

1. Publicação nº <i>INPE-4151-TDL/268</i>	2. Versão	3. Data <i>Abr., 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>PG/DSR</i>	Programa <i>FRH/SER</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SENSORIAMENTO REMOTO QUADRILÁTERO FERRÍFERO</i> <i>GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS MAPEAMENTO GEOLÓGICO</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:55(084.3)(815.1)</i>			
8. Título <i>INPE-4151-TDL/268</i>  <i>UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM TRABALHO GEOLÓGICO DE SEMIDETALHE NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO MG</i>		10. Páginas: <i>110</i>	11. Última página: <i>H.2</i>
9. Autoria <i>MARIA DA GLÓRIA ALVES</i>		12. Revisada por	
		<i>[assinatura]</i> p/J.H.D. Schorscher	
Assinatura responsável <i>Maria da Glória Alves.</i>		13. Autorizada por <i>[assinatura]</i> p/Marco Antonio Raupp Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho aplicou técnicas de fotointerpretação para o mapeamento geológico estrutural, regional e de semidetalhe, na porção leste do Quadrilátero Ferrífero (MG). A região apresenta, além de interesse geocientífico, importância geoeconômica, devido às ocorrências de minério de ferro, ouro e manganês, entre outros. Os produtos de sensores remotos utilizados foram: fotografias aéreas infravermelhas em falsa cor e coloridas nos mais da missão 96, imagens TM 3,4,5,7 e fita magnética de dados LANDSAT. A metodologia utilizada fundamenta-se em uma sequência de etapas em que são analisadas as propriedades texturais das formas de relevo e drenagem. Como resultado obtiveram-se mapas geológico-estruturais na escala de 1:100.000 e de 1:50.000. O emprego das imagens TM/LANDSAT na escala de 1:100.000 permitiu individualizar a maioria das unidades geológicas e facilitou o reconhecimento de seu comportamento estrutural regional. A utilização das fotografias aéreas adicionou informações à interpretação visual obtida com as imagens TM, pois foram diferenciadas e delimitadas mais subunidades. A análise digital foi um recurso adicional, que complementou a interpretação visual. Através da análise dos produtos utilizados e dados de campo específicos, foi possível obter a individualização do Complexo Migmatito-Granulítico de MG, as continuações orientais do "Greenstone Belt" Rio das Velhas, relitos de erosão dos Supergrupos Minas e Espinhaço, metamigmatitos e magmatitos ultramáficos e basálticos e depósitos aluvionares.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 26 de novembro de 1986.</i>			






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


Dr. Liu Chan Chiang

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

Dr. Johann H.D.Schorscher

  
\_\_\_\_\_  
Orientador

Dr. Roberto Pereira da Cunha

  
\_\_\_\_\_  
Co-Orientador

Dr. Georg Robert Sadowski

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
-convidado-

Dr. Juércio Tavares de Mattos

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

Candidata: Maria da Glória Alves

São José dos Campos, 26 de novembro de 1986



*Aos meus pais,  
pelo esforço para minha formação.*

*Ao meu marido,  
pelo carinho, compreensão e horas  
de convívio furtadas.*





## AGRADECIMENTOS

Ao *Professor Dr. Johann Hans Daniel Schorscher* pela efetiva orientação, dedicação e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

Ao *Dr. Roberto Pereira da Cunha* pelo apoio oferecido.

Ao colega *Paulo Veneziani*, do Departamento de Geologia do INPE, pelo permanente apoio e dedicação, principalmente na fase de interpretação visual.

Aos colegas do INPE *Athos, Juércio, Célio* e aos demais que, durante o desenvolvimento da pesquisa, deram seu incentivo e colaboraram com discussões e sugestões.

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

Ao *Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)*, que viabilizou este trabalho.

Ao meu marido *Dyckson*, pela compreensão, carinho e incentivo com que sempre me cercou neste período tão atribulado.





### ABSTRACT

*This work applied photointerpretation technique, by using multiple scale products, for geologic-structural, regional and semidetailed mapping in the east part of Quadrilátero Ferrífero (MG). The region presents geoscientific interest and geoeconomic importance due to the occurrence of iron ore, gold and manganese, among others. The products of remote sensors used, owing to their adequacy for the objectives of the work, were: normal color and infrared false-color aerial photographs of Mission 96; TM imagery (orbital) in bands 3, 4, 5, 7; and magnetic tape with data from LANDSAT. The methodology used is based on a sequency of steps that show the logic and systematics under which the textural properties of relief and drainage features are analysed. As a result, geologic-structural maps were drawn on the scale of 1:100,000 (based on TM imagery information) and 1:50,000 (based on aerial photographs). The use of TM/LANDSAT imagery on the scale of 1:100,000 allowed the individualization of most of geological units and made their regional structural behavior recognition easier. The use of aerial photographs added information to the visual interpretation obtained with TM imagery, since more subunits were differentiated and delimited with this product in the Espinhaço, Minas, Rio das Velhas Supergroups and Migmatitic-Granulitic complex of MG than with the TM imagery. The digital analysis was an additional mean that pointed out some geological features and completed the visual interpretation made with the visual interpretation made with the original TM imagery. Through the analysis of the products used and specific field data, it was possible to reach the individualization of the Migmatitic-Granulitic Complex of MG, the eastern continuations of Rio das Velhas "Greenstone Belt", erosion relicts in Minas and Espinhaço Supergroups, ultramafic and basaltic "metamagmatitos" and "magmatitos" and alluvion deposits.*



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xiii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Generalidades .....	1
1.2 - Objetivos .....	2
1.3 - Área de estudo .....	4
1.4 - Aspectos climáticos vegetacionais e fisiográficos .....	5
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAIS, SISTEMAS SENSORES E MÉTODOS</u> .....	11
2.1 - Materiais .....	11
2.1.1 - Material bibliográfico .....	11
2.1.2 - Produtos de Sensoriamento Remoto .....	11
2.1.3 - Dados de campo .....	12
2.2 - Sistemas sensores .....	12
2.2.1 - LANDSAT .....	12
2.2.2 - Sensores fotográficos .....	15
2.2.3 - Sistema Analisador Multiespectral Image-100 .....	16
2.3 - Metodologia .....	17
2.3.1 - Análise visual-imagens TM/Landsat e fotografias aéreas.....	18
2.3.2 - Análise digital das imagens TM/Landsat (fita CCT-Compatible Computer Tape).....	20
2.3.3 - Integração dos dados e verificação de campo .....	20
<u>CAPÍTULO 3 - SÍNTESE GEOLÓGICA</u> .....	23
3.1 - Rochas do Complexo Migmatito-Granulítico de M.G. (Arqueano Proterozóico).....	23
3.2 - Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano).....	25
3.3 - Supergrupo Minas (Proterozóico Inferior ? a Médio).....	26
3.4 - Supergrupo Espinhaço (Proterozóico Inferior ? a Médio).....	29
3.5 - Magmatismo basáltico e coberturas cenozóicas .....	31
3.6 - Evolução geotectônica .....	32
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</u> .....	35



	<u>Pág.</u>
4.1 - Imagens TM/Landsat e fotografias aéreas .....	37
4.1.1 - Unidades .....	37
4.1.1.1 - Complexo Migmatito-Granulítico de MG - unidade 1 .....	39
4.1.1.2 - Supergrupo Rio das Velhas .....	46
4.1.1.3 - Supergrupo Minas - unidade 5 .....	52
4.1.1.4 - Supergrupo Espinhaço - unidade 4 .....	58
4.1.1.5 - Rochas Metaígneas e Ígneas .....	62
4.1.2 - Análise fotoestrutural .....	65
4.2 - Análise digital .....	66
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u> .....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
APÊNDICE A - MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL OBTIDOS DAS IMAGENS TM.	
APÊNDICE B - MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL OBTIDO DAS FOTOGRAFIAS <u>AE</u> REAS.	
APÊNDICE C - MAPA DE TRAÇOS ESTRUTURAIS FOTOINTERPRETADOS.	
APÊNDICE D - BASE TOPOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.	
APÊNDICE E - IMAGEM TM DA ÁREA DE ESTUDO E ADJACÊNCIAS NO CANAL 4, NA ESCALA DE 1:100.000.	
APÊNDICE F - IMAGEM MSS CANAL 7 QUE MOSTRA O QUADRILÁTERO <u>FERRIFE</u> RO NA ESCALA DE 1:500.000.	
APÊNDICE G - IMAGEM TM CANAL 4 QUE MOSTRA O QUADRILATÊTO <u>FERRIFE</u> RO NA ESCALA DE 1:500.000.	
APÊNDICE H - CÓPIA DA IMAGEM TM DA ÁREA DE ESTUDO E ADJACÊNCIAS NO CANAL 4, NA ESCALA DE 1:100.000 (APÊNDICE E), COM <u>LO</u> CALIZAÇÃO DAS CENAS REALÇADAS NO I-100.	

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Localização da área .....	3
1.2 - Aspectos fisiográficos - reflorestamento .....	5
1.3 - Imagem MSS/LANDSAT .....	6
1.4 - Esboço geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero .....	7
1.5 - Rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço .....	8
2.1 - Elementos de um sistema de análise automática de imagens....	16
2.2 - Propriedades da rede de drenagem .....	21
2.3 - Propriedades texturais de relevo .....	21
4.1 - Morfologia suave em rochas gnáissicas e migmatíticas .....	40
4.2 - Imagem TM/4 .....	42
4.3 - Foliação cataclástica - TM/4 .....	44
4.4 - Morfologia de morros arredondados TM/4 .....	45
4.5 - Terminação oriental do Sinclinal Gandarela .....	53
4.6 - Rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço na imagem TM/4..	58
4.7 - Serra do Pinho - Quartzitos do Supergrupo Espinhaço .....	60
4.8 - Relito de erosão sob forma de "torre" .....	64
4.9 - Imagem TM/canal 4 da área ao sul de Florália (Apêndice D)...	68
4.10 - Imagem TM/canal 5 da área ao sul de Florália (Apêndice D)..	68
4.11 - Composição colorida dos canais 3, 4, e 5 do TM da área ao sul de Florália (Apêndice D) .....	69
4.12 - Realce por ampliação linear do contraste dos canais 3, 4 e 5 em composição colorida 3B 4R 5G.....	70
4.13 - Imagem TM/canal 4 com ampliação linear de contraste na região do Sinclinal Gandarela, nas folhas São Gonçalo e Coais (Apêndice H).....	72
4.14 - Mesma cena anterior em composição colorida 3B 4G 5R, com ampliação linear de contraste .....	73
4.15 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R na região sul de Florália e norte da área ao sul de Florália (Apêndice H)..	75
4.16 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R, realçada por filtragem isotrópica com valores A=1, B=-2, C=26, D=-2 .....	76
4.17 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R (Apêndice H).....	77
4.18 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R, realçada por filtragem isotrópica com valores A=1, B=-2, C=26, D=-2 (Apêndice H) .....	77

	<u>Pág.</u>
4.19 - Composição colorida 3B 4G 5R da área de Florália (Apêndice D).....	78
4.20 - Composição colorida 3B 4G 5R, realçada por filtragem isotrópica (mesma cena anterior).....	79



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Bandas espectrais do TM .....	14
2.2 - Principais aplicações do TM .....	14
3.1 - Estratigrafia simplificada do Supergrupo Rio das Velhas .....	27
3.2 - Coluna estratigráfica simplificada e esquemática do Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero, segundo Dorr (1969), com modificações .....	28
3.3 - Coluna estratigráfica resumida do Supergrupo Espinhaço na extremidade meridional da serra homônima .....	30
4.1 - Coluna litoestratigráfica das grandes unidades (Pré-Cambrianas) discriminadas na área de estudos .....	38



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - GENERALIDADES

A região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais vem sendo estudada geologicamente há cerca de 200 anos, devido às suas potencialidades econômicas representadas principalmente pelos depósitos de ouro e ferro (Eschwege 1832, Dorr 1969, Inda et al., 1984).

Vários estudos e pesquisas que utilizam métodos convencionais de trabalho geológico e métodos baseados em técnicas de Sensoriamento Remoto ao nível orbital e de aeronave vêm sendo realizados nesta região com o objetivo de contribuir para o mapeamento regional de detalhe e para o conhecimento sobre a sua evolução petrogenética e metalogenética Pré-Cambriana antiga do tipo "Granito-Greenstone Belt" Arqueano, com coberturas Proterozóicas (Almeida, 1976, Schorscher, 1976, 1978, 1979, 1980; Schorscher et al., 1982; Inda et al., 1984).

O Quadrilátero Ferrífero foi também a primeira região no Brasil utilizada como área teste em Sensoriamento Remoto para fins geológicos pelos convênios NASA (National Aeronautics and Space Administration), CNAE (Comissão Nacional de Atividades Espaciais, atualmente INPE-Instituto de Pesquisas Espaciais), realizando, com o apoio de várias entidades governamentais, a missão 96 em julho de 1969 (Oliveira et al., 1970).

A missão executou sobrevôos com aeronave equipada com diferentes tipos de sensores, recobrindo no Quadrilátero Ferrífero e adjacências em área de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, utilizando radar de visada lateral, imageadores de infravermelho e câmera métrica Wild-Heerburg RC-8 com filmes Ektachrome MS Aerographic e Ektachrome IR Aerographic. Com este último sensor toda a área foi recoberta obtendo-se fotografias na escala aproximada de 1:42.000, enquanto com os outros dois apenas partes da área foram sensoriadas.

Vários aerolevantamentos também estão disponíveis para a região (toda ou em parte), obtidos sobretudo com filmes pancromáticos em preto e branco, em diferentes escalas (Riccomini, 1983).

Com a implementação do programa de Sensoriamento Remoto brasileiro, novos dados foram colocados em disponibilidade, incluindo as imagens e mosaicos SLAR do projeto RADAMBRASIL e as imagens (fitas CCTs) fornecidas por satélites da série LANDSAT.

Vale complementar que atualmente estão disponíveis cenas do sensor TM (Thematic Mapper) do quinto satélite da série LANDSAT, lançado em março de 1984, o que marca uma nova fase no Sensoriamento Remoto orbital. Estas imagens, graças à combinação de sua resolução no terreno com sua resolução espectral, constituem valiosa ferramenta nas atividades de mapeamento geológico básico.

## 1.2 - OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é estudar e aplicar as técnicas de Sensoriamento Remoto, utilizando as imagens TM do LANDSAT 5, aliadas aos vários tipos de fotografias aéreas disponíveis, para o mapeamento fotogeológico de semidetalhes (escala 1:50.000) da região escolhida (Figura 1.1).

O trabalho pretende avaliar o desempenho dos produtos citados em diferentes escalas, no reconhecimento e caracterização litológico-estrutural e na caracterização de zonas mineralizadas, visando um estudo combinado regional e de semidetalhe, tendo como apoio levantamentos de campo.

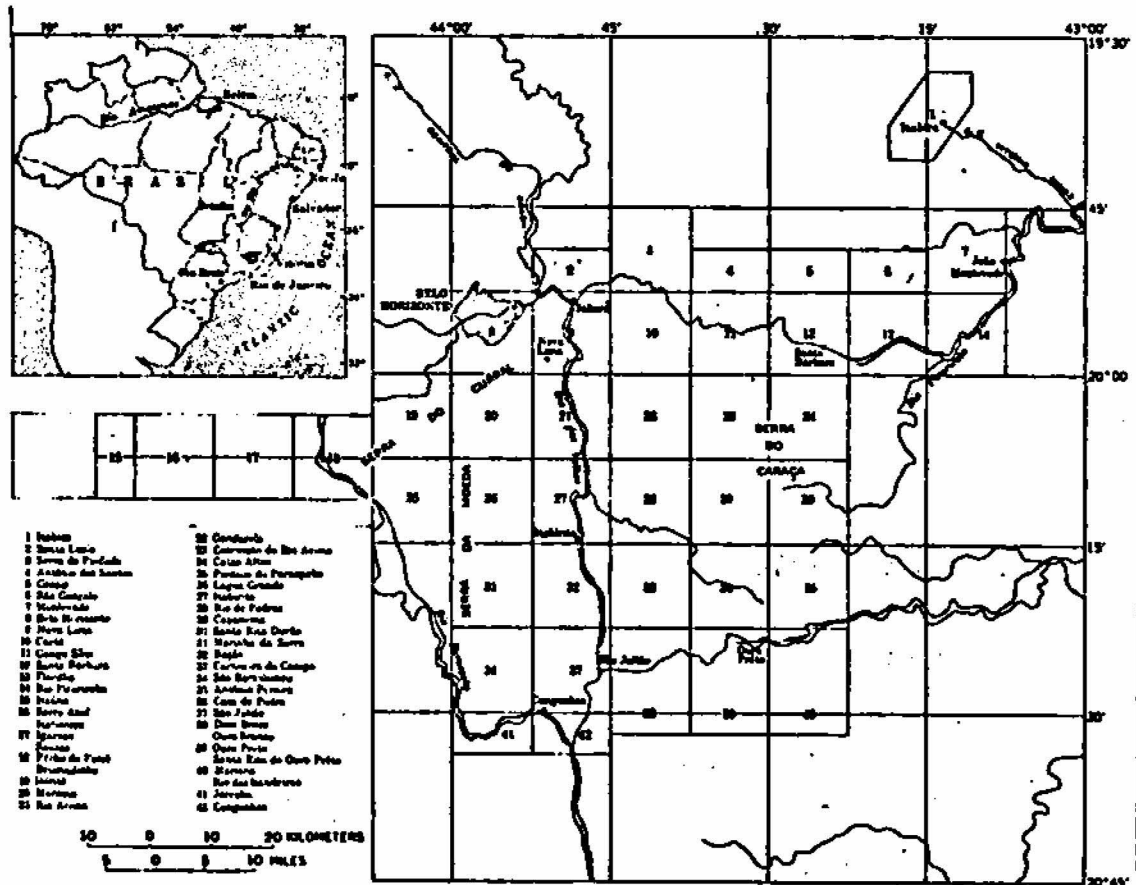


Fig. 1.1 - Localização da área.  
 Mapa índice do Quadrilátero Fer  
 rífero que mostra a localiza  
 ção das quadrículas topográfi  
 cas na escala de 1:25.000 e da  
 área estudada.

