se neste contato - ocorrem granodioritos porfiríticos, de aspecto ígneo intrusivo.

Por outro lado, o mapa de zonas metamórficas elaborado por Herz (1978) indica uma estreita e alongada faixa de ocorrência de cianita alojada ao longo da Serra da Moeda. Curiosamente, neste mesmo mapa, outras áreas de ocorrência extensa de cianita estão associadas à presença de falhamentos inversos ou de empurrão.

Considerando ainda um outro aspecto, relativo à ocorrência de uma "sequência de paragneisses" na base do Supergrupo Minas do Distrito de Itabira sem discordâncias com o supergrupo, mas em contato tectônico com rochas granito-gnaissicas (Schorscher e Guimarães, 1976), algumas especulações podem ser feitas acerca do contato entre rochas do Supergrupo Minas e aquelas situadas a oeste na Serra da Moeda.

Pode-se supor que os paragneisses transicionais para os quartzitos sejam equivalentes à "sequência de paragneisses" da região de Itabira, fazendo portanto parte do Supergrupo Minas. Os granodioritos porfiríticos podem portanto ser intrusivos nesta sequência Minas ou ter seu contato de alguma outra natureza, até mesmo tectônica. A hipótese de que os paragneisses pudessem constituir a base do Minas a oeste do Sinclinal Moeda encontrou a princípio suporte na passagem transicional para os quartzitos, e na presença de quartzo azul em toda esta sequência "basal". Mas, embora originalmente tivesse sido aventada a hipótese de que estes cristais de quartzo seriam anteriores a uma gnaissificação dessas rochas, fenômeno esse ocorrido apenas na parte da sequência sujeita a condições mais energéticas, esta idéia pode ser reformulada em função das discussões com Hasui (1983). Segundo esse pesquisador, a cor azul do quartzo pode ter sido gerada por deformações no retículo cristalino deste mineral, sob condições de "stress", condições estas que, ao que tudo indica, reinaram nesta área. No caso destes grãos de quartzo azul existirem previamente a uma gnaissificação não teriam sobrevivido a este fenômeno, pois o aumento de temperatura certamente reordenaria o retículo, com consequente alteração na cor do cristal.

Por outro lado, a existência de falhamentos inversos ou de empurrão nesta região não deve ser hipótese descartada. A presença abundante de cianita nos metassedimentos indica a existência de condições de "stress". Este mineral se desenvolve desde que haja componentes aluminosos nas rochas. Assim, poderia também ter-se desenvolvido na sequência de paragneisses caso houvesse condições para tal. Esse quadro sugere que caso existam falhamentos na região, estes devem es

tar alojados nas unidades do Minas típico (Caraça para cima) da Serra da Moeda (no flanco W), ou se constituírem na interface entre os paragneisses e os granodioritos porfiríticos. Por outro lado, não deve ter ocorrido qualquer evento de aquecimento significativo posterior aos falhamentos.

A importância desse quadro estrutural com possíveis falhamentos de empurrão e a presença de falhamentos com componentes horizontais cortando a Serra da Moeda está ligada à existência de veios de quartzo associados a estas estruturas, normalmente favoráveis como alvos de prospecção aurífera na região.

5.1.3 - SERRA DAS CABBOTAS-SINCLINAL GANDARELA-SERRA DO CARAÇA

A interpretação das imagens mostra que a associação estrutural entre o extenso Falhamento do Fundão e o Lineamento do Rio Piracicaba define uma grande estrutura em forma de cunha na porção leste do Quadrilátero Ferrífero. Teria a forma de um "V" deitado, com a abertura para leste. A parte frontal da estrutura seria o Falhamento do Fundão. A parte norte estaria condicionada pelo Lineamento do Rio Piracicaba e a parte sul pela extensão para sudeste do Falhamento do Fundão. Os flancos norte e sul apresentam um ângulo de aproximadamente 80° entre si, e na sua bissetriz, orientada aproximadamente segundo E-W, está localizado o campo de diques de diabásio da borda oeste da Serra do Caraça, além desta última.

A movimentação desta cunha é de leste para oeste, com componente transcorrente no flanco norte e de empurrão na parte frontal e para sudeste. Na bissetriz, os falhamentos de empurrão da Serra do Caraça (com direções submeridianas e mergulhos para leste) indicam terem sido originados por esforços de leste para oeste, cujas direções são paralelas à bissetriz da cunha.

Também pôde ser verificada a presença de vegetação densa capeando os locais de ocorrência das rochas básicas.

5.1.4 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

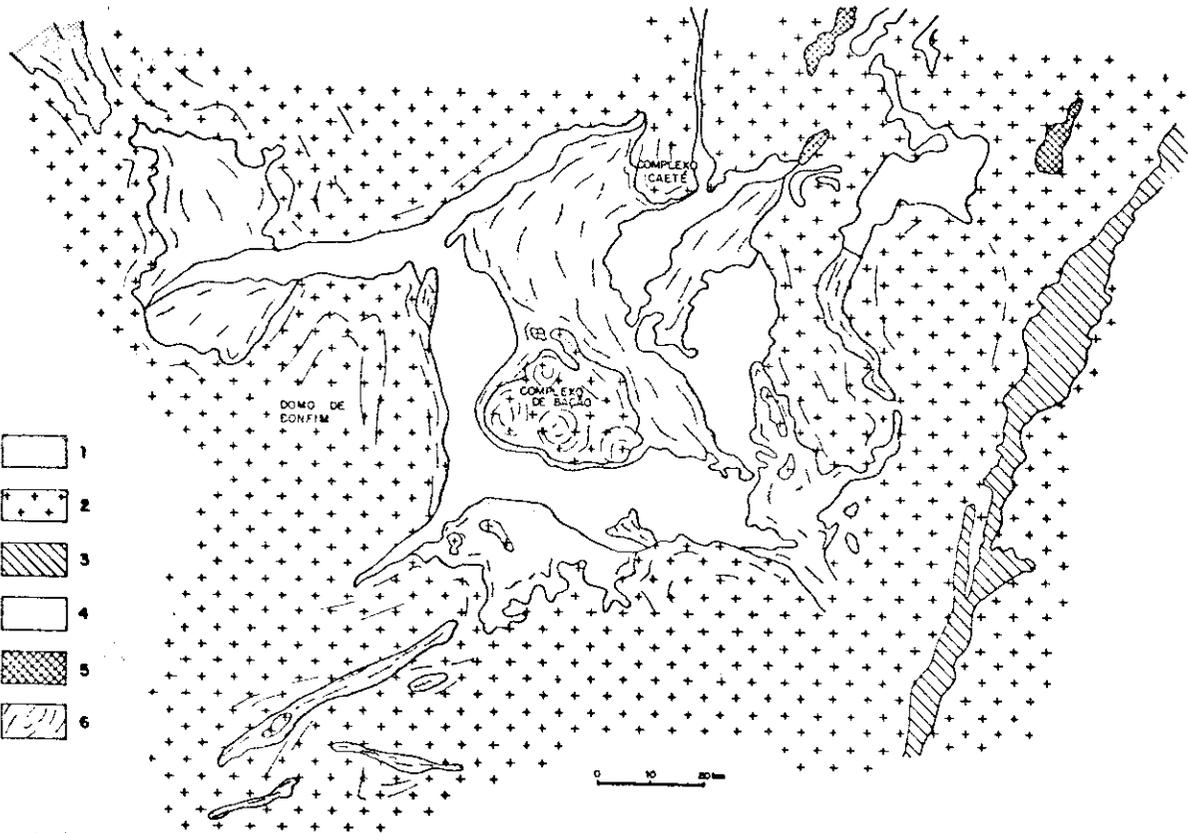
O quadro geológico obtido, sobretudo em termos dos terrenos granito-gnáissicos, mostra grande semelhança entre o Quadrilátero Ferrífero e outros terrenos arqueanos no mundo, de modo que parece cabível tecer algumas considerações a respeito.