FONTE: Dorr (1969).

Os objetivos específicos são:

- Avaliar as imagens TM do sistema LANDSAT, na escala de 1:100.000, na discriminação das unidades litológicas da área.
- Analisar a aplicabilidade do sistema de classificação digital IMAGE-100, utilizando imagens TM, tendo como subsídio as fotointerpretações geológicas realizadas nos produtos obtidos com os sensores fotográficos.
- Analisar as transparências coloridas normais e infravermelhas para caracterização de zonas mineralizadas e de outras unidades litológicas, principalmente de portes menores.
- Confeccionar mapas fotogeológicos da área de estudo, Pré-Cambriana antiga de natureza "Granito-Greestone Belt" (Schorscher et al., 1982; Inda et al., 1984), e contribuir para sua evolução litotectônica pela interação de produtos de diferentes sistemas sensores, múltipla escala e verificações específicas de campo.

### 1.3 - ÁREA DE ESTUDO

Como área de trabalho foi selecionada a porção leste do Quadrilátero Ferrífero, que possui como limites os paralelos  $19^{\circ} 45' 00''$ ,  $20^{\circ} 07' 30''$  e os meridianos  $43^{\circ} 15' 00''$ ,  $43^{\circ} 22' 30''$ , região esta composta (no sentido N-S) pelas quadrículas topográficas 1:25.000 São Gonçalo, Florália e pela quadrícula (sem nome) situada ao sul de Florália (Figura 1.1).

Estas quadrículas foram selecionadas como região de estudo pelos seguintes motivos: diversidade de tipos litológico-estruturais; grande quantidade de material para interpretação; dados de campo, petrográficos, geoquímicos e metalogenéticos disponíveis em diferentes escalas e densidades; continuidade física direta com áreas vizinhas já mapeadas geologicamente em escala de semidetalhe; interesse científico e econômico pela natureza Pré-Cambriana antiga e pelas ocorrências de formações ferríferas e mineralizações de ouro; e por ser uma parte do Quadrilátero Ferrífero ainda carente de estudos geológicos, não analisada ou mapeada na escala proposta de semidetalhe.

#### 1.4 - ASPECTOS CLIMÁTICO-VEGETACIONAIS E FISIAGRÁFICOS

No Quadrilátero Ferrífero, o clima é subtropical, as temperaturas variam de 5<sup>o</sup> a 35<sup>o</sup>C, e a média anual é ligeiramente inferior a 20<sup>o</sup>C (Dorr, 1969).

Na região existem duas estações, um verão chuvoso de novembro a fevereiro e um inverno seco de abril a setembro, os meses de março a outubro são de transição (Simmons, 1968).

A vegetação original de florestas densas, matas secas, cerrados e campos limpos (Barbosa, 1980) já se encontra bastante degradada devido à intensa exploração mineral e ocupação humana, substituída por pastagens e reflorestamentos (Figura 1.2).



Fig. 1.2 - Aspectos fisiográficos - reflorestamento.

No primeiro plano, a fotografia mostra exemplo de reflorestamento na área situada na folha ao sul de Flôrália. Ao fundo, quartzitos do Supergrupo Espinhaço destacam-se na topografia, formando a Serra do Pinho (Apêndice B). Fotografia tirada a partir do ponto 40 com visada NE (Apêndice D).



"O Quadrilátero Ferrífero (Figura 1.3) constitui uma grande unidade morfoestrutural, onde a estrutura geológica atuou como um fator primordial na evolução das formas de relevo, condicionando a dissecação fluvial e/ou preservando paleoformas". (Boaventura et al., 1984).

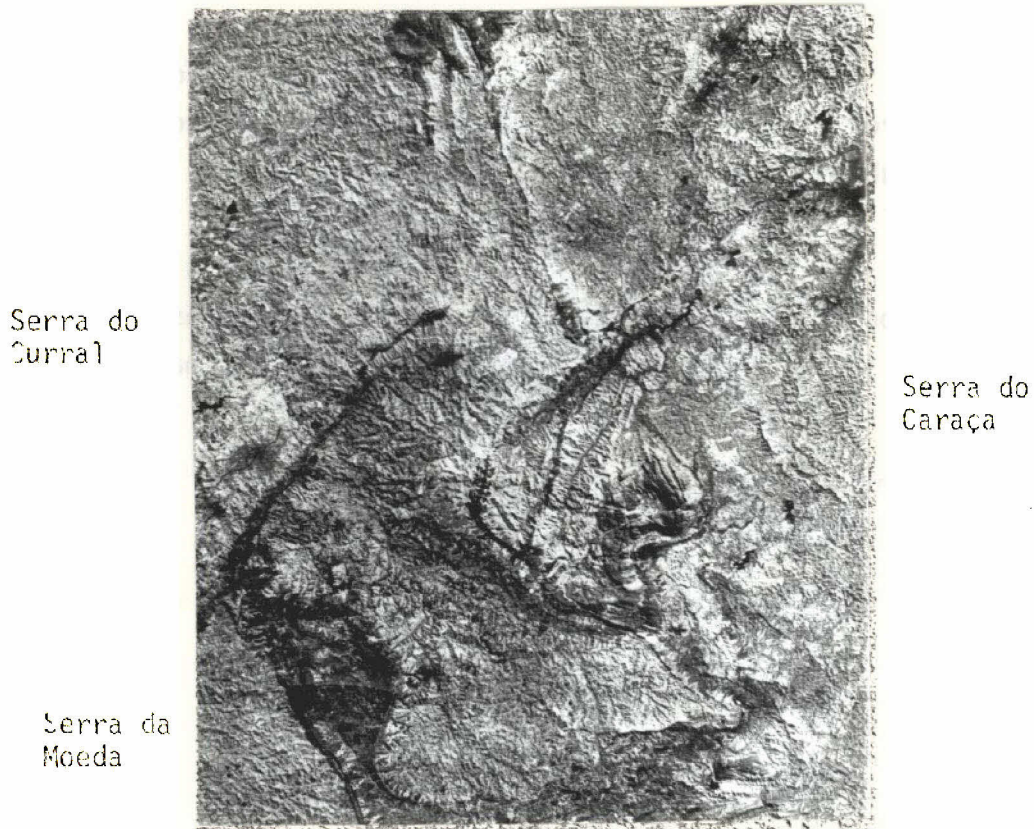


Fig. 1.3 - Imagem MSS/LANDSAT.  
A fotografia mostra a morfologia do Quadrilátero Ferrífero (compará-la com a Figura 1.4).  
Escala aproximada: 1:2.500.000.

Os limites do Quadrilátero Ferrífero são marcados a oeste pela Serra da Moeda, ao sul pela Serra de Ouro Branco e a leste pela Serra do Caraça. Na parte norte, o limite é feito pelas linhas de cumeadas da Serra do Curral e suas extensões; a sudoeste, pela Serra de Rola Moça a Serra Azul (Figuras 1.3 e 1.4).



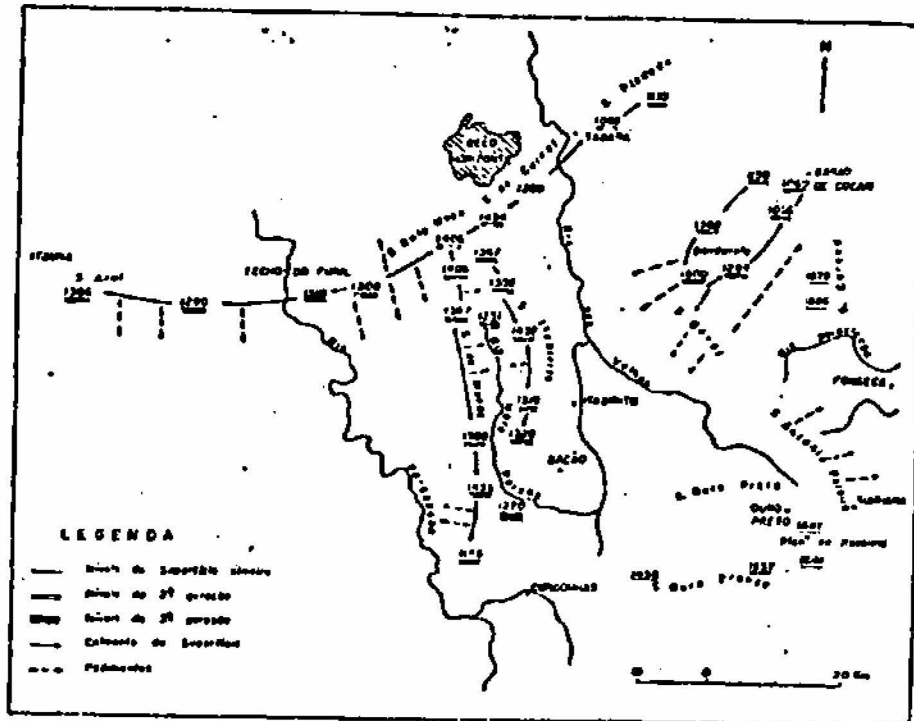


Fig. 1.4 - Esboço geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero. Esta figura mostra a distribuição dos níveis de erosão. FONTE: Barbosa (1980).

A região apresenta um conjunto de relevo dobrado e bastante dissecado, rebaixado na parte central (em torno de 1000m), e bastante elevado nas bordas, atingindo altitudes superiores a 1900m nas serras Caraça e Moeda. As cristas elevadas são esculpidas nas rochas mais resistentes como os quartzitos e as vertentes ravinadas, e trechos de colinas são modeladas nos filitos, metabasitos, xistos e em rochas granito/gnáissicas (Figura 1.5).



Fig. 1.5 - Rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço.

Estas rochas dão relevos salientes que se contrastam com as rochas adjacentes do quadro cristalino, na porção oeste da Serra do Pinho (Apêndice D). Fotografia tirada do ponto 43 com visada NE (Apêndice D).

O quadro topográfico-geológico externo do Quadrilátero Ferrífero é morfologicamente mais homogêneo e mais rebaixado que as porções centrais com variações modestas, em geral entre 500 e 700m de altitude, e compostas de litologias migmatito-gnaiss-graníticas.

Para trabalhos fotogeológicos as formas de relevo têm grande potencial interpretativo. Um levantamento de dados bibliográficos (geomorfológicos) disponíveis sobre o Quadrilátero Ferrífero destaca os trabalhos de Dorr (1969), que revisa trabalhos anteriores feitos na região e, mais recentemente, os trabalhos de Barbosa (1980) e de Boaventura et al. (1984). A Figura 1.4 que mostra um esboço morfológico do Quadrilátero Ferrífero com os principais níveis de erosão, foi reproduzida de Bar

bosa (1980). Sobre a área de estudo (Figura 1.1) inexistem dados específicos, de detalhe, mas IBGE (1977) a inclui no "Domínio Morfoestrutural das Escarpas e Maciços Modelados em Rochas Cristalinas", na sua porção constituída pelos "Planaltos Cristalinos".

Na área em apreço (Figura 1.1), o modelado do relevo exibe um predomínio de formas resultantes da erosão diferencial. Na área de ocorrência de gnaisses e migmatitos, o relevo é de pequena expressão topográfica, predominando morros arredondados e, em alguns casos, vertentes íngremes. Escarpas abruptas são modeladas no granito Burrachudos. Áreas com relevo de colinas côncavo-convexas ocorrem nos xistos e filitos do Supergrupo Rio das Velhas. Entre este relevo suave dos xistos, destacam-se cristas mantidas pelas formações ferríferas. As serras da região (Serra do Pinho, Serra da Coruja e Serra do André) são sustentadas por quartzitos do Supergrupo Espinhaço. As litologias quartzito-itabiriticas do Supergrupo Minas são topograficamente características, pois constituem um relevo de cristas sustentadas principalmente pelos itabiritos.



## CAPÍTULO 2

### MATERIAIS, SISTEMAS SENSORES E MÉTODOS

#### 2.1 - MATERIAIS

##### 2.1.1 - MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Foram utilizados e/ou consultados trabalhos referentes aos aspectos geomorfológicos, geológicos regionais e geológicos fundamentais sobre a constituição e evolução de terrenos Pré-Cambrianos, além de publicações relacionadas com os produtos de sensoriamento remoto utilizados.

Merecem destaque cartas topográficas de toda a área nas escalas de:

- 1:100.000 Folha Itabira SE-23-Z-D-IV IBGE (1977);
- 1: 50.000 Folha Catas Altas SF-23-X-B-I-1 IBGE (1976);
- 1: 25.000 Folha São Gonçalo SE-23-W-IV-3-NE DNPM (1962);
- 1: 25.000 Folha Florália SE-23-W-IV-3-SE DNPM (1962).

##### 2.1.2 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Entre os diferentes produtos de sensoriamento remoto disponíveis para a região, apenas alguns foram utilizados, tendo a escolha do material sido feita levando em conta a qualidade, a disponibilidade e a possibilidade de interpretação ao nível de detalhe desejado, bem como o grau com que determinado produto já foi explorado em trabalhos metodológicos anteriores.

Utilizaram-se as imagens TM/LANDSAT da órbita/ponto 217.74 -A, com data de passagem de 02.08.84, escala 1:100.000 em todos os canais, exceto no termal, fita CCT com imagens nas bandas 3, 4, 5 e fotografias aéreas coloridas, normais e de falsa cor (transparências positivas) da missão 96 na escala de 1:42.000.

Deve ser ressaltado que algumas dessas fotografias apresentam problemas de cobertura de nuvens, sombras e lacunas nas faixas de vôo, as quais foram preenchidas com fotografias em branco e preto da USAF de 1964 na escala de 1:60.000 e com fotografias dos Serviços Aerofotográficos Cruzeiro do Sul de 1981 na escala de 1:30.000.

### 2.1.3 - DADOS DE CAMPO

Para verificar a "verdade terrestre" foram utilizados:

- dados obtidos em trabalho de campo específico, no período de 28.02.86 a 12.03.86, de verificação final;
- dados de trabalhos anteriores (Schorscher, 1975) e de relatórios (Guba, 1982; Sichel, 1983);
- dados de trabalhos em andamento, elaborados por Schorscher e pós-graduandos, entre estes principalmente os de Heitor F. Mothe Filho (dissertação de mestrado na região de Florália - em fase de conclusão), de Kátia Mansur, Ana Beatriz e Peter K. Davies. (levantamento de campo na região sul de Florália) e dos estagiários Normando Queiroga e Gustavo C. Abreu (detalhamento 1:10.000 nas imediações de Florália).

## 2.2 - SISTEMAS SENSORES

### 2.2.1 - LANDSAT

A partir da década de 70, a coleta de dados por sensores orbitais vem sendo cada vez mais desenvolvida e utilizada nos estudos geológicos, devido ao seu caráter multiespectral e a sua visão sinótica.

O mais recente satélite em órbita, o LANDSAT 5 (lançado em março de 1984), marca o início de uma nova fase do sensoriamento remoto orbital. É o primeiro de uma geração de satélites, definida como "mapeadores", dada as suas características superiores no que concerne às resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas (Costa e Ricconi (1984).

O LANDSAT 5 leva a bordo 2 tipos de sensores: o "Multispectral Scanner" (MSS), do mesmo tipo que o que já equipava os satélites anteriores da série, o qual desde 1972 vem sendo largamente utilizado em atividades de mapeamento geológico; o segundo sensor denominado "Thematic Mapper" (TM), que já equipava o quarto satélite da série LANDSAT, mas que então apresentou problemas de funcionamento logo após o seu lançamento (Costa e Riccomini, 1984).