Em linhas gerais, tem-se o Quadrilátero Ferrífero situado na borda meridional do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977), entidade tectônica surgida com o término do Ciclo Transamazônico e poupada pelo Ciclo Brasileiro, tendo neste atuado como antepaís dos geossinclinais dispostos às suas bordas. Este cráton, por sua vez, é o que restou de um mais antigo - o do Paramirim, de idade arqueana e consolidado ao final do evento Jequiê - retrabalhado no Ciclo Transamazônico (Almeida, 1979).

As rochas granito-gnáissicas dos grupos I e II (Herz, 1970) e o "greenstone belt" Rio das Velhas da região do Quadrilátero Ferrífero constituem parte do embasamento do Cráton do Paramirim. Apresentam um arranjo estrutural correspondente a domos gnáissicos (Domo de Engenheiro Correia) e domos gnáissicos orlados (Complexo de Bação, Domo de Bonfim, Complexo de Caeté) separados por vezes por sequências tipo cinturão de rochas verdes, com as quais apresentam contatos transitivos ou intrusivos.

Ao redor destas unidades do Quadrilátero Ferrífero dispõem-se rochas do Grupo Dom Silvério (metassedimentos), Formação Lafaiete (greenstone belt), Complexo Lavras (xistos, gnaisses, granulitos, migmatitos), e grande extensão de Pré-Cambriano indiferenciado (IPT, 1981).

O arranjo apresentado por estas unidades arqueanas do embasamento do Cráton do Paramirim parece configurar parte de uma grande estrutura do tipo das ovas gnáissicas dobradas (gneiss folded ovals) no sentido de Salop (1972) e Khain (1973), bastante semelhante àquelas do Escudo de Aldan e Cráton da Rodésia (Figura 5.6).



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

0 10 20 km

Fig. 1. Geological map of the area around the Domo de Confim, showing the distribution of the Caeté Complex, the Saguo Complex, and the Domo de Confim. The map includes a legend and a scale bar.

LEGENDA: "greenstone belts", 1; rochas granito-gnâissicas, 2; Grupo Dom Silvério, 3; unidades do Proterozóico, 4; rochas graníticas in trusivas, 5; traços de foliação, 6.

Fig. 5:6 - Distribuição generalizada das unidades arqueanas.

- (Mapa base modificado das Cartas Geológicas ao Milionésimo do DNPM-Folhas Rio de Janeiro e Belo Horizonte).

No contexto desta megaestrutura estariam incluídos terrenos granito-gnáissicos e o "greenstone belt" de Piuí, situados a oeste do Quadrilátero Ferrífero. Talvez ali estivesse incluído também o "greenstone belt" de Fortaleza de Minas a sudoeste da área. Todavia, uma melhor definição dos limites originais desta estrutura está prejudicada pelo recobrimento, em parte, por unidades mais jovens (Bambuí, p.ex., a noroeste e oeste) além do retrabalhamento metamórfico e tectônico de suas bordas. A aplicação de dados geofísicos pode vir a ser importante ferramenta para a reconstituição desta grande estrutura.

Estes tipos de estruturas expressam provavelmente o regime tectônico da região em tempos arqueanos.

As unidades do Proterozóico foram depositadas sobre o Cráton do Paramirim em condições de cobertura paraplataformal ou miogeosinclinal de moderada atividade tectônica, metamórfica e magmática (Almeida, 1979). É possível que a deposição destas unidades tenha se processado em regiões situadas mais para a borda sudeste do Cráton do Paramirim e que a posição por elas ocupadas atualmente seja ao menos em parte devida a um transporte tectônico, provavelmente relacionado à Tectogênese Brasileira das faixas de dobramentos vizinhas.

5.2 - PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

Com relação ao desempenho dos diferentes produtos de sensores remotos empregados neste trabalho, apresenta-se inicialmente uma análise resumida de cada produto individualmente (imagens MSS e RBV LANDSAT, imagens de radar e fotografias aéreas) procurando-se ao final compará-las como um todo.

5.2.1 - IMAGENS LANDSAT

São analisadas as cópias em papel e processamento automático das imagens MSS, além da análise visual das imagens RBV disponíveis.

5.2.1.1 - ANÁLISE VISUAL DE IMAGENS MSS-LANDSAT

Em termos da análise visual de imagens MSS-LANDSAT, já nos produtos de pequena escala (1:500 000) foi possível a definição de algumas estruturas e unidades fotogeológicas até agora não representadas mesmo nos mapas geológicos de maior detalhe, em 1:25 000, disponíveis para a região.

Esta análise visual, conduzida tomando como base as características de níveis de cinza e texturas das imagens, permitiu também a delimitação de grande parte das feições estruturais e unidades litológicas contidas nos mapas disponíveis.

De modo geral, as imagens LANDSAT em 1:500 000 demonstraram sua aplicabilidade para mapeamento geológico em nível compatível com sua escala. As composições coloridas não tiveram utilização ampla por não traduzirem em conjunto, no nível de análise visual, as informações contidas em cada canal individualmente.

A análise das imagens MSS-LANDSAT em 1:250 000, por sua vez, além de confirmar a delimitação das estruturas e unidades fotogeológicas obtidas por ocasião da interpretação das imagens em 1:250 000, possibilitou uma maior precisão no seu traçado.