O LANDSAT 5 opera a uma altitude de 705 km e cruza o equador a cada 100 minutos, completando 14,5 órbitas por dia, com uma repetitividade de 16 dias.

As modificações mais importantes que o TM apresenta em relação ao MSS são:

- 1) O TM possui sete canais, enquanto os MSS dos LANDSAT 1 e 2 possuíam quatro, e o do LANDSAT 3, cinco;
- 2) a resolução espacial dos canais TM na parte refletida do espectro eletromagnético (visível e infravermelho refletido) é de 30m (elemento de resolução no terreno = 30m x 30m), enquanto nos LANDSAT 1, 2 e 3 a resolução era de 80m. Na parte emitida do espectro (infravermelho termal), o TM apresenta uma resolução espacial de 120m (elemento de resolução no terreno = 120m x 120m), enquanto o canal 8 do MSS do LANDSAT 3 (canal termal) apresentava uma resolução espacial de 240m (elemento de resolução no terreno = 238m x 238m);
- 3) a resolução radiométrica do TM é de 256 níveis de quantização, bastante superior aos 64 e 128 do MSS;
- 4) as bandas espectrais do TM são mais estreitas e permitem a coleta de dados em sete diferentes regiões do espectro eletromagnético (Tabela 2.1).

TABELA 2.1

BANDAS ESPECTRAIS DO TM

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL
1	0,45 a 0,52 $\mu\text{m}$ azul
2	0,52 a 0,60 $\mu\text{m}$ verde
3	0,61 a 0,69 $\mu\text{m}$ vermelho
4	0,76 a 0,90 $\mu\text{m}$ infravermelho
5	1,55 a 1,75 $\mu\text{m}$ infravermelho
6	10,4 a 12,5 $\mu\text{m}$ (termal)
7	2,8 a 2,35 $\mu\text{m}$ infravermelho

FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (1984).

A distribuição dos canais do TM e as principais aplicações para as quais foram projetados são os seguintes (Tabela 2.2).

TABELA 2.2

PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO TM

BANDAS	APLICAÇÕES PRINCIPAIS DO TM
1	Mapeamento de águas costeiras, diferenciação solo/vegetação e diferenciação de florestas decíduas e coníferas.
2	Deteccão de radiação verde refletida através do vigor da vegetação.
3	Banda de absorção da clorofila, útil na discriminação entre espécies de plantas.
4	Pesquisas de biomassa. Delineação de corpos de água.
5	Indica o conteúdo de umidade da vegetação e do solo. Diferenciação entre neve e nuvens.
6	Usada na análise do "stress" na vegetação, discriminação no solo e mapeamento termal.
7	Usada no mapeamento hidrotermal e aplicações geológicas.

FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (1984).



Maiores informações sobre o sistema LANDSAT foram descritos por Reeves et al. (1975), Sabins (1977), Tanner (1982) e National Oceanic and Atmospheric Administration (1984).

### 2.2.2 - SENSORES FOTOGRÁFICOS

Os sensores fotográficos foram os primeiros a serem usados em sensoriamento remoto e ainda hoje continuam a ser uma ferramenta de indiscutível valor para aquisição de dados.

Operados a partir de aeronave, os sistemas fotográficos têm permitido a obtenção de imagens da superfície da Terra, com resolução espacial raramente igualada por outros tipos de sensores (Steffen et al.).

A utilização das técnicas e dados produzidos por sistemas fotográficos exige um conhecimento dos principais componentes que integram estes sistemas, que são: câmeras, filmes e filtros. A escolha apropriada da combinação dos diversos tipos de câmeras fotográficas, filmes e filtros depende dos parâmetros a serem medidos, em relação ao problema que será investigado (Mattos, 1982).

As principais características destes produtos são a alta resolução espacial, aliada à capacidade de variar resoluções e escalas de acordo com a elevação e distância focal, a fidelidade geométrica, a existência de vários tipos de filmes e filtros que oferecem alguma escolha do intervalo espectral a ser utilizado, a facilidade de estereoscopia e a obtenção de dados planialtimétricos através de medidas diretas.

Ray (1960), Ricci e Petri (1965), Rivereau (1970), Stephens (1976), Sabins (1977), Mikhail e Maffit (1980), entre outros, fornecem revisões e discussões detalhadas sobre as propriedades dos sensores fotográficos.

### 2.2.3 - SISTEMA ANALISADOR MULTIESPECTRAL IMAGE-100

O IMAGE-100 é um sistema de análise de imagens, baseado no caráter multiespectral delas. Este analisador multiespectral realiza classificação automática de imagens, permitindo extrair informações temáticas, bem como realçar dados destas imagens, o que produz maiores contrastes entre os alvos. Características sobre este sistema podem ser encontradas em manual técnico fornecido pela General Electric (1975).

Um sistema típico de análise automática de imagens multiespectrais basicamente pode ser dividido em três partes: entrada de dados, processamento e vídeo (Figura 2.1).

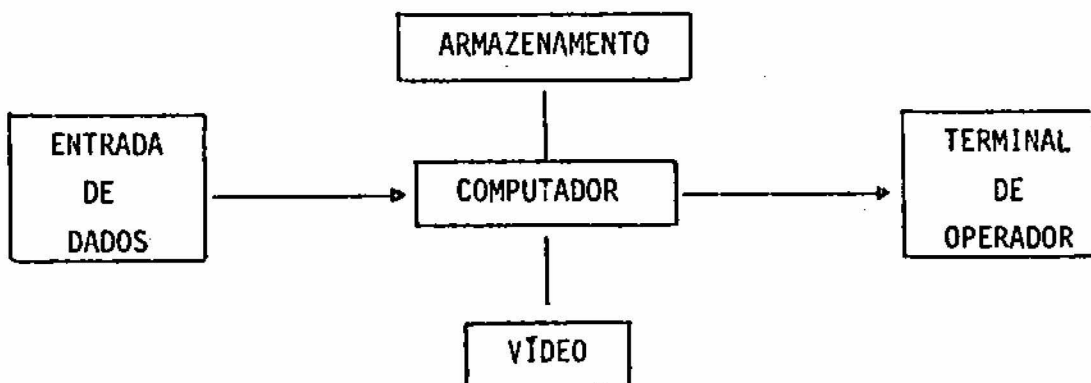


Fig. 2.1 - Elementos de um sistema de análise automática de imagens.

A entrada de dados pode ser feita através de um digitalizador de imagens ou através de fita magnética que contém a imagem já digitalizada.

O processamento é feito por um computador, auxiliado por seus periféricos, tais como um disco magnético para armazenamento de dados e um terminal, ou console, que possibilita a interação do analista com todo o sistema. O vídeo é constituído por um monitor de TV (colorido) onde se pode observar e fotografar a imagem analisada.

Dentro do campo de tratamento digital de dados de sensores remotos aplicados à geologia, duas abordagens básicas prevalecem:

- 1) técnicas de realce que visam melhorar a qualidade visual e destacar as informações espectrais e espaciais para a posterior análise visual do fotointérprete;
- 2) técnicas de classificações temáticas, que definem agrupamentos ou classes nas imagens a partir da similaridade em assinaturas espectrais (Paradella e Vitorello, 1982).

A classificação temática apresenta limitações em geologia e pesquisa mineral (Siegal e Abrams, 1976; Paradella e Vitorello, 1982), dentre os quais podem-se citar:

- 1) as imagens registram informações de natureza superficial (milímetros superiores do terreno), as quais incluem a influência da vegetação, do solo, da atividade humana, que mascara variações nas respostas espectrais causadas pelas litologias;
- 2) as rochas nem sempre estão aflorantes e, quando expostas, estão na maior parte alteradas;
- 3) os corpos litológicos são extremamente complexos e heterogêneos em composição, forma e relações e fornecem respostas espectrais igualmente complexas;
- 4) o relevo que causa sombreamentos também dificulta a caracterização espectral das rochas.

As técnicas de tratamento digital de imagens foram descritas e discutidas por Abrams (1978), Taranik (1978), Paradella e Dutra (1980), Paradella e Vitorello (1982), entre outros.

### 2.3 - METODOLOGIA

### 2.3.1 - ANÁLISE VISUAL - IMAGENS TM/LANDSAT E FOTOGRAFIAS AÉREAS

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se nas propostas de Soares e Fiori (1976), desenvolvidas a partir dos trabalhos de Guy (1966), Rivereau (1970), a qual foi mais recentemente adaptada para produtos sensores de pequena escala (sem estereoscopia) por Veneziani e Anjos (1982).

O método fundamenta-se em uma sequência de etapas lógicas e sistemáticas em que são analisadas as propriedades texturais de relevo e drenagem, o que permite definir zonas com propriedades texturais e estruturais diferentes (zonas homóloga), às quais são associados significados geológicos.

A base de toda metodologia de fotointerpretação reside no princípio de que a textura e a estrutura das imagens fotográficas tendem a ser controladas pelos fatores:

- 1) morfogênicos (erosão, meteorização, tectônica);
- 2) litológicos (resistência a erosão, permeabilidade, plasticidade e ruptibilidade, solubilidade, tropia);
- 3) tectônico-deformacionais (falhas, fraturas, etc.);
- 4) antropogênicos (desmatamento, construção civil, etc.).

A seguir é feita uma descrição dos diversos termos utilizados neste trabalho, seguindo a conceituação adotada por Soares e Fiori 1976.

*ELEMENTO DE TEXTURA* - é a menor feição contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição.

*TEXTURA FOTOGRAFICA* - é o arranjo dos elementos da textura na imagem fotográfica.

*GRAU DE ESTRUTURAÇÃO* - é uma propriedade descritiva que está relacionada com a lei de ordenação dos elementos texturais. Quando

a lei de ordenação é maldefinida, a forma é fracamente estruturada. Quando os elementos possuem uma disposição regularmente ordenada, a forma é fortemente estruturada.

*ZONA HOMÓLOGA* - são áreas constituídas pela repetição dos mesmos elementos texturais e da mesma estrutura.

*LINEAÇÕES* - são definidas pela disposição retilínea ou arqueada dos elementos texturais.

*ALINHAMENTOS* - correspondem à disposição retilínea a quase retilínea das lineações, em faixas ou linhas, que causa forte estruturação. É um termo genérico, sem conotação genética ou estrutural.

Nesta abordagem, foram adotadas as seguintes fases fotointerpretativas:

- 1) Extração da rede de drenagem com detalhe máximo e extração de alinhamentos e lineações de relevo. Foram montados mapas de drenagem, lineações e alinhamentos de relevo.
- 2) Análise das propriedades dos elementos texturais de drenagem (densidade de textura, alinhamento, lineações e curvaturas, angularidade, tropia, assimetria, uniformidade) e de relevo (densidade de textura, quebra de relevo, assimetria, alinhamentos e lineações, formas de encosta). As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram algumas das propriedades passíveis de drenagem e relevo.
- 3) Análise dos níveis de cinza e/ou cor, elementos muito úteis para a interpretação das imagens fotográficas, pois estão diretamente relacionados com a reflectância dos materiais superficiais imageados, nas bandas do espectro eletromagnético de atuação dos sensores.


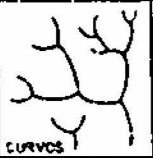



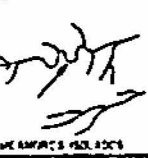


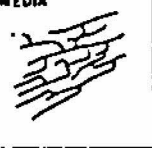
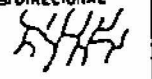





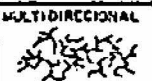
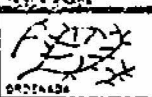
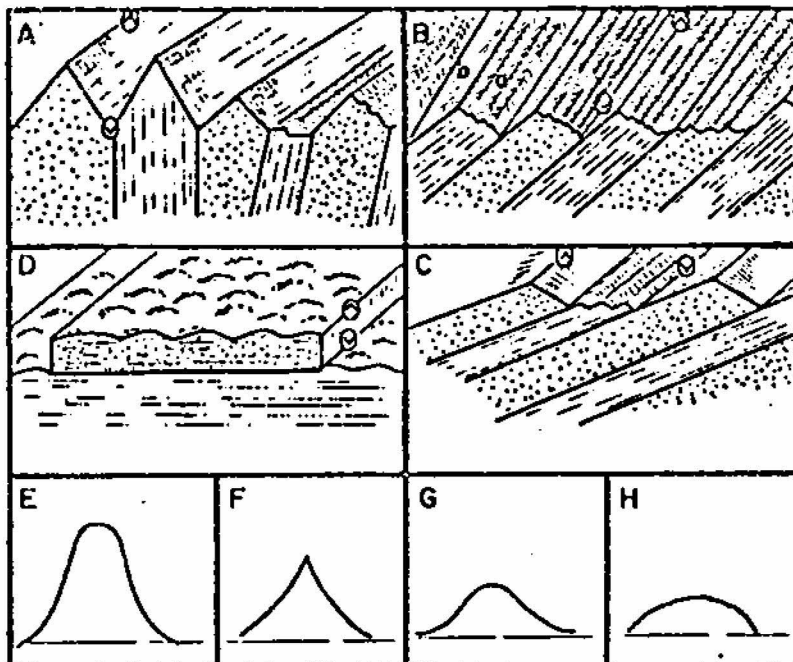
A- DENSIDADE	B- SINUOSIDADE	C- ANGULARIDADE	D- TROPIA	E- ASSINETRIA	F- FORMAS ANOMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	 UNI DIRECIONAL	 FRACA	 HEMIFACILIDADE
 MÉD	 MISTOS	 MÉDIA	 BIDIRECIONAL		 FORTE
 BAIXA	 RETILINEOS	 BAIXA	 MULTIDIRECIONAL		
			 DENDRICA		
			 PARALELA		

Fig. 2.2 - Propriedades da rede de drenagem.  
FONTE: Soares e Fiori (1976).



Representação esquemática de formas de relevo desenvolvidas em diferentes padrões de estrutura geológica e materiais diversos: densidade de textura de relevo alta (a) e baixa (b); quebras positivas (A) e negativas (V); Assimetria do relevo: simétrico (A), fracamente assimétrico (B), moderadamente assimétrico (C), fortemente assimétrico (D); Tipo de encosta: côncavo-retilíneo-convexa (E), côncava (F), côncavo-convexa (G) e convexa (H).

Fig. 2.3 - Propriedades texturais de relevo.  
FONTE: Soares e Fiori (1976).

### 2.3.2 - ANÁLISE DIGITAL DAS IMAGENS TM/LANDSAT (FITA CCT - COMPATIBLE COMPUTER TAPE)

A análise dos produtos do TM/LANDSAT foi executada no analisador Image-100. Inicialmente a área foi delimitada, ampliada (1:50.000) e dividida em três módulos correspondentes à região das folhas de São Gonçalo, Florália e Sul de Florália.

Para os três módulos foram feitas correções radiométricas e as cenas foram então gravadas em fitas magnéticas, utilizando o programa "vídeo I/O" (GE, 1975). Nestas cenas foram aplicadas diversas técnicas de realce (realce de contraste, divisão de canais, realce por principais componentes e filtragens digitais), sendo os melhores resultados documentados através de "slides" e fotografias do vídeo de TV do sistema.

Numa fase posterior, áreas que apresentaram maiores dificuldades na interpretação visual foram ampliadas até a escala de 1:30.000.

### 2.3.3 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS E VERIFICAÇÃO DE CAMPO

Os dados da análise visual de múltipla escala (imagens TM/LANDSAT e fotografias aéreas) e da análise digital (fitas CCTs) foram integrados num mapa fotogeológico. Este foi confrontado e corrigido com base nos dados geológicos disponíveis (incluindo: mapas geológicos de semidetalhe de áreas adjacentes, mapas geológicos preliminares, descrição de perfis e observações isoladas de partes da área estudada, dados petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e geofísicos - principalmente aeromagnéticos), e através de reinterpretação sucessivas, até esgotar estes recursos, chegou-se ao mapa geológico preliminar.

Levantamentos e revisões de campo específicos, realizados em conjunto com o orientador e com outros membros da equipe de trabalho (pós-graduandos e estagiários), dirigidos para a verificação da realidade geológica, buscaram soluções para problemas individuais e locais e serviram de base para reinterpretações e confecção do mapa geológico final.





## CAPÍTULO 3

### SÍNTESE GEOLÓGICA

O Quadrilátero Ferrífero, no extremo sul da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais, é uma área relativamente pequena, mas representa, juntamente com o Espinhaço Meridional, a região clássica da geologia Pré-Cambriana do Brasil, com uma história de estudos geológicos de cerca de 200 anos (Inda et al., 1984). Apesar dos inúmeros estudos, ainda existe um conceito evolutivo global, em geral aceito.

Nas próximas seções, serão apresentados e discutidos os principais conceitos existentes sobre as unidades do Quadrilátero Ferrífero presentes na área de estudo.