A utilização do efeito estereoscópico por diferença de paralaxe¹ (área do Sinclinal da Moeda), em especial para as imagens MSS em 1:250 000, possibilitou um incremento ainda maior na precisão do traçado das feições anteriormente definidas, fornecendo novas informações, sobretudo estruturais, como escarpas, prováveis traços de cama

¹ Deve-se ressaltar que este efeito foi obtido com imagens adjacentes obtidas nos meses de março a agosto por serem as de melhor qualidade disponíveis à época da realização deste trabalho. Entretanto, para estas cenas, as variações tonais e texturais não foram tão significativas de modo a prejudicar a interpretação estereoscópica.

das (algumas com definição de mergulhos prováveis), que contribuíram para uma separabilidade ainda maior das unidades fotogeológicas e compreensão do comportamento de algumas estruturas.

Com relação à análise em termos de níveis de cinza, o canal 5 das imagens MSS-LANDSAT proporcionou os melhores resultados, mostrando com certa evidência as diferenças existentes, correspondentes às diferentes unidades fotogeológicas, estas por sua vez comprovadas como litológicas. Exceção é feita com relação a algumas rochas ultrabásicas e aos itabiritos da Formação Cauê, onde especialmente estes últimos apresentam melhor definição nos canais 6 e sobretudo no canal 7, pelas suas porcentagens elevadas em ferro, elemento este com forte absorção no infravermelho.

Por outro lado, o canal 7 foi o que permitiu uma melhor definição das estruturas da área. No domínio dos terrenos gnáissicos as imagens no canal 7 obtidas em março (menor ângulo de elevação solar) foram as mais favoráveis para a interpretação estrutural.

5.2.1.2 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DAS IMAGENS MSS-LANDSAT

As imagens MSS-LANDSAT processadas no analisador automático Image-100 constituíram-se no produto de maior valia no estudo realizado. Dentre os diferentes processamentos empregados destacam-se como de melhores resultados o "linear stretch", as filtragens digitais, as principais componentes e a classificação MAXVER.

O "linear stretch" promoveu em todos os casos um incremento no contraste espectral das cenas, possibilitando uma melhor diferenciação dos padrões nelas presentes. Quando aplicado em canais individuais e posteriormente efetuadas composições coloridas, estas se constituíram em importante ferramenta para a diferenciação sobretudo das diferentes unidades fotogeológicas.

As filtragens digitais também foram de grande valor, sobretudo no domínio dos terrenos granito-gnáissicos-migmatíticos, onde a separação em bases texturais (estruturais) é fundamental. Dentre os diferentes filtros empregados, o do tipo 3 (Paradella e Dutra, 1980) foi o que melhores resultados proporcionou para a análise deste tipo de terreno. Este filtro é vantajoso pois não introduz distorções direcionais que podem, em alguns casos, induzir o intérprete.

A técnica de realce pelas principais componentes apresentou também grande importância para a delimitação de feições estruturais (primeira componente principal) e em parte diferenças espectrais relacionadas a variações litológicas (segunda componente principal) na área do Complexo de Bação.

Finalmente, a classificação automática supervisionada MAXVER forneceu resultados excelentes para a porção norte do Sinclinal da Moeda, onde foi empregada. Possibilitou a definição, com boa precisão, das diferentes unidades litológicas ali presentes, comprovadas pela comparação com os mapas já existentes da área.

5.2.1.3 - IMAGENS RBV - LANDSAT

Embora as imagens RBV-LANDSAT: (1:250 000) de boa qualidade só fossem disponíveis para a região do Sinclinal da Moeda e adjacências, apresentaram grande poder de delimitação dos contatos fotogeológicos, pelo sua maior resolução.

Perdem algo em relação às imagens multiespectrais, obviamente por serem pancromáticas, mas, em contrapartida, proporcionaram uma melhor precisão no traçado dos contatos e estruturas. Algumas feições tipo escarpa, deslocamento de cristas, falhas, etc., puderam ser bem delimitadas nestas imagens, com precisão equivalente às imagens MSS-LANDSAT em 1:250 000 interpretadas estereoscopicamente.

A nitidez do traçado da malha viária da área urbana de Belo Horizonte evidencia o alto poder de resolução destas imagens.

5.2.2 - IMAGENS DE RADAR

Os mosaicos de radar de visada lateral de abertura sintética do Projeto RADAMBRASIL e os "strips" de radar de visada lateral, com abertura real da Missão 96 da NASA, tiveram sua aplicação quase que exclusivamente voltada para a interpretação estrutural da área, pelas suas limitações em análises litológicas.

A orientação das linhas de voo de ambos os produtos, segundo N-S, favoreceu sobremaneira a delimitação de feições estruturais paralelas a esta direção de voo, como nos casos das serras das Camboras e Caraça. Em alguns locais, entretanto, o intenso efeito de sombreamento e "layover" proibiram uma melhor interpretação estrutural.

Para algumas faixas existem rumos opostos de imageamento (Missão 96), permitindo que se avaliem as distorções advindas do efeito de sombreamento e, em parte, da compressão no "near range". Todavia, a existência de uma única direção de voo, segundo N-S, restringe em parte o uso das informações obtidas na fotointerpretação.

Em termos de discriminação litológica pouco foi conseguido com este tipo de imagem. Para este fim deve-se recorrer ao estudo da morfologia do terreno e seus padrões texturais uma vez que as imagens apresentam uma variação restrita em níveis de cinza. Todavia, algumas unidades fotogeológicas podem ser definidas com certa precisão, especialmente as formações quartzíticas, por suas propriedades provavelmente muito particulares (talvez rugosidade superficial) aparecendo com textura relativamente lisa.

Embora fosse de se esperar que as imagens de radar da NASA apresentassem uma maior variação em níveis de cinza, pelo maior cumprimento

mento de onda (teoricamente com maior interação com o terreno) em relação às imagens RADAMBRASIL, este fato não pôde ser constatado.

Para os "strips" de radar da NASA, a polarização cruzada (HV) mostrou-se levemente superior em termos da facilidade para extração de informações.

Já em relação ao tipo de abertura mais favorável, se real ou sintética, pouco pode ser dito. Embora os mosaicos RADAMBRASIL aparentemente forneçam melhores informações e resolução, este fato deve estar mais relacionado às correções geométricas presentes nestas imagens e também à sua maior escala, em relação ao caráter bruto dos "strips" da NASA. Para uma melhor comparação entre estes dois produtos talvez fosse necessária uma correção geométrica dos "strips" da NASA acompanhada de uma aplicação fotográfica.

5.2.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS DA MISSÃO 96 DA NASA

Não foi possível estabelecer maiores comparações entre as fotografias Ektachrone MS e IR Aerographic aqui utilizadas. Liu et alii (1978) já apresentaram algumas restrições ao emprego das fotos IR no estudo das rochas ferríferas, o que levou à sua utilização em outras áreas, mas com finalidades diferentes.

Para a porção centro-sul do Complexo de Bação, estas fotos mostraram, em conjunto, excelente aplicabilidade para estudos morfológicos. Quando disponíveis para uma mesma porção da área, as fotografias IR mostraram-se pouco superiores às fotografias MS, em termos do objetivo a que se destinaram, mas isto não se constituiu em regra geral.

Em termos de qualidade, quando comparadas com as fotografias pancromáticas em B&P, tomando aqui como base os mapas geológicos em 1:25 000 disponíveis (em parte obtidos a partir da interpretação destas fotos), as fotografias MS e IR mostram-se bastante superiores, por serem coloridas, transparentes e operarem em uma nova faixa do es

pectro (IR), proporcionando uma melhoria no nível de traçado dos contatos fotogeológicos (litológicos) e definição estrutural.

5.2.4 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em síntese, verificou-se uma melhoria no nível de informações obtidas à medida que se avança para produtos de maior escala, alados a uma maior disponibilidade em termos de diferentes sistemas sensores.

Já ao nível da escala 1:500 000 a interpretação visual das imagens MSS-LANDSAT, em diversos canais, proporcionou um volume de informações, para fins de mapeamento geológico, compatível com suas escalas de apresentação.

Para um nível intermediário, têm-se as imagens MSS e RBV-LANDSAT, em 1:250 000, mosaicos RADAMBRASIL em 1:250 000 e "strips" de radar da Missão 96 da NASA em 1:360 000. Verifica-se aqui, pela interpretação das imagens MSS-LANDSAT, não só uma confirmação dos dados obtidos no nível anterior, mas também um incremento no nível de informações e precisão de traçado das feições. As imagens RBV-LANDSAT também contribuem em termos de precisão de traçados, pela sua maior resolução. Os mosaicos RADAMBRASIL e "strips" da NASA, por sua vez, complementaram as interpretações - essencialmente as estruturais - adivindas das imagens LANDSAT. A integração destes dados possibilita a confecção de mapas compatíveis com a escala 1:250 000.

Em um nível de maior detalhe, as imagens MSS-LANDSAT processadas automaticamente forneceram ainda novas informações e promoveram um refinamento excelente daquelas anteriormente obtidas.

As fotografias aéreas MS e IR, que representam o produto de maior detalhe aqui empregado, proporcionaram informações fundamentais para a comprovação dos dados obtidos nos níveis anteriores, além de fornecerem novos subsídios compatíveis com sua escala.



CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Várias considerações já foram expostas nos capítulos precedentes de modo que aqui procurar-se-á evitar, na medida do possível, repetições.

Voltando aos objetivos inicialmente propostos na Seção 1.3, a reavaliação dos dados geológicos disponíveis foi relativamente ampla, abrangendo a quase totalidade da bibliografia essencial sobre a região. A análise destas informações à luz dos dados fornecidos pelos produtos de sensores remotos confirmou grande parte dos conhecimentos prévios, além de permitir a identificação de um grande número de feições, sobretudo estruturais, não representadas mesmo nos mapas geológicos de maior detalhe disponíveis para a área, em 1:25 000. Dentre estas estruturas, destacam-se a grande feição circular dômica correspondente ao Domo de Engenheiro Correia, parte do lineamento ao longo do Rio Piracicaba e falhamentos que truncam a Serra da Moeda. Além disso, foram identificados outros lineamentos (em parte falhamentos) e algumas feições circulares e elípticas, cujas relações com estruturas no terreno necessitam ainda de trabalhos de campo para serem esclarecidas.

A definição destas novas feições na região contribuiu para a compreensão do arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero, demonstrando assim a importância dos produtos de sensores remotos para estudos dessa natureza.

A análise integrada entre os produtos de sensores remotos e a literatura disponível mostrou que os trabalhos de mapeamento geológico desenvolvido pela equipe DNPM-USGS, somados àqueles executados mais ao norte do Quadrilátero Ferrífero por pesquisadores alemães, definem quase que integralmente o quadro geológico regional. Todavia, alguns problemas ainda estão abertos e por serem estudados. Alguns destes pro

blemas podem, realmente, ser solucionados sem que novos trabalhos de mapeamento detalhado sejam efetuados, ou seja, pela reinterpretação dos dados preexistentes. Tal é o caso de parte das sequências metassedimentares e metavulcânicas proterozóicas. Por outro lado, em termos dos terrenos granito-gnáissicos tornam-se necessários novos trabalhos de mapeamento geológico para uma melhor compreensão destes.

Com relação a estes terrenos granito-gnáissicos, a análise integrada de dados de sensores remotos, mapeamento, estruturais e petrográficos, possibilitou a definição de feições circulares ou elípticas, pelo menos em parte dômicas, o que oferece um novo caminho para a investigação deste tipo de terreno na região.

No tocante às sequências proterozóicas, divergências existem muitas vezes em relação às interpretações de unidades litológicas bem reconhecidas. Comparem-se, por exemplo, as quadrículas vizinhas de Dom Bosco/Ouro Branco ou Ouro Preto/Santa Rita de Ouro Preto, mapeadas por diferentes geólogos da equipe DNPM-USGS e a compilação delas efetuada por Dorr II (1969) ou as quadrículas de Monlevade e Rio Piracicaba, nas quais mapas geológicos apresentam sinclinais com um empilhamento estratigráfico, em ordem normal, onde rochas de grau metamórfico mais elevado estão situadas sobre rochas de grau mais baixo. Outra questão é a referente ao Grupo Tamanduá e suas diferentes formações, cujos argumentos apresentados por Schorscher (1979a, 1980) parecem convincentes o bastante para o abandono do termo.

A correlação entre os quartzitos da Serra do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero é também uma questão bastante controvertida. Várias idéias têm sido expostas, acreditando alguns autores que esta correlação se faz pelo Grupo Itacolomi. Outros, em especial da escola alemã, acreditam que esta correlação se faz através do Supergrupo Minas. Os argumentos para ambas hipóteses são fortes, tornando-se necessário o desenvolvimento de estudos específicos para esclarecer o problema. A área-chave para tal fim é, provavelmente, a junção entre a Serra das Cam

botas e o Sinclinal Gandarela, onde os produtos de sensores remotos mostram quartzitos em continuidade física com aqueles do Espinhaço conectando-se com rochas do Supergrupo Minas.