#### 3.1 - ROCHAS DO COMPLEXO MIGMATITO-GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS (ARQUEANO-PROTEROZÓICO)

Para a região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, os primeiros dados mais detalhados sobre as rochas mais recentemente incluídas no Complexo Migmatito-Granulítico de Minas Gerais (Inda et al., 1984) foram elaborados e discutidos por Freyberg (1932), Schneiderohn (1935), Guimarães (1931, 1951), entre outros, Dorr e Barbosa (1963) e Dorr (1969), baseados nos primeiros dados geocronológicos então disponíveis, interpretaram as rochas em questão como intrusivo-graníticas e, em geral, como as mais jovens rochas Pré-Cambrianas da região. Herz (1970) completou e reinterpretou os dados geocronológicos e reconheceu que as rochas eram de idades diferentes, porém, manteve as origens intrusivo-ígneas. Atualmente as rochas do complexo são consideradas constituintes metamórficos e subordinadamente ígneos, de uma crosta Arqueana mais antiga, que podem incluir rochas gnáissico-migmatíticas mais jovens, formadas a partir de metassedimentos Arqueanos e/ou Proterozóicos (Schorscher et al. 1982, Inda et al. 1984). Este conceito, bastante similar às opiniões clássicas de Pflug (1965, 1967), Reeves (1966), Renger (1970), Gorlt (1972), Kehrer (1972),

Pflug e Renger (1973), Schorscher (1975), Cordani (1976), Schorscher e Guimarães (1976), Pires (1977, 1979), Roeser (1977), Scholl e Fogaça (1979), Cordani (1980), Drake Junior e Morgan (1980).

Segundo Schorscher et al. (1982), os constituintes litológicos do complexo migmatito-granulítico embasamental podem ser divididos em dois grupos: "primários" e "secundários". Nos constituintes "primários", predominam as rochas s.l. graníticas, sendo na sua maioria gnais metabólicos e migmatitos anatéticos com estrutura dobrada, "schlieren", estromática, nebulítica e ptigmática, entre outras. Intrusivo - graníticas são raras, e quando ocorrem formam corpos pequenos de diques, e formas irregulares ou arredondados dômicos. Com frequência muito menor ocorrem "anfíbolitos primários", polimetamórficos, que caracterizam a natureza da crosta arqueana, considerada a mais antiga da região, a qual serviu de embasamento para o Greenstone Belt Rio das Velhas, como essencialmente sílica.

Nos constituintes "secundários" foram incluídas litologias mais jovens que as supra-descritas "primárias", de diferentes idades (Pré-Cambrianas a Fanerozóicas) e naturezas (metamórficas e ígneas), que se encontram totalmente englobadas pelos constituintes primários do complexo, sem evidências diretas, geológicas de campo, quanto às suas relações de idade com as demais unidades litoestratigráficas Pré-Cambrianas da área. Entre estes novamente predominam as litologias graníticas, granitóides; na área específica deste estudo predominam os do tipo "Borrachudos" (Dorr e Barbosa, 1963; Herz, 1970; Schorscher e Leterrier, 1980) e, em proporções muito menores, corpos de formas irregulares e diques pegmatóides. Também foram considerados neste grupo pequenas ocorrências de rochas metaultramáficas, metabásicas, metassedimentares e basálticas (Schorscher et al., 1982).

As litologias "primárias" do complexo migmatito-granulítico de Minas Gerais são polimetamórficas por processos orogenéticos Arqueanos e Proterozóicos superimpostos.

### 3.2 - SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS (ARQUEANO)

Derby (1906) descreveu estas rochas em conjunto com outras, como Sērie Minas; Barbosa (1954), como Sērie Barbacena; Ebert (1958), como Sērie Andrelândia e, mais restritamente, formação Lafaiete; e Dorr et al. (1957) as redefiniu no Quadrilātero Ferrífero sob o termo Sērie Rio das Velhas.

A sērie foi dividida em dois grupos, um mais antigo, chamado de Grupo Nova Lima, e um mais novo, chamado de Maquinē. Schorscher (1978, 1979) redefiniu a Sērie Rio das Velhas como supergrupo, que compreende depósitos de um cinturão de rochas verdes completo. Adicionalmente aos grupos já introduzidos por Dorr et al. (1957) e Dorr (1969), reconheceu e definiu o Grupo Quebra Osso, com local tipo, no vale do rio homônimo, que expõe os melhores afloramentos do grupo ultramáfico, estratigraficamente mais inferior ao do cinturão.

Uma revisão bastante completa desde as primeiras especulações sobre a possível natureza do "Greenstone Belt" da Sērie Rio das Velhas (Kehrer 1972), as primeiras evidências (Almeida, 1976; Schorscher, 1976a) e dados até então disponíveis, foi apresentada por Schorscher et al. (1982) e Inda et al. (1984).

Segundo estes autores, o Supergrupo Rio das Velhas é constituído de uma sequência Arqueana do tipo "Greenstone Belt" completa. Apresenta uma unidade inferior, o Grupo Quebra Osso (Schorscher, 1978, 1979), composta por rochas ultramáficas efusivas, komatiitos com textura e estruturas spinifex, de lavas brechadas, afaníticas, aglomeradas, maciças e subordinadamente por rochas ultramáficas vulcano-clásticas; uma unidade intermediária onde predominam xistos e grauvacas máficas, vulcânico-máficas intermediárias e ácidas, xistos epiclásticos e grafitosos, quartzitos, sedimentos químicos (BIF - tipo algoma, dolomitos), compreendidos no grupo máfico médio Nova Lima (Dorr et al., 1957; Dorr, 1969), que é o principal portador das mineralizações de ouro do Quadrilātero Ferrífero; e um grupo superior clástico, Maquinē (Dorr et al., 1957; Dorr, 1969), em geral classificado de ortoquartzítico, incluindo quartzitos,

conglomerados oligomíticos e polimíticos com piritas detriticas. (Tabela 3.1).

O cinturão de rochas verdes Rio das Velhas apresenta-se por lideformacional e localmente também com evidências de polimetamorfismo. Normalmente, porém, só ficam evidentes os efeitos do metamorfismo regional mais jovem, Proterozóico (Minas-Espinhaço), que foi o mais intenso e causou reações progressivas da facies xisto verde inferior a médio na região do Quadrilátero Ferrífero, para a facies anfibolito inferior, na parte leste do cinturão (região de Florália).

### 3.3 - SUPERGRUPO MINAS (PROTEROZÓICO INFERIOR A ? MÉDIO)

O Supergrupo Minas, com seus extensos depósitos de ferro (Dorr, 1969), é a unidade estratigráfica mais importante do Pré-Cambriano no brasileiro, do ponto de vista econômico.

Derby (1906) foi quem primeiro utilizou o termo "série" Minas para unidades hoje reconhecidas como Pré-Espinhaço e Pré-Minas, aflorantes na região de Gouveia (MG), no anticlinal central da Serra do Espinhaço, e correlacionou-as litologicamente com rochas do Quadrilátero Ferrífero (Proterozóicas), para as quais a denominação permaneceu (Teixeira, 1985).

TABELA 3.1

ESTRATIGRAFIA SIMPLIFICADA DO SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS,  
REPRODUZIDA DE INDA ET AL. 1984.

SUPER-GRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	AMBIENTE DEPO-SICIONAL	ESPESSURA APROX EM METROS
CINTURÃO DE ROCHAS VERDES (GREENSTONE BELT) RIO DAS VELHAS	MAQUINÉ	CASA FORTE	QUARTZITOS MACIÇOS E LISTOSOS, SERICÍTICOS E CLORÍTICOS COM NÍVEIS INTERCALADOS DE SERICITA E CLORITA-XISTOS E FALITOS QUARTZITOS, EM PARTE CLORÍTICOS E SERICÍTICOS COM LENTES DE CONGLOMERADOS METAFORMACIONAIS MONO- E POLIMÉTICOS (SEÇÕES DE "METACHERT", BIFÉLICES CARBONÁTICA, QUARTZO DE VEIO, QUARTZITO, XISTOS, FILITOS, METAMÁFICAS E (?) METALTRAMÁFICAS) COM PIRITAS DETRÍTICAS E ESTRATIFICAÇÃO CHEGADA DE PONTE DECIMÉTRICO	DEPÓSITOS TIPO MCLASSA	1400
		PALMITAL	SERICITA-QUARTZO-XISTOS E FALITOS COM Micas VERDES (CROMÍFERAS) ÀS VÉZES GRAFITOSOS E SUBORDINADAMENTE COM PIRITA E MAGNETITA LENTES DE QUARTZITOS E GRAUVACAS		~600 A AUSENTE ~1400 MÁX
	NOVA LIMA	INDIVISO	FALITOS EM GRANDE PARTE DIOGÊNICO, CLORITA-XISTOS, SERICITA-XISTOS, METAPELITOS EM GERAL, METAGRAUVACAS MÁFICAS, METAMÁFICAS DE ORIGEM VULCÂNICA E SUB-VULCÂNICA, METALTRAMÁFICAS, INTERCALAÇÕES DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS (SIF TIPO "ALGONA") DE FÁLICES CARBONÁTICA, SULFETADA, OXÍDICA E SILICÁTICA, FORMAÇÕES MANGANESÍFERAS, "METACHERT", FERRUGINOSO, XISTOS GRAFITOSOS, DOLOMITOS, QUARTZITOS RAROS CONGLOMERADOS BANCADOS COM VEIOS E BLOCOS DE FORMAÇÃO FERRÍFERA EM MATRIZ METAPÉLITICA. ESTRUTURAS DE DEFORMAÇÃO GRAVITACIONAL ("SLUMPING" E "FLOWING")	LOCAL PREDOMINAM CONDIÇÕES DE ÁREAS PROFUNDAS, DEPÓSITOS TIPO T1, (SIC) SEDIMENTOS QUÁDRADOS E AFUNDOS VULCÂNICA E PÓS-VULCÂNICA (NEO-TERMAL-EXALATAÇÃO) SUBVOLCÂNICA	> 4000
QUEBRA OSSO	INDIVISO	ULTRAMÁFICAS (KRONATHUS PÉNDOTÍTIOS) A MÁFICAS FUSIVAS E COM TEXTURAS MACIÇAS METAMÓRFICAS (SIF XISTOS VERDES MÉDIO A ANFIBOLITO INTERMIO) E RARAS INTERCALAÇÕES DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS (SIF TIPO "ALGONA") E "METACHERT" PREDOMINAM DEBRANES MACIÇOS COM DISJUNÇÃO POLIGONAL, "QUEBRADAS" DE "SPINIFER" E BRECHAGEM NAS PARTES BASAL E TOPO, E LAMAS BRECHADAS OCORREM LAVAS ALMOFABADAS, "SPINIFER", E ROCHAS ULTRAMÁFICAS PROCLÁSTICAS E AFANÍTICAS (EX-MALNAS ?)	VULCANISMO ULTRAMÁFICO A MÁFICO SUBALCÂNICO	1000 MÁX	
CONTATO BASAL (?) TECTÔNICO COM AS LITOLOGIAS DO COMPLEXO MIGMATITO GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS					

Trabalhos anteriores e posteriores de inúmeros autores, entre estes Harder e Chamberlin (1915), Guimarães (1931), Dorr et al. (1957), Dorr (1969), Schorsch (1980), levaram a concepção estratigráfica do Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero atualmente em uso (Tabela 3.2).

TABELA 3.2

COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA E ESQUEMÁTICA DO SUPERGRUPO MINAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, SEGUNDO DORR (1969), COM MODIFICAÇÕES, REPRODUZIDA DE INDA ET AL. 1984

SUPER-GRUPO	GRUPO	INDIFE- RENCIADO	LITOLOGIA	AMBIENTE DEPO- SICIONAL	ESPESSURA APROX EM METROS
MINAS	ITACOLMI	INDIFE- RENCIADO	ORTOQUARTZITOS, QUARTZITOS, FILITOS QUARTZOSOS, FILITOS, QUARTZITOS C/ REIFOS, CONGLOMERADOS	"MONASSE- PARÁLICO ?	> 1000 ?
		SABARA	CLORITA-XISTOS, FILITOS CLORÍTICOS, METAFITOS, GRAUVACAS, CONGLOMERADOS, QUARTZITOS, ITABIRITOS	FLYSCH ? EUGLOSSIN- CLINAL	1 500
	PIRACICABA	BARREIRO	FILITOS E FILITOS GRAFITOSOS	LOCAL SEDIMENTOS DE COBERTURA DE "SHELVE" ESTÁVEL	150 LOCAL-TIPO
		TABOSES	ORTOQUARTZITO	//	125 LOCAL-TIPO
		ÊCCHO DO FUNIL	FILITOS QUARTZOSOS, FILITOS DOLOMÍTICOS, DOLOMITOS SILICIFICADOS	//	410 LOCAL-TIPO
		CERCA-D'ÁGUA	FILITOS, SENSITA-QUARTZITOS, QUARTZITOS E FILITOS FERRUGINOSOS, "METACHERY" CONGLOMERADOS, DOLOMITOS	//	~ 600 MÁX. A 150 MÍN
	ITABIRA	GANDA-RELA	DOLOMITOS, CALCÁNIOS, ITABIRITOS DOLOMÍTICOS, XISTOS-DOLOMÍTICOS E ITABIRITOS MANGANESESIFEROS, FILITOS, ITABIRITOS, XISTOS VERDES	LOCAL //	~ 600 MÁX. A AUSENTE
		CAUÊ	ITABIRITOS, ITABIRITOS DOLOMÍTICOS, FILITOS, DOLOMITOS, XISTOS VERDES	//	~ 500 MÁX. A 150 MÍN
	CARACA	BAYATAL	FILITOS, FILITOS GRAFITOSOS, "METACHERY", ITABIRITOS	//	~ 250 MÁX. A AUSENTE
		MOEDA	FÁCIES PARÁLICA ORTOQUARTZITOS, QUARTZITOS, CONGLOMERADOS, FILITOS FÁCIES DE BACIA SENSITA-QUARTZITOS, FILITOS QUARTZOSOS, QUARTZITOS	"SHELVE" ESTÁVEL	~ 1000 MÁX. A 150 MÍN
CONTATO BASAL TECTÔNICO (DE "NAPPE") COM AS LITOLOGIAS DOS SUPERGRUPOS ESPINHACO E RIO DAS VELHAS E DO COMPLEXO MIGMATITO-GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS					
● COM PIRITAS DETRÍTICAS					
■ COM BRECHAS METAFORMACIONAIS					

O metamorfismo regional das rochas do Supergrupo Minas do Quadrilátero Ferrífero é idêntico em grau ao das rochas do Espinhaço e Rio das Velhas da mesma área, facies xisto verde médio a superior.

O Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero forma dobras isoclinais recumbentes, comumente exibindo repetições/cavalgamentos por falhas de empurrão de importância variável, e tem contatos tectônicos por grandes falhas também de empurrão de baixo ângulo com todas as outras unidades litológicas Pré-Cambrianas da região (Freyberg, 1932; Dorr, 1969, Barbosa apud, Dorr, 1969. Anexos de mapas geológicos: folhas 1:25.000 de Mariana e Ouro Preto); Fleischer, 1971; Schorscher, 1975, 1976b, 1980).

Este último autor estabeleceu para o Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero uma origem tectônica alóctone de "nappe", baseando-se no fato de que regionalmente o intenso dobramento destas estruturas não afetou: as unidades subjacentes, as extensões de direção constante N-S do Supergrupo Espinhaço (nas serras das Cambotas e do Caraca), o Supergrupo Rio das Velhas, o complexo migmatítico.

#### 3.4 - SUPERGRUPO ESPINHAÇO (PROTEROZÓICO INFERIOR A ? MÉDIO)

O Supergrupo Espinhaço é composto na região do Quadrilátero Ferrífero por ortoquartzitos, quartzitos conglomeráticos, quartzitos micáceos e quartzo-mica-xisto, sendo também abundantes os conglomerados grossieiros a finos, que às vezes são portadores de diamantes. Menos frequentes são rochas metaígneas vulcânicas e vulcanoclásticas básicas e ácidas, e provavelmente metaígneas como os filitos hematíticos.

Entre os muitos estudos realizados na Serra do Espinhaço em Minas Gerais, podem-se citar Pflug (1965, 1967, 1968); Pflug et al. (1969), Pflug e Renger (1973); Renger (1979) e Scholl e Fogaca (1979) (Tabela 3.3).

TABELA 3.3

COLUNA ESTRATIGRÁFICA RESUMIDA DO SUPERGRUPO ESPINHAÇO  
NA EXTREMIDADE MERIDIONAL DA SERRA HOMÔNIMA,  
REPRODUZIDA DE INDA ET AL., 1984.

SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	AMBIENTE DEPOSICIONAL	ESPESSURA APROX EM METROS
ESPINHAÇO	AS FORMAÇÕES SUPERIORES DO SUPERGRUPO ESPINHAÇO NÃO FORAM ENCONTRADAS NAS EXTREMIDADES MERIDIONAIS DA SERRA DO ESPINHAÇO E POSSIVELMENTE FALTAM, DEVIDO A NÃO-DEPOSIÇÃO E/OU EROSÃO				
		GAUCHO DO MIGUEL	ORTOQUARTZITOS Puros com MSA. ESTRATIFICAÇÕES Cruzadas (altura até 10m e extensão até 100m), LOCALMENTE com DELGADOS LÂMINAS DE SEMCITA-XISTOS NOS PLANOS DE ACANALAMENTO	"SMELT" MAIS PROFUNDO	~ 400
		SOPH-BRUMADINHO	QUARTZITOS, às vezes ferruginosos, GROSSEIROS a FINS, MICACEOS ou NÃO, com NÍVEIS DE FILITOS/XISTOS SEMCITICOS INTERCALADOS e LENTES de COM GLOMERADOS LOCALMENTE QUARSIFEROS OLIBOMICTOS (FÁGIES ALTA-MIRA, com SEIXOS de QUARTZO DE VEDRO e QUARTZITO) e POLIMICTOS (SEIXOS de ITABRITOS PORRES e NICOS em FERRO, MINÉRIOS NICOS em FERRO, QUARTZITOS, "METACHERT" e MUITO RAROS SEIXOS de ROCHAS GRANÍTICAS DO FUNDAMENTO)	DEPÓSITOS MIOGEOSSINCLINAIS "SMELT" PRÓXIMO A MANHANTOS DISTENCENSAS	~ 400
		SÃO JOÃO DA CAMPADA	QUARTZITOS MICACEOS ou NÃO, às vezes CONGLOMERÁTICOS ou com SEIXOS ESPARADOS NA PARTE BASAL DA SEQUÊNCIA (SEIXOS de QUARTZO DE VEDRO, QUARTZITO, FILITOS/XISTOS) FILITOS e FILITOS MENADITICOS em NÍVEIS INTERCALADOS	"SMELT" RASO e ATIVIDADE VULCÂNICA	~ 50
	SEQUÊNCIA DE XISTOS VERDES INDIÚVISO	CLORITA-ACTINOLITA-ALBITA-QUARTZO, QUARTZO-CLORITA, QUARTZO-CLORITA-SEMICITA-E SEMCITA-QUARTZO-XISTOS/FILITOS DERIVADOS DE TUPOS, TUROS e VULCANITOS (I) MÁFICOS a ÁCIDOS SUBORDINADAMENTE XISTOS e FILITOS METAPÉLITICOS BASIFEROS e XISTOS METAPÉLITICOS COM CLORITÓIDE	DEPÓSITOS VULCÂNICO CLÁSTICOS EM ÁGUAS RASAS	~ 100 a AUSENTE, DEVIDO A NÃO DEPOSIÇÃO (OU SEU LOCAL SIMBO)	
ARQUEANO INDIÚVISO			COMPLEXO MIMÉTITO GRANULÍTICO DE NÍVEIS GERAIS	SUPERGRUPO (GREENSTONE BELT) DAS VELHAS	



O Supergrupo Espinhaço se estende em relictos de erosão, ao longo da borda leste do Quadrilátero Ferrífero até Florália e Mariana, bem como ao sul do Quadrilátero até Ouro Branco, formando a serra do mesmo nome (Schorscher, 1980; Inda et al., 1984).

Nas áreas de extensão maior e mais contínua, o Supergrupo Espinhaço apresenta-se dobrado segundo eixos principais de direção N-S (Pflug et al., 1969). Foi sujeito ao cavalgamento por falhas de empurrão de alto ângulo, vergência W e arranjo geométrico "en echelon" (Branner, 1919). De W para E, as intensidades do dobramento, dos empurrões e do metamorfismo são crescentes.

Na região do Quadrilátero Ferrífero o rejeito dos empurrões individuais foi aparentemente maior, o que causou uma erosão mais profunda e conservou somente corpos alongados N-S, "encunhados" por falhas de mesma direção no complexo migmatítico.

As falhas de empurrão de alto ângulo que afetaram o Supergrupo Espinhaço são anteriores aos nappes Minas no Quadrilátero Ferrífero. Similarmente são os "metabasitos" que cortam todas as unidades desde o embasamento até o Supergrupo Espinhaço em diques e intrusões frequentes, as quais sofreram metamorfismo regional igual a este, mas não cortam os metassedimentos das estruturas Minas (Schorscher et al., 1982, Inda et al., 1984).

### 3.5 - MAGMATISMO BASÁLTICO E COBERTURAS CENOZÓICAS

Posteriormente ao magmatismo básico tarde-Espinhaço que foi afetado pelo metamorfismo regional progressivo "Minas-Espinhaço", ocorreram duas fases distintas de magmatismo basáltico na região do Espinhaço meridional e Quadrilátero Ferrífero (Schorscher, 1975; Schorscher et al. 1982). A mais antiga produziu rochas grosseiras bastante raras, de composição mineralógica de toleitos continentais, mostrando localmente reações termometamórficas (coroníticas) sem evidenciar efeitos de defor

mação. Foram considerados rochas Prê-Cambrianas posteriores a orogênese Minas-Espinhaço e anteriores ao evento termal Brasileiro.

A fase mais jovem do magmatismo basáltico produziu augita-basaltos com tendências alcalinas e texturas caracterizadas por granulação fina a parcialmente vítrea. Estes são considerados Pós-Pré - Cambrianos em idade e podem ser relacionados com o magmatismo Basáltico - Mesozóico que afetou o continente brasileiro.

Depósitos sedimentares Pós-Pré-Cambrianos são pouco expressivos na área considerada, ocorrendo apenas duas bacias terciárias (de Fonseca e de Gandarela) no Quadrilátero Ferrífero e, na área do presente estudo, somente alguns depósitos de aluviões quaternários a recentes, espalhados pelo complexo cristalino, ao longo dos principais rios que drenam a região. Estes apresentam algum interesse econômico para extração artesanal de ouro.

### 3.6 - EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA

A região do Quadrilátero Ferrífero e a área de estudo (parte leste deste) apresentam evolução geotectônica policíclica por orogêneses superimpostas, arqueanas e proterozóicas.

Os principais eventos geotectônicos na região foram (Schorscher, 1975; Schorscher et al., 1982; Inda et al., 1984):

- 1) Os processos magmáticos de alto grau metamórfico e deformacionais que originaram o complexo migmatito-granulítico de Minas Gerais em sua constituição "primária".
- 2) A constituição e orogênese do Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano), que causou polimetamorfismo na área de estudo, retrometamorfisou em condições de facies xisto verde os constituintes "primários" do complexo basal, com modificações petrográficas que no

geral não podem ser diferenciadas das orogêneses posteriores (Proterozóicas). Nesta orogênese houve provavelmente uma rehomogeneização parcial do sistema Rb-Sr, produzindo idades de 2.700 m.a. (Herz, 1970; Brito Neves et al., 1979; Cordani et al., 1976; Inda et al., 1984), nas rochas do complexo, além de causar o primeiro metamorfismo progressivo dos depósitos do "Greenstone Belt" Rio das Velhas.

- 3) A constituição e orogêneses dos depósitos Minas-Espinhão (Proterozóico ? Inferior, ? médio) que resultou no principal metamorfismo regional progressivo em condições P-T crescentes de W para E, de facies xisto verde inferior a anfibolito e hidrogranulito, causou desde retrometamorfismo até remigmatização nas rochas "primárias" do complexo basal, dependendo do grau regionalmente alcançado, bem como metamorfismo progressivo dos depósitos Rio das Velhas (2ª e principal fase), Minas e Espinhão.

Relacionados com este ciclo tectono-metamórfico, especificamente as suas expressões regionais menores, de milonitização e metassomatismo potássico, formaram-se provavelmente os principais granitoides secundários do complexo basal, do tipo "Borrachudos", na área de estudo.

A idade deste ciclo é ainda indefinida. Existem datações radiométricas em torno de 2.000 a 1.700 m.a. e de 1.500 a 1.100 m.a. (Herz, 1970), Cordani et al., 1976; Brito Neves et al., 1979, Teixeira 1985). Originalmente prevaleceu a atribuição dos processos geológicos descritos nas idades mais antigas, transamazônicas; atualmente a tendência é contrária, o que favorece o período Uruçuano.

- 4) O evento termo-tectônico do ciclo Brasileiro (450-650 m.a.) causou o mais recente retrabalhamento do complexo basal, o termo-metamorfismo dos toleitos continentais pós Minas-Espinhão e a formação de "uplifts" tectônicos do tipo complexo Bação.

- 5) A reativação Fanerozônica da plataforma brasileira se evidencia na Área pela mais recente tectônica de fraturamentos e pela ocorrência de corpos/diques isolados de augita-basaltos.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

Os resultados deste trabalho são apresentados de tal forma que permitem enfocar conhecimentos geológicos da região e características das diferentes unidades e estruturas, identificadas e interpretadas a partir das imagens TM/LANDSAT (Apêndice A) e das fotografias aéreas em preto e branco, coloridas normais e infravermelhas falsa cor (Apêndice B).

As unidades definidas na fase fotointerpretativa foram correlacionadas com unidades geológicas, através de consulta bibliográfica e com base em dados de campo preexistentes e oriundos de levantamentos próprios (Seção 2.3.3).

Obtiveram-se na área pesquisada as características e distribuição fotogeológicas de três sequências de rochas metassedimentares compreendidas pelos supergrupos Rio das Velhas (Arqueano), Minas e Espinhaço (Proterozóicos) e, em grande parte da região, das rochas cristalinas pertencentes ao Complexo Migmatito-Granulítico de M.G., predominando os gnaisses e migmatitos (Arqueano com retrabalhamento no Proterozóico). Subordinadamente ocorrem intrusões metabásicas (Proterozóicas) e raras e pequenos diques e depósitos de basaltos Mesozóicos e aluviões Quaternários, respectivamente.

Na análise das imagens TM/LANDSAT houve uma preferência pelos canais 3, 4, 5 e 7; o canal 4, referente ao intervalo espectral de 0,76 a 0,90  $\mu$  (infravermelho próximo), foi o mais utilizado, pois mostrou-se mais eficiente para o estudo geológico-estrutural da área devido ao maior realce da morfologia observado nesta banda espectral (Apêndice E).

Neste produto, a tonalidade, a textura e as feições morfológicas permitiram distinguir a maioria das unidades geológicas, não

tendo sido possível estabelecer ou diferenciar subunidades nos supergrupos Espinhaço, Minas, Rio das Velhas e no Complexo Migmatito - Granulítico, com o mesmo grau de detalhe alcançado com as fotografias aéreas, principalmente com as coloridas em falsa cor.

A visão global fornecida pelas imagens TM/LANDSAT permitiu a observação na sua totalidade das unidades geológicas e facilitou o reconhecimento do seu comportamento estrutural (Apêndice E). Foi analisada uma série de alinhamentos de relevo e drenagem, interpretados como falhamentos inverso/empurrão e transcorrentes (Apêndice A). A distribuição espacial das unidades interpretadas, aliadas à análise das assimetrias de relevo e drenagem e do posicionamento estratigráfico-estrutural, permitiu a interpretação de dobramentos sinformais (Apêndice A). As fotointerpretações do Apêndice A foram completadas com dados do mapeamento das áreas vizinhas por Reeves (1966) e Guba (1982) nas áreas adjacentes a leste, por Schorscher (1975) ao norte e por Simmons (1968), Maxwell (1972) e Sichel (1983) a oeste.

A interpretação das fotografias aéreas foi feita com o intuito de comparar, detalhar e adicionar informações às interpretações obtidas com as imagens LANDSAT. Iniciou-se esta etapa do trabalho na folha de Florália por ser a região sobre a qual se dispunha de maior volume de dados de campo não publicados de Schorscher e Mothe Filho, além de ser de posição intermediária entre a folha de São Gonçalo ao norte e a terceira folha, sem nome, ao sul de Florália (Figura 1.2).

As propriedades de reconhecimento mais significativas na análise desse produto foram: resistência à erosão, plasticidade x ruptibilidade, formas de encosta e assimetria de relevo. Auxiliaram ainda as interpretações litológicas as cores verdadeiras dos produtos superficiais de intemperismo, observáveis localmente nas fotografias aéreas coloridas normais.

#### 4.1 - IMAGENS TM/LANDSAT E FOTOGRAFIAS AÉREAS

São apresentadas a seguir as características das diferentes unidades fotogeológicas e das estruturas identificadas e interpretadas nos produtos citados e constantes dos mapas geológico - estruturais (1:100.000 e 1:50.000) Apêndices A e B, elaborados essencialmente a partir de dados do TM/LANDSAT (Apêndice A) e das fotografias aéreas da Missão 69 (Apêndice B).

##### 4.1.1 - UNIDADES

As unidades fotogeológicas discriminadas serão descritas na ordem litoestratigráfica-estrutural adotada (Tabela 4.1) e incluem constituintes primários e secundários, s.l. graníticos, do Complexo Migmatito-Granulítico de M.G., as continuações orientais do "Greenstone Belt" Rio das Velhas com ocorrências minerais locais de ouro, relitos de erosão dos supergrupos Minas e Espinhaço, sem evidenciar suas relações mútuas de idade, seja nas imagens ou no campo (através de observações diagnósticas diretas), metamagmatitos e magmatitos ultramáficos e basálticos e depósitos aluvionares sub-recentes e recentes.

TABELA 4.1

COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA DAS GRANDES UNIDADES (PRÉ-CAMBRIANAS)  
DISCRIMINADAS NA ÁREA DE ESTUDOS

IDADE	SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	COMPOSIÇÃO LITOLÓGICA
FINERZOZÓICO	Coberturas Cenozóicas Magmatismo Neotético	-	-	Canga, Depósitos aluvionares, Basaltos.
	Magmatismo Cásico	-	-	Metabásitos
PROTEROZOICO	Supergrupo Espinhaço	Sem diferenciação Estratigráfica	-	Quartzito micáceo, quartzito silicificado, quartzito ferruginoso sacarádeo conglomerá- tico com selos de stibiroto, quartzos - mus- covita-estibio.
		Sem diferenciação Estratigráfica	-	Quartzitos, quartzito ferruginoso, carco- muscovita-estibio, estibio granífero e sis- tios máficos.
	Grupo Piracicaba	Formação Carcadinho	Filites prateadas, quartzitos micáceos e sacarádeos finos.	
	Grupo Itabira	Fm. Candarelo	Itabirito dolomítico e filitos.	
Fm. Cova		Itabiritos		
ARQUEANO	Supergrupo Rio das Velhas ("Greenstone Belt")	Grupo Nova Lima	-	Xistos meta-efêlicos às vezes grafíticos, xistos granatíferos, formações fibrosas, metabásicos e xistos metakalimáticos.
		Grupo Quebra Osso	-	Metakalimáticos
Gnaisses, Migmatitos e Granitóides Arqueanos retrabalhados nos Ciclos Proterozóicos (**)				
	Bialonitose Metasomática "Granito Borrachudo"			
	Complexo Migmatito- Granulítico de M.G.			<p>Domínio Litoestrutural com predominância de gnaisses, migmatitos e granitóides mais homogêneos.</p> <p>Domínio Litoestrutural com predominância de gnaisses, migmatitos e granitóides orientados.</p> <p>Domínio Litoestrutural com predominância de gnaisses, migmatitos e granitóides sem afloramentos.</p> <p>Domínio Litoestrutural de gnaisses e migmatitos de textura orientada.</p> <p>Domínio Litoestrutural de paragneisses não migmatizados, migmatito-gnaisse.</p> <p>Domínio Litoestrutural de gnaisses granoblasticos.</p> <p>Domínio Litoestrutural de migmatito-gnaisse e migmatito-xisto.</p>

Baseada em Carr (1969), Schorscher et al. (1952), Inca et al. 1984.

\*\* A disposição sequencial dos domínios litoestruturais na tabela não tem conotação cronológica.



#### 4.1.1.1 - COMPLEXO MIGMATITO-GRANULÍTICO DE M.G. - UNIDADE 1

Vários tipos litológicos do Complexo Migmatito-Granulítico apresentam características fotogeológicas próprias, que permitiram a sua individualização e, em geral, a sua subdivisão, conforme mostra o Apêndice B.

As rochas do Complexo Migmatito-Granulítico são, em geral, menos resistentes ao intemperismo e, deste modo, à erosão. Elas foram terrenos topograficamente baixos, suavemente ondulados, que são dissecados por uma drenagem dendrítica, como é o caso da unidade 1a, de gnaisses e migmatitos que ocorrem no oeste da folha na escala de 1:50.000 (Apêndice B). Nesta área encontra-se uma baixa densidade de elementos de textura de relevo (lineações) e baixo grau de estruturação. O relevo apresenta-se simétrico com encostas convexas, mostrando uma visão monótona da área com morros arredondados (Figura 4.1). A drenagem apresenta densidade média, tropia multidirecional desordenada com elementos mistos, predominando os curvilíneos. Entretanto, certas rochas são mais resistentes à erosão do que o comportamento médio do Complexo e apresentam um relevo colinoso. Este é o caso do Granito Borrachudos (1e), que é um constituinte secundário dele e, a partir de Florália, se estende por vários quilômetros na folha de São Gonçalo, onde aparece de maneira bem característica e ocupa uma área significativa (Apêndice B), formando escarpas proeminentes, que indicam uma alta resistência à erosão.