Conforme já exposto na Seção 5.2, os produtos de sensores remotos demonstraram sua aplicabilidade na análise litológico-estrutural da área, notando-se um incremento no nível de informações à medida que se avança para produtos em escalas sucessivamente maiores aliado a uma maior diversidade em termos de diferentes sistemas sensores e suas faixas de operação.

Em termos da aplicabilidade dos dados obtidos na prospecção de recursos minerais na região, de mais significativo tem-se a delimitação de novos falhamentos truncando a borda oeste do Sinclinal da Moeda (Serra da Moeda). Estas estruturas apresentam grande importância, uma vez que a outras semelhantes estão associados veios de quartzo, localmente auríferos. Este tipo de estrutura pode, portanto, constituir-se em importante prospecto para este metal na região. Cabe destacar aqui também a relativa facilidade com que podem ser delimitadas as áreas de ocorrência de rochas ferríferas e, em alguns casos, as rochas ultrabásicas, estas últimas também importantes em termos de mineralizações na área.

Todavia, de forma mais indireta, a análise dos produtos de sensores remotos em termos geomorfológicos pode fornecer importantes subsídios na prospecção de depósitos de enriquecimento supérgeno, associados aos diferentes níveis de erosão da área. A metodologia empregada pelo IPT (1981), para a divisão geomorfológica da região, representou um primeiro passo, que poderia ser aprimorado com a análise de produtos de maior detalhe, sobretudo as fotografias Ektachrome IR e MS Aerographic, o que favoreceria a delimitação dos conjuntos menores das formas do relevo.

O conjunto de feições estruturais aqui delineados pode também ter um bom emprego quando analisadas sob o ponto de vista dos mo

delos metalogenéticos. Contribuiria também na elaboração de mapas me talogenéticos e previsionais.

A metodologia empregada mostrou-se satisfatória para a análise desta área em particular. Entretanto, poderia ser seguida ten tativamente para terrenos semelhantes, na dependência da disponibili dade de diferentes produtos de sensores remotos e acompanhada de um es tudo das características dos materiais superficiais presentes nestas novas áreas, estudo esse indispensável para nortear a extração de in formações.

A análise integrada dos dados geológicos com os produtos de sensoriamento remoto mostrou que, para uma área geologicamente bem conhecida como o Quadrilátero Ferrífero, constitui-se em importante ele mento de reavaliação, fornecendo novas informações que dificilmente se riam obtidas ao nível de técnicas usuais de investigação. Para áreas menos conhecidas, esta metodologia adquire importância na otimização da aquisição de conhecimentos, pois pode produzir bons resultados, com custos baixos em relação aos levantamentos convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M de Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. *Resumos. Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, p. 201-202.*
- O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1979. *Resumo. Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, 1979.*
- O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências, 7(4):439-464, 1977.*
- ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. *Atas Campina Grande, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Nordeste, 1977, p. 363-391.*
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de. The Upper Precambrian of South America. *Boletim do Instituto de Geociências da USP, 7:45-80, 1976.*
- ALMEIDA E SOUZA, J.B.; MARTINS Jr., P.P. *Missão 110 - SEREMINAS, ÁREA 803 - Itabira. Relatório de Trabalhos de Campo. São José dos Campos, INPE, 1972. 15p.*
- ALVES DE LIMA, J.O.; FERREIRA, C.M.; SCHMIDT, J.C. *Relatório do Mapeamento do Setor G da Geotransversal E-W. Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Escola Federal de Minas de Ouro Preto. Ouro Preto, EFMOP, 1975.*
- AMARAL, G. *Sensores remotos II. Notas de aula dadas no Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1. período 1979. Manuscrito.*
- *Sensores remotos, aplicações em Geociências, São Paulo. Instituto de Geociências da USP, 1975. 114p. Apostila.*
- AMARAL, G.; MATTOS, J.T.; ALMEIDA FILHO, R.; CUNHA, R.P.; PARADELLA, W. R. Carta geológica ao milionésimo da folha de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, 1976. *Anais. Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976b, V.4, p.229-238.*

- AMARAL, G.; MATTOS, J.T.; ALMEIDA FILHO, R.; CUNHA, R.P.; PARADELLA, W. R. *Relatório de trabalho de campo. Folha Belo Horizonte*. São José dos Campos, INPE, 1975a. 176p. (INPE-722-RVi/002).
- *Relatório de trabalho de campo. Folha Belo Horizonte*. São José dos Campos, INPE, 1975b. 50p. (INPE-738-RVi/004).
- *Relatório de trabalho de campo. Folha Belo Horizonte*. São José dos Campos, INPE, 1976a. 25 p. (INPE-847-RVi/010).
- BARBOSA, A.L.M. Variação de fácies na Série Minas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1., Diamantina, 1979. *Anais*. Diamantina, 1979. p.89-99.
- BARBOSA, G.V. Superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 10(1):89-101, 1980.
- BARBOSA, O. Évolution du Géosynclinal Espinhaço. In: CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL, 19. Alger. 1952. *Comptes Rendus*, Alger, 1954, Section 13, Fascicule 14, p. 17-36.
- BESANG, C.; EBERLE, W.G.; LAHNER, L.; LENZ, H.; MOLLAT, H.; MUELLER, P.; PAULSEN, S. Radiométrische Altersbestimmungen an Gesteinen, aus Minas Gerais, und Espírito Santo/Brasilien. *Geologisches Jahrbuch*, Reihe B (24):149-179, 1977.
- CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W.L.; ALMEIDA, M.A. de. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1000.000*. São Paulo, IPT, 1981. (Monografia IPT nº 5).
- CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; MULLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V.; ROESER, H. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento no bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(4):784-785, 1976.
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W. Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). *Carta Geológica do Brasil do milionésimo. Folhas Rio de Janeiro (SF.23), Vitória (SF.24) e Iguape (SG.23)*. Brasília, 1979, p.175-207.