O outro conjunto individualizado no complexo embasamental ocorre na parte leste da área, formando a unidade 1b (Apêndice B). Esta unidade apresenta certa semelhança com a unidade 1a, em suas propriedades texturais de relevo (Apêndice C). No entanto foi separada desta, pois apresenta formas de encostas côncavo-convexas, mostrando maior resistência aos processos desnudacionais do que a unidade 1a, onde ocorrem encostas côncavas que revelam baixa resistência à erosão. Outro fator discriminatório foi a cobertura vegetal, que ocorre em maior densidade na unidade 1b.

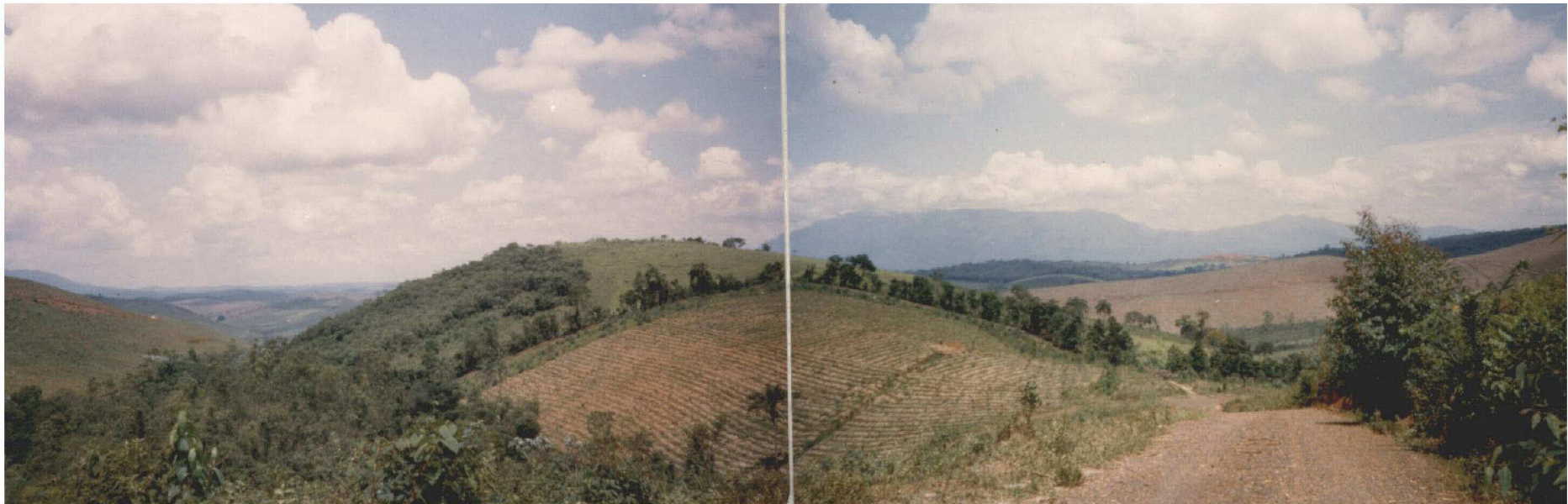


Fig. 4.1 - Morfologia suave em rochas gnáissicas e migmatíticas.

A fotografia mostra, no primeiro plano, morros arredondados de morfologia suave, modelados tipicamente em rochas gnáissicas e migmatíticas, constituintes primários do Complexo Migmatítico-Granulítico de MG. No plano de fundo apresenta cristas da serra metassedimentar quartzítica do Caraça. Fotografia tirada a partir do ponto 82, na estrada Santa Bárbara - Florália, com visada SW (Apêndice D).

Dados geológicos de campo definem esta unidade como gnaisses, migmatitos e granitóides. Nesta região as rochas se encontram muito intemperisadas e, por isso, é uma área pobre em afloramentos.

Algumas "estruturas" foram individualizadas nas unidades 1a e 1b pela forma circular que elas apresentam (Apêndice B), pelo relevo um pouco mais acidentado, pela tropia, que na região da estrutura circular mostra-se multidirecional ordenada, enquanto no restante da área apresenta-se unidirecional, pela baixa densidade de lineações de relevo e médio a alto grau de estruturação. As litologias observadas nessas "estruturas circulares" são idênticas às externas, de gnaisses e migmatitos. Interpreta-se sua origem como de pequenos "soerguimentos" causados possivelmente por pequenas intrusões graníticas que não alcançaram o nível atualmente exposto pela erosão.

Ainda nesta parte leste da área encontra-se a unidade 1c (Apêndice B), que se destaca por apresentar densidade textural de relevo maior que as unidades 1a e 1b, porém menor que as demais unidades do complexo embasamental (Apêndice C). Outras propriedades características são as lineações de relevo, regularmente ordenadas, que lhe conferem um grau de estruturação médio, simetria de relevo, formando cristas bem salientes na topografia, encostas côncavas e vegetação de gramíneas.

Dados geológicos desta área citam gnaisses e migmatitos, havendo predominância de gnaisses.

Ao norte da área, encontra-se a unidade 1d. Esta apresenta um relevo mais dissecado que as unidades anteriormente descritas é moderadamente assimétrica, com encostas côncavo-convexas a côncavas, e foi definida principalmente em função da alta densidade de lineações de relevo (Apêndice C) e drenagem, que reflete a foliação e/ou o cataclamento das rochas que a compõem, e do alto grau de estruturação, observado através do desenvolvimento acentuado e ordenado dos elementos texturais de relevo. Esta faixa 1d envolve o granito Borrachudos (1e) (Fi

gura 4.2) e gradativamente passa para unidade 1h, onde ocorre um relevo mais dissecado que na unidade 1d, com formas de encostas côncavo - convexas em função da média resistência à erosão, relevo moderadamente assimétrico e alto grau de estruturação.

Esta unidade 1h, também ocorre na área ao sul de Florália, a leste do Rio Piracicaba, com um relevo bastante dissecado e uma foliação bastante intensa, caracterizada pela alta densidade de lineações de relevo.

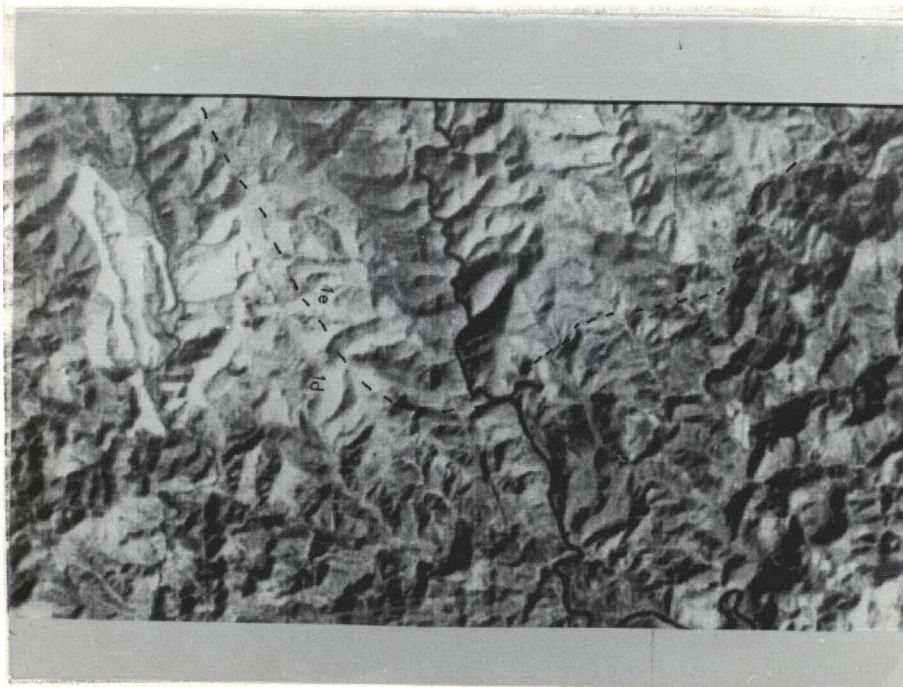


Fig. 4.2 - Imagem TM/4.

Fotografia da imagem TM canal 4 que mostra a unidade 1d a leste, a qual envolve o granito Borrachudos (1e). Escala aproximada: 1:100.000.

Dados de Schorscher (1975) caracterizam petrograficamente a unidade 1d como de paragneisses cataclásticas (milonitizadas). Tal interpretação sofreu modificações parciais mais recentes (Schorscher, comunicação verbal), enfatizando a natureza cataclástica da faixa em questão e incluindo entre seus constituintes litológicos também milonito-



gnaisses derivados de rochas arqueanas do Complexo Migmatito-Granulítico. Os gnaisses cataclásticos desta faixa (1d) passam para leste gradativamente a gnaisses granoblásticos (1h) e finalmente a granitóides mais grosseiros e homogêneos (em regiões externas à área deste trabalho).

A leste da área, na região de São Gonçalo, ocorre a unidade 1f, de milonito-gnaisses, com intercalações de milonito-xistos subordinadas, que envolvem o granito Borrachudos (Figura 4.3). Esta unidade apresenta uma intensa foliação cataclástica refletida pela densa quantidade de elementos de textura de relevo e drenagem (lineações) que ocorrem nesta região (Apêndice C) pelo alto grau de estruturação, pela baixa resistência à erosão e pelo relevo fracamente assimétrico e mais dissecado que nas unidades 1d e 1a1. A subdivisão desta unidade em 1f1 baseou-se no fato de ocorrerem mudanças no relevo (densidade textural de relevo mais acentuada), na drenagem (mais densa) e na cobertura vegetal (mais densa). Dados geológicos desta região caracterizam a unidade 1f1 como milonito-gnaisses, com intercalações frequentes de milonito-xistos.



Fig. 4.3 - Foliação cataclástica - TM/4.

Fotografia da imagem TM, canal 4, que visualiza a foliação cataclástica que ocorre nesta parte da área de estudos. Na parte leste ocorrem as unidades 1f e 1f1 e na porção oeste, a unidade 1a1.

Escala aproximada: 1:100,000.

A unidade 1a1 (migmatitos, gnáisses e granitóides orientados) apresenta um relevo de colinas como na unidade 1a, porém as colinas que ocorrem na área 1a1 são mais altas e côncavo-convexas, isto é, as rochas que compõem esta unidade apresentam maior resistência à erosão do que as que compõem a 1a, onde ocorre um relevo de morros arredondados que mostra maior homogeneidade composicional das rochas. Também foi observado nestas unidades uma variação com relação à densidade textural de relevo e ao grau de estruturação (Apêndice C). A unidade 1a1 possui uma densidade textural mais elevada (maior quantidade de lineações de relevo) e um grau de estruturação moderado a alto (orientação preferencial das lineações de relevo), enquanto a unidade 1a possui baixa densidade textural de relevo e baixo grau de estruturação (Figuras 4.3 e 4.4).

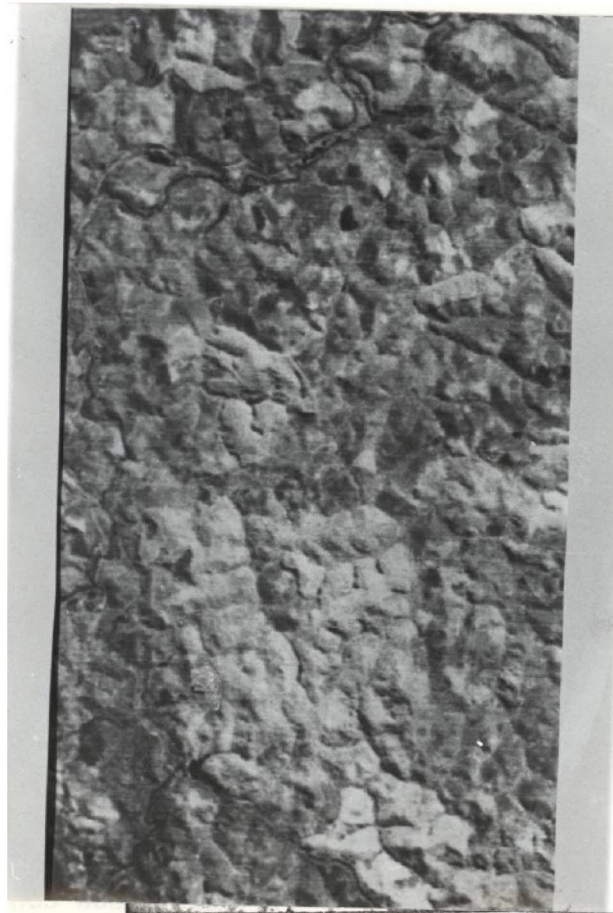


Fig. 4.4 - Morfologia de morros arredondados TM/4. Fotografia da imagem TM, canal 4, na parte oeste da área de estudos, unidade 1a, onde ocorre uma morfologia suave, com morros arredondados (ver Figura 4.1). Escala aproximada: 1:100.000.

Dados geológicos desta área enfatizam a predominância de migmatitos na unidade Ia1, enquanto na unidade Ia ocorrem mais frequentemente intrusões e, em geral, granitóides mais homogêneos.

A subdivisão do Complexo Migmatito-Granulítico foi possível, principalmente utilizando as fotografias aéreas, com o recurso de estereoscopia, o que permitiu caracterizar bem as propriedades texturais de relevo.

Nas imagens TM a delimitação foi mais difícil e imprecisa, exceção feita ao granito Borrachudos, pois ele apresenta um relevo bastante expressivo.

No campo, a delimitação destas unidades muitas vezes só foi possível pela morfologia da área, que às vezes apresenta relevo do tipo mar de morros, e outras vezes escarpado. No caso do granito Borrachudos, além de apresentar um relevo bastante característico, ocorrem também afloramentos de grandes dimensões.

#### 4.1.1.2 - SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

O supergrupo Rio das Velhas constitui uma sequência "Greenstone Belt" completa na região do Quadrilátero Ferrífero (Schorscher 1978, 1979, 1980; Inda et al., 1982), e foi identificado em partes da área de estudo através de levantamentos geológicos de campo (Schorscher, relatório inédito; Mothé Filho, dissertação de mestrado em fase de conclusão) e estudado e delimitado regionalmente neste trabalho com base em elementos fotointerpretados. Ocorre de maneira significativa na região da folha de Florália, enquanto nas áreas de São Gonçalo e ao sul de Florália, restringe-se a áreas menores. Nesta última área, o seu contato é indefinido (ver Apêndice B), pois a sua continuação na região é bastante duvidosa sob aspectos dos dados de interpretação visual, que não foram muito característicos.



## 1) Rochas Ultramáficas

### a) Grupo Quebra Osso - unidade 2

As rochas deste grupo ocorrem em pequena extensão na área e são representadas por talco-tremolita-clorita-serpentina xistos e, mais frequentemente, por xistos mineralogicamente mais complexos resultantes de misturas em proporções variáveis destas litologias, que ainda se apresentam comumente portadoras de carbonatos-magnésiticos. Essas rochas, quando frescas, apresentam coloração verde-escura e, quando alteradas, produzem solos de coloração ocre.

O grupo Quebra Osso, ultramáfico inferior do "Greenstone Belt" Rio das Velhas, foi a unidade de mais difícil identificação nos produtos fotográficos estudados, pois não foram encontrados critérios que a definissem e a separassem do Grupo Nova Lima, com o qual está em contato direto. Tão somente nas fotografias aéreas infravermelhas falsa cor foi observada uma orientação preferencial mais pronunciada nas suas rochas.

A natureza das rochas do Grupo Nova Lima e do Grupo Quebra Osso não é suficientemente contrastante para influenciar a textura fotográfica dos produtos utilizados, de modo que se possam discriminar estas duas unidades.

De um modo geral o Grupo Quebra Osso se apresenta na área deste trabalho em ocorrências descontínuas, disruptas, mas de posicionamento litoestratigráfico-estrutural típico, ao longo do contato entre o Grupo Nova Lima e o Complexo Migmatito-Granulítico de MG. A natureza tectônica deste contato, aliada à plasticidade mecânica das rochas ultramáficas, é vista como a principal causa do modo de ocorrência, fisicamente descontínuo, do grupo, que também não preservou outras evidências estruturais e/ou texturais de sua origem extrusiva.

b) Outras ocorrências de rochas ultramáficas

Na área foram encontradas outras ocorrências de rochas metaultramáficas no Grupo Nova Lima e no Complexo Gnáissico Migmatítico, com características mineralógico-petrográficas idênticas às do Grupo Quebra Osso. Essas ultramáficas serão consideradas no item (d) do Grupo Nova Lima e no item 1 das rochas metaígneas e ígneas.