- COSTA, M.T. da. Sedimentação e orogênese da Série de Minas. In: SEMANA DE INTERCÂMBIO CULTURAL E ESTUDOS GEOLÓGICOS, 1., Ouro Preto, 1961. Atas. Ouro Preto, SICEG, 1961, p.55-61.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). *Carta Geológica do Brasil ao milionésimo. Folha Belo Horizonte (SE.23)*. Brasília, 1978. Mapa.
- *Carta Geológica do Brasil do Milionésimo. Folhas Rio de Janeiro (SF.23), Vitória (SF.24) e Iguape (SG.23)*. Brasília, 1979. 240p.
- *Mapa de isocôntas de intensidade magnética total, escala 1:1000.000*. Brasília, 1974.
- *Mapas e informações sobre levantamentos aerogeofísicos executados para o DNPM*. Brasília, 1976. 38p. (Geologia nº 1, Seção Geofísica nº 1).
- DERBY, O.A. Contribuição para o estudo da geologia do Valle do São Francisco. *Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro*, 4:87-119, 1881.
- The Serra do Espinhaço, Brasil. *Journal of Geology*. 14(5): 374-401, 1906.
- DORR II, J.V.N. The Cauê Itabirite. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):61-62, 1958a.
- The Gandarela Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):63-64, 1958b.
- Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geological Survey Professional Paper*, (641-A), 1969. p. 110.
- Stratigraphy. In: AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (AGI). *Outline of the Geology of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Guide Book of the International Field Institute, Brazil, 1966. Washington, DC, 1966, p. IV-2 - IV-5.
- DORR II, J.V.N.; BARBOSA, A.L.M. Geology and Ore Deposits of the Itabira District Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey Professional Paper*, (341-C), 1963. 110 p.

- DORR II, J.V.N.; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B.; RYNEARSON, G.A. Revisão da estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero. *Avulso. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Departamento Nacional da Produção Mineral*, (81), 1957. 31p.
- DORR II, J.V.N.; HERZ, N.; BARBOSA, A.L.M.; SIMMONS, G.C. *Esboço Geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, Brasil.*, Rio de Janeiro, DNPM, 1961, 120 p. (Publicação Especial, nº 1).
- DUTRA, L.V. *Aplicações de filtros bidimensionais curtos em imagens digitais.* São José dos Campos, 1980. Comunicação pessoal a C. Ricconi, 1980.
- GAIR, J.E. The Sabará Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):68-69, 1958.
- Geology and Ore Deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-A), 1962. 67p.
- GENERAL ELECTRIC (GE). *Image-100, user manual.* Daytona Beach, FL, 1975.
- GORCEIX, H. Bacias terciárias de água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarella e Fonseca), Minas Gerais, Brasil. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto*, 3:95-114, 1884.
- GRANT, T.A.; CLUFF, L.S. Radar Imagery in defining regional tectonic structure. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 4:123-146, 1976.
- GUILD, P.W. Geology and Mineral Resources of the Congonhas District, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (290), 1957. 90 p.
- GUIMARÃES, D. Genese do Diamante. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2:75-86, 1930.
- GUIMARÃES, D.; MELO, S.M.G.; VAZ DE MELO, E. O Complexo de Bacão. *Boletim do Instituto de Geologia, Escola Federal de Minas de Ouro Preto*, 2(1):1-12, 1967.

- HACKMAN, R.J. Time, shadows, terrain and photointerpretation. *Geological Survey, Professional Paper*, (575-B):B155-B160, 1967.
- HARDER, E.C.; CHAMBERLIN, R.T. The Geology of Central Minas Gerais, Brasil. *Journal of Geology*, 23(4):341-378; 23(5):385-424, 1915.
- HASUY, Y. *Comentários sobre a dissertação de mestrado de Claudio Riccomini*. São José dos Campos, 1983. Comunicação pessoal a C. Riccomini, 1983.
- HEDBERG, H.D., ed. *Guia estratigrafica Internacional*. Barcelona, Reverté, 205 p., 1980.
- HIRSON, J. da R. Algumas observações sobre o quartzito do Grupo Caraca. *Avulso. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Departamento Nacional da Produção Mineral*, (86):63-80, 1964.
- Contribuição para o estudo geológico do Grupo Tamanduã da Série Rio das Velhas (Minas Gerais, Brasil). *Lisboa, Estudos, Ensaios e Documentos, Junta de Investigações do Ultramar*, (122), 1967. 123p.
- HERZ, N. Gneissic and Igneous Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (641-B), 1970. 58p.
- Metamorphic Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geological Survey, Professional Paper*, (641-C), 1978. 81p.
- HERZ, N.; HURLEY, P.M.; PINSON, W.A.; FAIRBAIRN, H.W. Age Measurements from a part of the Brazilian Shield. *Bulletin of the Geological Society of America*, 72(7):1111-1120, 1961.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Curso de treinamento: Introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações*. São José dos Campos, INPE, ago. 1980. 318p. (INPE-1869-MD/004).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Geologia, Tectônica e Sismologia regionais de interesse as usinas nucleares da praia de Itaorna*, São Paulo, 1981. (Relatório 15211).

- JOHNSON, R.F. Geology and Ore Deposits of the Cachoeira do Campo, Dom Bosco and Ouro Branco Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-B), 1962. 39p.
- KHAIN, V. Ye. *Obshtchaya Geotektonika*. Moskva, Nedra, 1973.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147-265, 1956.
- KNEIDL, V.; SCHORSCHER, H.D. Faziesuebergaenge der Minas - Serie im Raum zwischen Itabira und Altamira (Minas Gerais, Brasilien). *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaentologie*, 4:224-235, 1972.
- KODAK. *Kodak aerial films and photographic plates*. Rochester, NY., 1972. 28p. (Properties of Kodak materials for aerial photographic systems).
- LACOURT, F. Resumo da Geologia da Folha de Ouro Preto. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto*, 28:103-139, 1947.
- LADEIRA, E.A. Primeiras lavas com almofadas "pillows" encontradas no Supergrupo Rio das Velhas de idade arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, Minas Gerais. *Ciências da Terra*, (1):12-14, 1981
- LIU, C.C.; MENESES, P.R.; PARADELLA, W.R. Sensoriamento Remoto no Quadrilátero Ferrífero: uma avaliação de dados de diferentes tipos de sensores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, 1978. *Resumos*. São José dos Campos, INPE, 1978, p.II. a.9.
- MAC DONALD, H.C.; KIRK, J.N.; DELWIG, L.F.; LEWIS, A.J. The influence of radar look-direction on the detection of selected geological features. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, MI, 1969. *Proceedings*. Ann Arbor, The University of Michigan, 1969, p. 637-650.
- MAC DOWWALL, J.; NODWELL, B.H. *Study of sensors for earth resources satellites and airborne remote sensing*. Centre for Applied Research and Engineering, Design, 178p. 1971.