2) Grupo Nova Lima - unidade 3

Este grupo mostra uma grande variedade litológica, sendo os xistos e filitos os constituintes predominantes. Ocorrem também em menor proporção metabasitos, formações ferríferas, rochas metaultramáficas, quartzitos, entre outras. As litologias deste grupo são sempre profundamente intemperizadas e comumente apresentam cor marrom, cinzenta ou vermelha. As melhores exposições de rochas frescas ocorrem em afloramentos artificiais, tais como corte de estrada ou de linhas férreas, e ainda em minas subterrâneas.

O Grupo Nova Lima ocorre na região estudada em uma larga área de exposição de forma irregular, controlada principalmente pelas direções N-S e E-W.

Apresenta um relevo bastante acidentado, circundado por cristas (quebras positivas de relevo) do Supergrupo Espinhaço ao norte e a oeste, na área próxima de Florália. As continuações meridionais se estendem em duas faixas estreitas, aproximadamente paralelas, para o sul, e as ocorrências a NW de Florália são "cortadas" pela terminação SW do granito Borrachudos.

Este grupo apresenta características fotogeológicas que permitiram a individualização, em áreas específicas, de subunidades de xistos, metabasitos, formações ferríferas, rochas metaultramáficas e outras litologias, que não foram passíveis de identificação nos trabalhos de campo, devido ao profundo intemperismo.

a) Xistos

Nas regiões do presente estudo todas as litologias constituintes do Grupo Nova Lima, até as formações ferríferas, podem ser incluídas neste termo, devido às suas propriedades estruturais e texturais. Não é neste sentido que ele vem sendo usado aqui para caracterizar algumas subunidades fotogeológicas do grupo em questão. Referem-se tão somente a xistos metapelíticos e metavulcanoclásticos e a seus produtos de intemperismo. Estes apresentam em amostras petrograficamente estudadas teores predominantes, ainda que em proporções relativas, variáveis de muscovita (sericita), biotita, clorita e de quartzo, frequentes teores de granada e/ou estauroлита e subordinados de actinolita, plagioclásio, carbonatos e opacos, ou seja, evidenciam contribuição terrígena e enriquecimento de Al (por processos intempéricos) nos sedimentos originais, pré-metamórficos.

Mesmo de maneira petrograficamente restrita, incluem-se nesta unidade (3a, Apêndice B) a grande maioria das rochas do Grupo Nova Lima, que podem portanto ser descritas como sequência de xistos com níveis individuais de formações ferríferas, metabasitos, rochas ultramáficas e outras.

Neste contexto litológico os xistos se apresentam com aspecto de colinas muito pouco onduladas, relevo assimétrico e formas de encostas convexas que caracterizam a fraca resistência destas rochas à erosão, média densidade de lineações de relevo interpretadas como traços de foliações, e forte grau de estruturação. Ocorre uma vegetação bem exuberante.

Tipos petrograficamente distintos, como xistos grafíticos, granatíferos e manganésífero, foram individualizados em subunidades, ainda que de maneira preliminar (3d, 3e e 3j, Apêndice B), por apresentarem limites bem-definidos, estabelecidos através de quebras negativas de relevo, de relevo fracamente assimétrico e mais dissecado que na unidade 3a, e de formas de encostas côncavo-convexas.

As unidades 3f e 3f1 do Apêndice B foram individualizadas e diferenciadas das demais unidades através das quebras negativas de relevo e por apresentarem relevo fracamente assimétrico, formas de encostas côncavas e côncavo-convexas, e médio a alto grau de estruturação.

Nos trabalhos de campo dirigidos à verificação específica dos dados fotointerpretados, foi possível confirmar a existência de algumas das subunidades identificadas (principalmente nas fotografias aéreas infravermelhas de falsa cor), até então desconhecidas (3c, 3d, 3e, 3f e 3f1 do Apêndice B). Em outros casos só foram encontrados produtos muito alterados, e em partes da área não foi possível o acesso pela densidade de vegetação. As subunidades 3b, 3h e 3i do Apêndice B, sem definição litológica, foram delimitadas através de quebras negativas de relevo, média e alta densidade de lineações, alto grau de estruturação, relevo simétrico bastante dissecado, alta densidade de vegetação.

#### b) Metabasitos

São anfibolitos normalmente de grã fina, os quais principalmente ao microscópio, mas também macroscopicamente, evidenciam ainda suas origens de rochas lato sensu basáltico-efusivas, seja por texturas fluidais ou porfiríticas, ou também por raras estruturas de lavas almofadadas, reconhecíveis apesar dos metamorfismos e das deformações regionais (Schorsch e Mothe Filho, comunicação verbal).

Tais rochas ocorrem de maneira significativa na área adjacente ao sul de Florália, na mina de ouro "do Pari", formando um corpo alongado de direção N-S, de posição litoestratigráfica estrutural limítrofe a W de Nova Lima ou com o Grupo Quebra Osso (quando presente), ou diretamente, por falha, com milonito-gnaisses do Complexo Migmatio-Granulítico de MG.

Os metabasitos ocorrem na área deste estudo, similarmente às demais ocorrências do Quadrilátero Ferrífero, preferencialmente nas

partes basais do Grupo Nova Lima, mas de maneira inconfundível e separadas das rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso. Ocorrem ainda rochas metabásicas similares, provenientes de efusões basálticas individuais, em níveis distintos, estratigráficos mais elevados, do Grupo Nova Lima. Todos os metabasitos podem ou não ser associados a formações ferríferas.

Os metabasitos se apresentam fotogeologicamente com nítidas quebras positivas de relevo, formas de encostas côncavas, baixa densidade de lineações (de relevo e drenagem), relevo simétrico, médio grau de estruturação e cobertos de vegetação densa. No Apêndice B foram englobados nas subunidades 3a, 3f, 3f1, e 3g.

#### c) Formações ferríferas

Estas rochas aparecem pela resistência ao intemperismo, com expressão topográfica dominante, formando cristas estreitas e alongadas com espessuras variadas (mas, em geral, de poucos metros) e extensões de vários quilômetros, sendo compostas por finas lâminas de quartzo, magnetita, carbonatos, sulfetos e/ou silicatos de ferro intercalados. Quando intemperizados, partes dos minerais ferríferos são substituídos por limonita e/ou dissolvidos (porosidades).

#### d) Rochas Metaultramáficas

No Grupo Nova Lima ocorrem níveis fotogeológicos distintos com relevo fracamente assimétrico, formas de encostas côncavo-convexas, médio a alto grau de estruturação e cobertura vegetal densa, delimitados através das quebras negativas de relevo, que depois de verificação de campo mostraram ser compostos por rochas metaultramáficas, associadas ou não a formações ferríferas e metabasitos (3c, 3f, 3f1, Apêndice B). Suas características mineralógicas são idênticas às das rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso, com paragêneses minerais controlados pelo grau do mais recente (e intensivo) metamorfismo regional. As metaultramáficas são estruturalmente concordantes com as demais litologias do Grupo Nova Lima (entre estas, xistos, formações ferríferas,

etc.) e são mais provavelmente derivadas metamórficas de derrames komatií-  
ticos individuais, posteriores ao Grupo Quebra Osso.

#### 4.1.1.3 - SUPERGRUPO MINAS - UNIDADE 5

Metassedimentos do Supergrupo Minas ocorrem em toda a área como relitos de erosão irregularmente distribuídos e descontínuos. As ocorrências de maior extensão foram delimitados nas Áreas de Florália e ao sul de Florália (Apêndice B).

Na região de São Gonçalo do Rio Abaixo (Apêndice B) foram individualizadas duas unidades fotogeológicas de pequeno porte, que constituem a terminação oriental do Sinclinal Gandarela. A continuação da análise fotointerpretativa desta estrutura regional para W (nas folhas Coais e Santa Bárbara, Figura 1.1) permitiu correlacionar, com base nos mapeamentos de Simmons (1968), Dorr (1969) e Sichel (1983), uma das unidades com o Grupo Caraça e com a Formação Cauê (Grupo Itabira) e a outra unidade com a Formação Gandarela (Grupo Itabira) do Supergrupo Minas. No Grupo Itabira e Formação Cauê foi facilmente identificada, pois constitui relevos de cristas (Figura 4.5) com formações ferríferas e platôs de canga, em toda a extensão das duas abas do Sinclinal Gandarela, bem-caracterizadas tanto nas imagens TM como nas fotografias aéreas. A formação Gandarela foi delimitada com muito facilidade nas fotografias aéreas de falsa cor, pois apresentam um relevo bastante dissecado e formas irregulares.

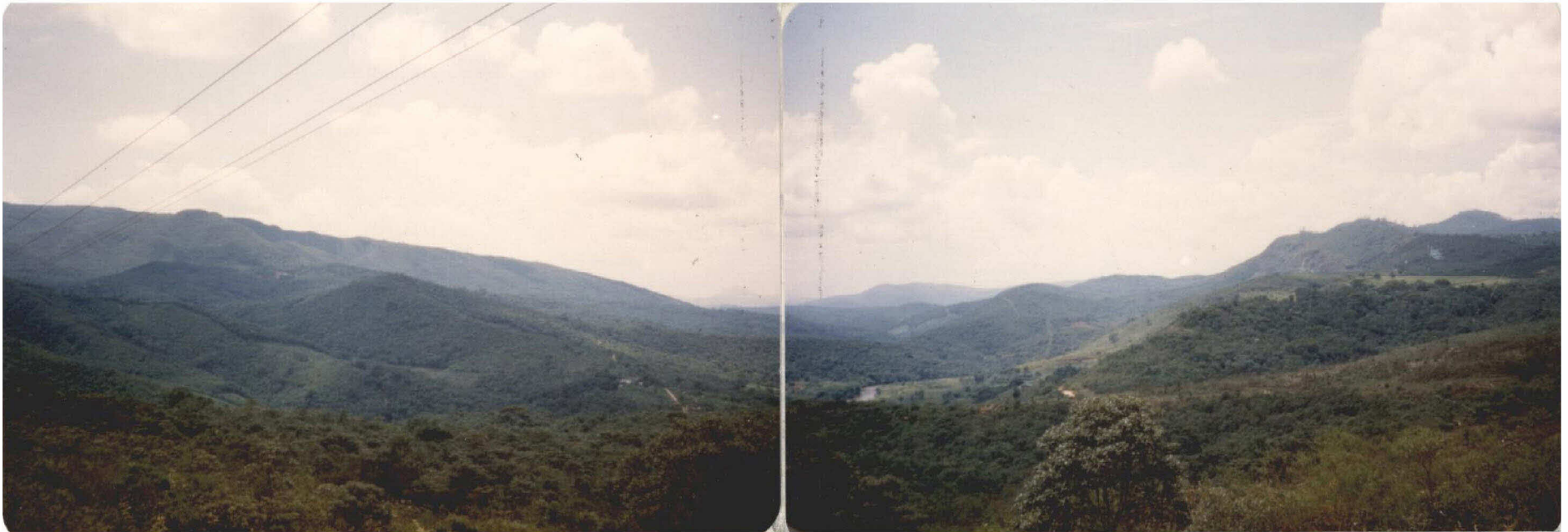


Fig. 4.5 - Terminação oriental do Sinclinal Gandarela. Montagem fotográfica da região de São Gonçalo do Rio Abaixo, que mostra a existência de três níveis de relevo. Um mais alto a leste, modelado no granito Borrachudos; um nível mais abaixo e mais dissecado, formado de milonito-gnaisses e milonito-xistos no centro; e a oeste observam-se cristas impostas no relevo pela Fm. Ferrifera Cavé-Sinclinal Gandarela (Supergrupo Minas). Fotografia tirada a partir do ponto 2, com visada NW e NE (Apêndice D).



Na região de Florália (Apêndice B), o Supergrupo Minas ocorre em estruturas de maior continuidade e de espessuras aparentes, em geral reduzidas a menos de 100m, no que se refere às unidades fotogeológicas típicas, quartzito-itabiríticas. Estas permitem uma individualização com alto grau de precisão, especialmente quando seu caimento é de alto ângulo, pelo contraste morfológico que fazem com as litologias encaixantes, por exemplo, com as rochas mais dissecadas do Complexo Gnáissico Migmatítico (Apêndice B, unidade 5). Fotogeologicamente caracterizam-se por apresentar baixa densidade de lineações de relevo; em algumas áreas são encontradas concentrações dessas lineações fortemente estruturadas, que dão origem a alinhamentos. O relevo é simétrico com formas de encostas côncavas e vales em V fechados. Os limites destas unidades foram bem delimitados através de quebras negativas de relevo. Observa-se também nestas unidades alto grau de estruturação e baixa densidade de drenagem. Estas unidades Minas, na parte SE da folha de Florália, ocorrem em conjuntos litológicos típicos, quartzíticos (correlacionáveis com o Grupo Caraça), itabiríticos (correlacionáveis com o Grupo Itabira) e de filitos prateados e quartzitos sacaroides e micáceos finos (correlacionáveis com a Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba), encaixados com milonito-gnaisses e xistos granatíferos em zona de falhas inversas de alto ângulo.

Diferentemente, sob aspectos fotogeológicos, das ocorrências supradescritas apresenta-se o Supergrupo Minas na porção sul da folha de Florália.

Encontram-se nesta região essencialmente as mesmas unidades litoestruturais, porém com expressão fotogeológica diferentes, tais como: maior densidade de lineações de relevo, maior densidade na rede de drenagem, relevo fracamente assimétrico com formas de encostas côncavo - convexas. As quebras positivas e negativas de relevo já não são bem nítidas, o que dificulta o traçado do limite desta unidade com as unidades vizinhas. Para tal fato, possíveis explicações encontradas no campo foram: reduções primárias sinsedimentares e/ou tectônicas e/ou erosivas da espessura global dos estratos quartzito-itabiríticos para poucas dezenas de metros ou, frequentemente, mesmo para apenas poucos metros, aliadas ou não a modificações geológico-estruturais e morfológicas. Foi verificado que



unidades quartzito-itabiríticas, ainda que de espessuras reduzidas, são bem reconhecíveis em imagens e fotografias aéreas quando têm altos ângulos de mergulho e que perdem esta expressão com a redução dos ângulos de caimento. Na porção sul da região de Florália, aqui especificamente considerada, as unidades quartzito-itabiríticas Minas se apresentam, em geral, reduzidas para espessuras de poucos metros e têm mergulhos suaves, sub-horizontais, que formam frequentemente as coberturas superficiais delgadas do relevo atual.

Situação similar caracteriza os modos de ocorrência do Supergrupo Minas na região situada ao sul de Florália, onde se encontram na porção leste fina "tira" de direção preferencial N-S, constituída por metassedimentos quartzito-itabiríticos com caimento a ângulos elevados para E, facilmente delimitável nos produtos analisados pelas formas de encostas côncavo e côncavo-convexas, relevo fracamente assimétrico, baixa densidade de lineações e médio a alto grau de estruturação. Esta contrasta com a expressão fraca das unidades estratigraficamente equivalentes que ocorrem na estrutura situada a centenas de metros de W na mesma folha (Apêndice B).

No conjunto de metassedimentos Minas, existe certa problemática litoestrutural e estratigráfica relativa às unidades de xistos máficos e granatíferos, intimamente associados às e/ou intercalados nas unidades quartzito-itabiríticas típicas, por exemplo, nas ocorrências das porções meridionais e orientais da folha de Florália (Apêndice B). Tais xistos, quando em ocorrências conjuntas, intercalados com os metassedimentos Minas típicos, foram encontrados no campo somente em estado muito avançado de decomposição intempérica, reconhecendo-se apenas biotitas, cloritas decompostas, pseudomorfozes limoníticas e relitos de granadas, às vezes de estaurólitas, quartzo e material argiláceo, em geral manganêsífero e/ou grafitoso. Inexiste uma definição estratigráfico-estrutural destes xistos, que aparentemente podem ocorrer em diferentes níveis da sequência Minas, inclusive numa só ocorrência. Xistos granatíferos com estaurólita, em conservação fresca, foram encontrados por Mothô Filho (1986) em ocorrências regionalmente associadas com metassedimentos

Minas típicos, porém sem relação direta com estes metassedimentos (Apêndice B, unidade 5f).

Da bibliografia sobre o Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes são conhecidas rochas xistosas metapelíticas/metamáficas com granada (e estauroлита) de diferentes unidades litoestratigráficas (Tabela 4.1) por exemplo:

- Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas (Dorr, 1969);
- intercalações na "Sequência de Paragnaises", Supergrupo Minas (Schorscher, 1975; Schorscher et al., 1982);
- "sequência de xistos verdes", Supergrupo Minas (Schorscher, 1975; Schorscher et al., 1982);
- Formação Sabará, Grupo Piracicaba, Supergrupo Minas (Gair, 1962; Dorr, 1969);
- intercalações na Formação Elefante, Grupo Piracicaba; Supergrupo Minas (Reeves, 1966; Dorr, 1969);
- intercalações no embasamento cristalino indiviso (Guba, 1982).