- MATHESON, A.F. The St. John Del Rey Mining Company, Limited, Minas Gerais, Brazil, History, Geology and Mineral Resources. *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, 49(525:37-43, 1956.
- MAXWELL, C.H. Geology and ore Deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-J), 1972. 72p.
- The Batatal Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):60-61, 1958.
- MOORE, S.L. Geology and Ore Deposits of the Antonio dos Santos, Gongo Sôco and Conceição do Rio Acima. Quadrangles, Minas Gerais, Brasil, *Geological Survey, Professional Paper*, (341-1), 1969. 50p.
- MORAES, L.J. de; GUIMARÃES, D. Geologia da Região Diamantifera do norte de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 3:153-186, 1930.
- NASA. *LANDSAT data users handbook*. Greenbelt, MD, Goddard Space Flight Center, 1976.
- *Mission summary report, Mission 96*. Earth Resources Aircraft Program, Manned Spacecraft Center, Houston, TX, 1969. p. C-1-C-29.
- *Skylab Earth resources data catalog*. Houston, TX, Lindon B. Johnson, Space Center, 1974.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: Some proposea new standards for old terms. *Bulletin of the Geological Society of America*, 87:1463-1469, 1976.
- OLIVEIRA, A.I. Brasil. In: JENKS, W.F. ed. handbook of South American Geology. *Geological Society of South America, Memoir*, (65):1-62, 1956.
- OLIVEIRA, G.M.A.; AZEVEDO, L.H.A.; NETTO, O.B.; PEREIRA, R.R.; NEVES, S. B.; MOREIRA, H.F.; COLPAERTI FILHO, H.; SOUZA, C.J.M. *Sensoriamento Remoto no Quadrilátero Ferrífero*, M.G. Convênio Comissão Nacional de Atividades Espaciais Departamento Nacional da Produção Mineral. São José dos Campos, CNAE, 1970, 120p. (LAFE-126).

- PARADELLA, W.R.; DUTRA, L.V. Filtragens digitais de imagens como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú, 1980. *Anais. Balneário de Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia*, 1980, v.5, p. 2959-2964.
- PARADELLA, W.R.; VITORELLO, I. Application of Computerized techniques using LANDSAT MSS images for geological studies. *COGEO DATA, IANG Meeting for South America*, Rio de Janeiro, 1981, 26. (PAPER).
- PFLUG, R.; RENGER, F. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sanfranciscano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracajú, 1973. *Anais. Aracajú, Sociedade Brasileira de Geologia*, 1973, v.2, p.5-19.
- POMERENE, J.B. Barreiro Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):67-68, 1958c.
- Geology and Ore Deposits of the Belo Horizonte, Ibiritê, and Macacos Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-D), 1964. 84 p.
- Taboões Quartzite. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):66-67, 1958b.
- The Cercadinho Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):64-65, 1958a.
- PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, M.A. de; PIREZ NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. de. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. *Atas. Rio Claro, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de São Paulo*, 1979, v.2, p.253-269.
- 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, escala 1:1000.000*. São Paulo, IPT, 1981. 94p. (Monografia IPT nº 5).
- RAMSAY, J.G. *Folding and fracturing of rocks*. London, Mac Graw-Hill, 1967. 567p.

- REEVES, R.G. Geology and Mineral Resources of the Monlevade and Rio Piracicaba Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-E), 1966. 58p.
- ed. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1969, 2v., 2144p.
- Structural Geologic Interpretations from Radar Imagery. *Bulletin of the Geological Society of America*, 80: 2159-2164, 1969.
- REIMER, V. Stratigraphie und Tektonik am Suedrand des Eisernen Vierecks Minas Gerais. *Muenster Forschungen fuer Geologie und Palaentologie*, (44/45):99-110, 1978.
- RENGER, F. Evolução dos conceitos geológicos da Serra do Espinhaço. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1., Diamantina. *Atas*. Diamantina, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 1979, p.9-27.
- RÍCCOMINI, C.; AMARAL, G. Estruturas circulares internas ao Complexo de Bação, Quadrilátero Ferrífero (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Balneário de Camboriú, 1980. *Anais*. Balneário de Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, v.5, p.2975-2981.
- RODDRIGUES, J.E. *Aplicação de Sensoriamento remoto no mapeamento foto geológico da região do Complexo Alcalino de Itatiaia*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1981. 104p. (INPE-2220-TDL/062).
- ROWAN, L.C.; WETLAUFER, P.H.; GOETZ, A.F.H.; BILLINGSLEY, F.C.; STEWART, J.H. Discrimination of rock types and hidrothermally altered areas in south-central Nevada by the use of computer-enhanced ERTS images. *Geological Survey, Professional Paper*, (883), 1974, 35p.
- RYDSTROM, H.O. Interpretating local geology from radar imagery. *Bulletin of the Geological Society of America*, 78:429-436, 1967.
- RYNEARSON, G.A.; POMERENE, J.B.; DORR II, J.V.N. Contato basal da Série Minas na parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Avulso. Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral*, (34), 1954, 18p.

- SALOP, L.I. Two types of Precambrian structures: gneiss folded ovals and gneiss domes. *International Geology Review*, 14(11):1209-1228, 1972.
- SCHOELL, W.U. Der suedwestliche Randbereich der Espinhaço Zone, Minas Gerais, Brasilien. *Geologisches Rundschau*, 61(1):201-216, 1972.
- SCHORSCHER, H.D. Contribuição à estratigrafia proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(1):195, 1980.
- Evolução arqueana e proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e de partes meridionais da Serra do Espinhaço. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1979. *Resumo*. Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, 1979c.
- Evolução geotectônica da parte meridional do Geossinclinal Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Resumos*. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978a, p.48.
- Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano, do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 51(4):767-768, 1979b.
- Komatiitos na estrutura "Greenstone belt", Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Resumos*. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978b, p. 292-293.
- Tectônica do Espinhaço meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1., Diamantina, 1979. *Resumo*. Diamantina, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 1979a, 2p.
- Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto. *Resumos*. Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, p.194-195.
- SCHORSCHER, H.D.; GUIMARÃES, P.F. Mina do Cauê. Estratigrafia e Tectônica do Super-Grupo Minas e Geologia do Distrito Ferrífero de Itabi

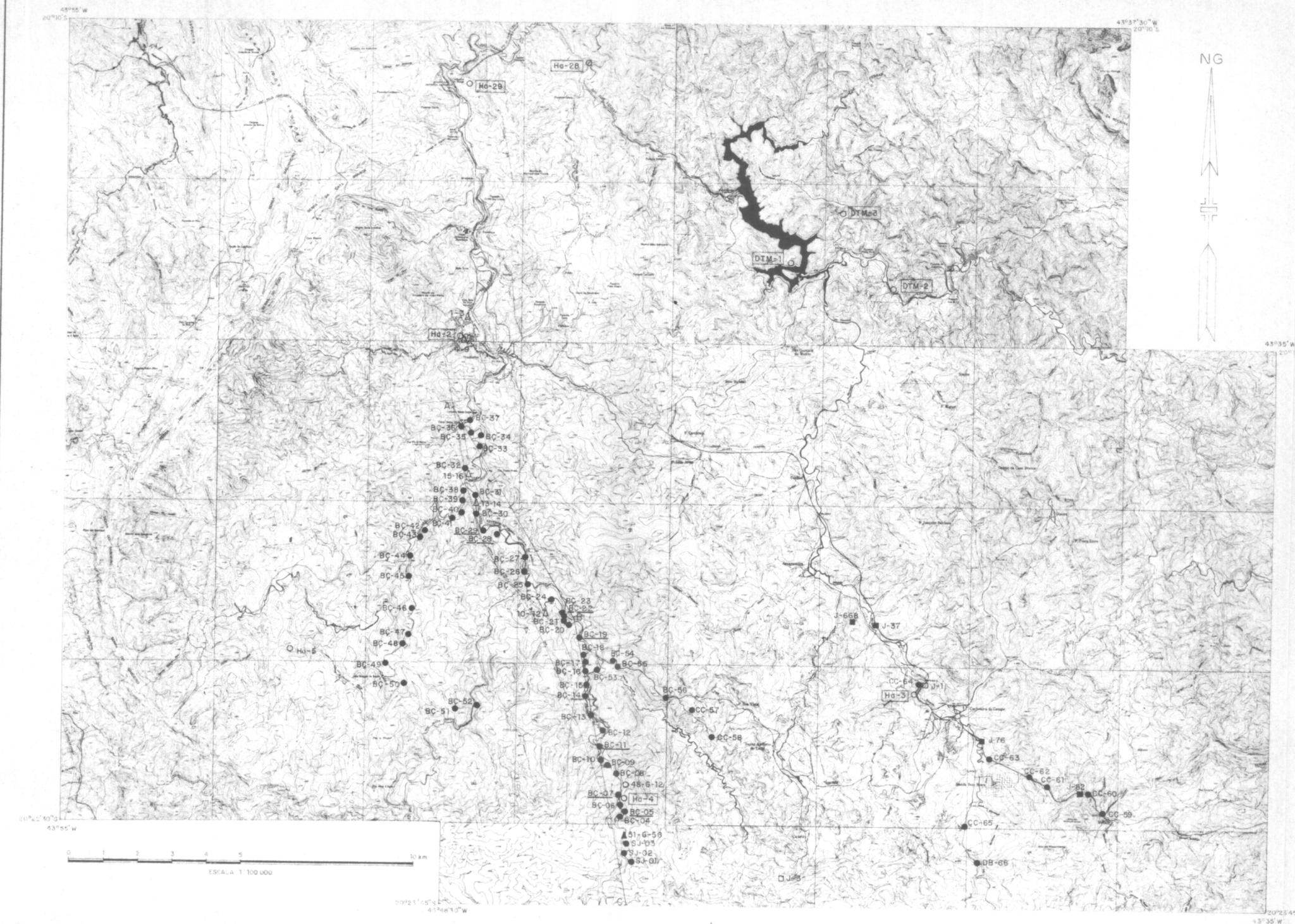
- ra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, *Roteiro das Excursões*, Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, p. 75-86.
- SIMMONS, G.C. Geology and Iron Deposits of the Western Serra do Curral, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-G), 1968a. 57p.
- Geology and Mineral Resources of the Barão de Cocais Area, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-H), 1968b. 46p.
- The Fecho do Funil Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):65-55, 1958.
- SIMMONS, G.C.; MAXWELL, C.H. Grupo Tamanduã da Série Rio das Velhas. *Boletim. Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral*, (211), 1961. 31p.
- SOUZA, C.J.M. de. *Verdade Terrestre no Quadrilátero Ferrífero*. Projeto Sensores Remotos. São José dos Campos, INPE, 1972, 31p. (Datilografado).
- SPERBER, M.V. Geologie des Praekambriums am Suedweststrand der Serra do Cipo (Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasilien). *Geologisches Jahrbuch, Reihe B* (24):93-148, 1977.
- STRECKEISEN, A.L.; chairman. Plutonic Rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS Subscmission on Systematics of Igneous Rocks. *Geotimes*, 18(10):26-30, 1973.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema Maxver, Manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, 1978. 72p. (INPE-1315-NTi/110).
- WALLACE, R.M. Geology and Mineral Resources of the Pico do Itabirito District Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, (341-F), 1965. 68p.
- The Moeda Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7(2):59-60, 1958.

WIEDEMANN, C.; SCHORSCHER, H.D. Zinco nas rochas ultrabásicas e nos cromititos da região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife. *Resumos*. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, p.211-212.

APÊNDICE

COMPLEXO DE BAÇÃO

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS

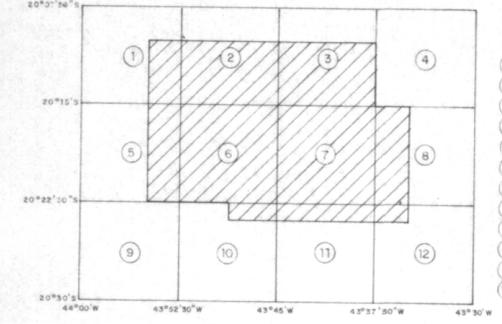


COMPLEXO DE BAÇÃO
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS

LEGENDA

- BC-08 AFLORAMENTOS DESCRITOS
- PONTOS COM ANÁLISE MODAL
- BC-19
- J-3 Johnson (1962)
- △ 1-3 Guimarães et al. (1967)*
- Hg-4 Herz (1970)*
- J-82 Johnson (1962) e Herz (1970)*
- ▲ 51-6-56 Guild (1957), Johnson (1962) e Herz (1970)*
- DETERMINAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS DISPONÍVEIS* (Herz et al., 1961 e Herz, 1970)
- A
B
C SEÇÃO GEOLÓGICA

MAPA BASE OBTIDO ATRAVÉS DA REDUÇÃO E MONTAGEM DE CARTAS TOPOGRÁFICAS EM 1:25000, ELABORADAS EM 1962 PELO PROGRAMA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA BRASIL-ESTADOS UNIDOS (CONVÊNIO DNP-USGS), CONFORME ARTICULAÇÃO ABAIXO:



- 1 LAGOA GRANDE
- 2 ITABIRITO
- 3 RIO DE PEDRAS
- 4 CAPANEMA
- 5 MARINHO DA SERRA
- 6 BAÇÃO
- 7 CACHOEIRA DO CAMPO
- 8 SÃO BARTOLOMEU
- 9 CASA DE PEDRA
- 10 SÃO JULIÃO
- 11 DOM BOSCO
- 12 OURO PRÉTO

* MANTIDA A NUMERAÇÃO DOS TRABALHOS DE ORIGEM