É preciso mencionar que algumas destas denominações provavelmente se referem a unidades geológicas idênticas, ou seja, são nomes diferentes dados por autores de áreas distintas, a litologias de (parcial ou inteiramente) mesma posição estratigráfica, não reconhecidas como tais principalmente pela falta de mapeamentos litoestruturais contínuos. Similarmente é provável que sejam incluídas no mesmo termo (tanto regional como localmente) unidades petrograficamente similares, mas estratigraficamente diferentes, por correlações litológicas de escalas diferentes (locais e regionais).

Na área deste estudo (Apêndice B) foram reconhecidos xistos metapelíticos granatíferos com ou sem estauroлита (e outros xistos metamáficos associados) como partes do Grupo Nova Lima (Apêndice B, unidades 3d, 3j). Os xistos granatíferos, intimamente intercalados com metassedimentos quartzo-itabiríticos típicos, admitidos mais provavelmente

como unidades litoestratigráficas do Supergrupo Minas, ainda que não haja correspondência estratigráfica definida com a Formação Sabará ou com as demais unidades litológicas similares acima relacionadas, atribuídas a este Supergrupo. Estes xistos ocorrem em níveis finos demais para individualização na escala deste trabalho e foram compreendidos conjuntamente com as unidades Minas típicas (Apêndice B, unidade 5g). Foram reconhecidos e individualizados em mapa xistos granatíferos com estauroлита, regionalmente associadas às unidades Minas típicas, porém sem definição estratigráfica (Apêndice B, unidade 5f).

Na porção leste da região ao sul de Florália, foram identificados metassedimentos Minas típicos (Apêndice B, unidades 5h, 5i), aos quais se associam regionalmente xistos tentativamente incluídos no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima (Apêndice B, unidade 3j). A interpretação estratigráfica destes xistos é preliminar, baseada em apenas um perfil, situado na parte centro-sul da estrutura. Neste local as evidências litológicas dos xistos (já descritos) e sua associação com anfibólitos são bastante convencedoras e típicas para unidades xistosas vulcano-sedimentares do tipo "Greenstone Belt". A continuação destes xistos é fotointerpretada e foi verificada no campo em somente poucos pontos adicionais, em más condições de afloramentos; portanto, não pode ser excluída a possibilidade de haver regionalmente dentro da unidade foto geológica denominada 3j (Apêndice B) interdigitações, ou mesmo substituições dos xistos considerados com base em evidências locais como do Grupo Nova Lima, por outros com mesma expressão fisiográfica, possivelmente do Supergrupo Minas. A concordância regional é sugestiva para esta possibilidade (Apêndice B).

Em região adjacente a leste, em estudos de detalhe de formação nos minerais de Ferro do Morro Agudo, Guba (1982) encontrou estauroлита xistos que não delimitou mais detalhadamente e incluiu no Gnaisse Monlevade, considerado embasamento cristalino. Não é possível afirmar com segurança algo sobre a correlação destes com os xistos metapelíticos supradescritos (unidade 3j), mas provavelmente parece haver correlação com as unidades 5f ou 3a (Apêndice B).

#### 4.1.1.4 - SUPERGRUPO ESPINHAÇO - UNIDADE 4

O Supergrupo Espinhaço ocorre na região estudada, em relitos de erosão de porte variável, que formam corpos de serras maiores nas regiões de Florália e ao sul de Florália (Apêndice B).

As propriedades das rochas, essencialmente quartzíticas, que constituem o Supergrupo Espinhaço permitem delimitá-las com precisão nas fotografias aéreas e nas imagens TM (Figura 4.6), devido principalmente à alta resistência à erosão destas rochas, que constituem as cristas mais elevadas da região, relevo simétrico, formas de encostas côncavas, alto grau de estruturação e baixa densidade de drenagem,



Fig. 4.6 - Rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço na imagem TM/4.

Fotografia da imagem TM, canal 4, na porção sul da área ao sul de Florália, que mostra um relevo de crista formado por quartzitos do Supergrupo Espinhaço.  
Escala aproximada: 1:100.000.

Na região de São Gonçalo do Rio Abaixo (Apêndice B) foi identificada uma pequena ocorrência do Supergrupo Espinhaço (unidade 4, Apêndice B), em contato com as rochas do Supergrupo Minas e do Complexo Migmatito-Granulítico de MG, situado na extremidade oriental do Sinclinal Gandarela. Apesar das características fotogeológicas marcantes das rochas que compõem tal unidade, não foi possível subdividi-la devido à pequena extensão e ao fato de se tratar de uma só unidade fotogeologicamente homogênea, na escala de observação.

Na região de Florália (Apêndice B) o Supergrupo Espinhaço ocorre em uma faixa contínua com direções variáveis. Até um certo ponto da estrutura, segue concordantemente nas suas porções leste e norte as foliações principais das unidades xistosas do Grupo Nova Lima, o qual se amolda também ao Granito Borrachudos. No seu trecho de direção N-S, fica diretamente em contato com as litologias do Complexo Migmatito-Granulítico de MG. Foi possível subdividir esta unidade nas subunidades 4a, 4b e 4c (Apêndice B) utilizando principalmente os seguintes recursos de fotointerpretação: quebras negativas e positivas de relevo, formas de encosta, textura fotográfica e nível de cinza ou cor.

Na unidade 4a há uma predominância de quartzitos micáceos a quartzo-mica-xistos, que apresentam um relevo fracamente assimétrico, formas de encostas côncavo-convexas, nula densidade de lineações de relevo, textura lisa, tonalidade clara e densidade de drenagem maior que na unidade 4c e menor que na unidade 4b. As unidades 4b e 4c, formadas principalmente por quartzitos silicificados e quartzitos sacaroides ferruginosos, apresentam expressão morfológica bem característica. A unidade 4b apresenta maior densidade de lineações de relevo que a 4c, relevo mais dissecado, média densidade de drenagem, tonalidade mais escura que na unidade 4c, relevo simétrico e formas de encostas côncavas. A unidade 4c apresenta quebra positiva de relevo fortemente alinhada, formas de encostas côncavas, baixa densidade de lineações, alto grau de estruturação, tonalidade clara e drenagem ausente. Na unidade 4c encontram-se conglomerados polimíticos com seixos de itabiritos quartzo-hematíticos e até minérios de hematita rica. Tais conglomerados ocorrem sob



forma de lentes descontínuas na unidade, sendo intraformacionais. A unidade 4c, portanto, é, pelo menos em parte, correlacionável com a Formação Sopa Brumadinho do Supergrupo Espinhaço, e provavelmente inclui nas suas porções basais quartzitos da Formação São João da Chapada. Os quartzitos silicificados e os quartzo-mica-xistos e quartzitos micáceos das unidades 4b e 4a, respectivamente, provavelmente representam subunidades litológicas da Formação Galho do Miguel (Tabela 3.3, Schorscher, comunicação pessoal, 1986).

Na folha ao sul de Florália foi delimitada a maior ocorrência do Supergrupo Espinhaço da área de estudos, a qual forma um corpo alongado de direção aproximada N-S na porção central da folha (Figura 4.6). Morfologicamente tem expressão de serra, denominada Serra do Pinho (Figura 4.7, Apêndice B).



Fig. 4.7 - Serra do Pinho - Quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Quebra positiva de relevo formada de rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço (parte oeste da Serra do Pinho (Apêndice D)), em contraste com gnaisses e migmatitos do Complexo Migmatito-Granulítico de MG. Fotografia tirada do ponto 43 com visada E (Apêndice D).

A composição litológica, predominantemente quartzítica, apresenta variações composicionais e texturais que proporcionam características fotogeológicas diferentes, principalmente devido à alta resistência à erosão destas rochas. Foi possível individualizar neste corpo 7 subunidades fotogeológicas, principalmente através de quebras negativas de relevo. A direção destas segue a forma N-S da serra. De W para E seguem-se:

- A unidade 4c formada de quartzitos sacaróides ferruginosos e conglomeráticos, litológica e estratigraficamente equivalente à mesma unidade da estrutura Espinhaço, principal da folha de Florália a N (Apêndice B). Seguem para E quartzitos sacaróides grosseiros em duas unidades, separadas por uma quebra negativa de relevo (unidade 4i, Apêndice B). Pode tratar-se de dois bancos possantes de quartzitos separados entre si por contato estratigráfico normal ou tectônico. Estratigraficamente, estas unidades (4i) podem pertencer à porção superior da Formação Sopa Brumadinho ou à parte basal da Formação Galho do Miguel (Tabela 3.3). A unidade 4a (Apêndice B) é composta de quartzitos micáceos e quartzo-mica-xistos, rochas menos resistentes à erosão, às quais se sobrepõem os quartzitos ferruginosos e puros (unidade 4f, Apêndice B) em duas unidades separadas entre si por uma quebra negativa de relevo, similar ao caso das unidades 4i. A última unidade a seguir em direção E foi denominada 4d e é composta de quartzitos micáceos a quartzo-muscovita-xistos, similares ao da unidade 4a. Diferentemente destes, apresentam-se mais dissecados nas suas porções morfológicamente inferiores próximas do contato com o Complexo Migmatito-Granulítico de MG. Isto pode ser mais provavelmente um efeito do contato tectônico com os gnaisses do Complexo do que um efeito litológico, considerando o cavalgamento destes de E para W sobre os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço.

Quanto à situação estrutural-estratigráfica na ocorrência descrita, tem-se em geral caimento de direção E. A unidade 4c corresponde à Formação São João da Chapada, provavelmente representada por quartzitos basais pouco expressivos e menos puros, e à Formação Sopa

Brumadinho, composta de quartzitos com níveis e lentes de conglomerados intraformacionais com seixos de itabiritos. Seguem para E (inferidas es tratigraficamente em direção do topo) as unidades metassedimentares quartzíticas e de quartzo-mica-xistos, sob aspectos sedimentológicos mais maduras da Formação Galho do Miguel. Não se exclui a possibilidade de haver repetições tectônicas no perfil W-E, descrito.

#### 4.1.1.5 - ROCHAS METAÍGNEAS E ÍGNEAS

Incluem-se nesta seção litologias cujas relações litoestruturais com as demais unidades Pré-Cambrianas da região não ficaram claras, a exemplo de algumas ocorrências de rochas metaultramáficas, um grupo distinto de rochas metabásicas Minas/Espinhaço e uma ocorrência de basalto não-metamórfico.

##### 1) Rochas Metaultramáficas - unidade 6

Ocorrem dois corpos destas rochas como enclaves tectônicos no embasamento cristalino (unidade 1b do Complexo Migmatito-Granulítico de MG, Apêndice B). Os corpos são lenticulares de dimensões restritas, orientadas preferencialmente nas direções de NE a N-S. São constituídos de rochas xistosas de baixo grau metamórfico que se encontram frequentemente crenuladas, e as encaixantes do embasamento são catacladas nos contatos tectônicos. Parageneticamente, estas metaultramáficas não se distinguem das anteriormente descritas nos Grupos Quebra Osso (item a) e Nova Lima (item d).

Sob aspectos estratigráficos estruturais, estes corpos podem ser partes disruptas das unidades supracitadas Arqueanas, mas podem também ser metaultramáficas do tipo alpino do ciclo Minas - Espinhaço (Schorscher et al. 1982, Inda et al., 1984). Em falta de dados adicionais, foram compreendidas em grupo específico neste trabalho.



## 2) Metabasitos Minas-Espinhaço - unidade 7

Metabasitos deste grupo ocorrem por toda a área, cortando as demais unidades Pré-Cambrianas, exceto o Supergrupo Minas, com contatos intrusivos, como diques ou corpos ígneos de formas e direções variáveis.

Os metabasitos, quando vistos em afloramentos frescos, têm tonalidade verde-escura e granulometria grosseira. Quando intemperizados, originam solos avermelhados com blocos esferoidais. Em alguns casos aparece uma certa xistosidade.

Estas unidades separam-se das unidades vizinhas, pois elas geralmente apresentam alinhamentos bem-estruturados, que se destacam na morfologia da área, relevo fracamente assimétrico, formas de encostas côncavo-convexas, baixa densidade de lineações, médio grau de estruturação e cobertura vegetal bem-desenvolvida. Diferentemente apresenta-se a morfologia dos metabasitos quando intrusivos nas sequências quartzíticas do Supergrupo Espinhaço. Nestas, formam baixos morfológicos, sulcos e vales acentuados por ser mais susceptíveis aos processos intempéricos. Localmente, originam-se nos quartzitos intrudidos por estes processos formas bizarras de "torres" (Figura 4.8).

A cobertura vegetal também se apresenta mais desenvolvida nestas rochas do que sobre as rochas que as circundam, exceção feita quando ocorrem no Grupo Nova Lima, pois esta unidade também apresenta vegetação densa devido a sua composição.

As propriedades morfológicas, texturais e espectrais (incluindo vegetacionais) permitem fácil separação entre as metabásicas e as demais unidades litoestruturais da área, exceto quanto os metabasitos se encontram intrusivos no Grupo Nova Lima, que possui propriedades similares.



Fig. 4.8 - Relito de erosão sob forma de torre. Afloramento de rocha quartzítica do Supergrupo Espinhaço, a leste da Serra do Pinho. Observa-se na parte central da fotografia um relito de erosão de quartzitos sob forma de torre, com estratificação aparentemente sub-horizontal. Fotografia tirada a partir do ponto 38, com visada NE (Apêndice D).

### 3) Basaltos - unidade 8

Uma ocorrência de basaltos pós-tectônicos e não-metamórficos foi encontrada nos trabalhos de campo na região de Florália por Mothe Filho (dissertação de mestrado em conclusão). Forma um dique no Complexo Migmatito-Granulítico de MG, de espessura de cerca de 30m. Quando fresca, a rocha tem cor cinza escura e preta e granulação fina. Intemperisada, origina blocos esferoidais em material argiloso ocre-amarronzado.

Estes basaltos são considerados fanerozóicos, provavelmente mesozóicos (Schorscher et al., 1982; Inda et al. 1984). Uma caracterização fotogeológica mais pormenorizada não foi possível devido às condições de ocorrência única e restrita na área deste trabalho.

#### 4.1.2 - ANÁLISE FOTOESTRUTURAL

A análise fotoestrutural foi dirigida especificamente ao reconhecimento de feições planares, tais como: acamamentos, foliações, juntas e falhas ou fraturas e a identificação dos mergulhos de acamamentos e foliações/xistosidades. Baseou-se nas lineações e alinhamentos de relevo e drenagem e nas informações obtidas da assimetria de relevo e drenagem.

As lineações de relevo são representativas de traços de acamamento e as de drenagem, de traço de foliação ou fratura, enquanto os alinhamentos de relevo foram definidos como traço de acamamento ou dique e os de drenagem como traços de falhas ou discordância. Para tanto, foram extraídas as lineações de relevo e drenagem (Apêndice C) que permitiram principalmente a subdivisão do Complexo Migmatito - Granulítico de MG pela distribuição diferencial destes elementos em suas diversas porções e pelas suas diversas orientações, muitas vezes dispostas sem estruturação, e outras vezes fortemente estruturadas, conforme mostra a comparação dos mapas dos Apêndices B e C.

Destacam-se ainda as foliações/xistosidades no Grupo Nova Lima (região de Florália), que coincidem com o acamamento, conforme indicado pela orientação de formações ferríferas (unidades ff, Apêndice B) contidas neste grupo.

Nas unidades dos Supergrupo Minas e Espinhaço predominam os acamamentos, ainda que estes também coincidam com planos de xistosidade (Apêndice C).

Sistemas de juntas cortam todas as unidades Pré-Cambrianas (Apêndice C).

A drenagem da área é controlada pela estrutura geológica, e é em grande parte encaixada em falhas e fraturas (Apêndices B e D).

As falhas podem estar representadas localmente por segmentos retilíneos de rios ou alinhamentos de vegetação. As falhas aparecem também sob forma de sulcos (vales) retilíneos e estreitos, tendo ocasionalmente uma expressão topográfica positiva representada por alinhamentos de cristas (Apêndices A, B e D).

Com relação ao mergulho dos estratos (foliação/xistosidade), foi feita uma análise dos dados obtidos através de assimetria de drenagem e relevo, sendo este resultado comparado com algumas medidas de campo.

As distribuições espaciais das unidades interpretadas, aliadas à análise das assimetrias de relevo e drenagem e ao posicionamento estratigráfico-estrutural, permitiram a interpretação de fases de dobramentos e, assim, obtiveram-se informações sobre os eventos tectônicos dúcteis que afetaram a área de estudo.

Na região, duas fases de deformação dúctil foram observadas; na primeira fase ocorreram dobramentos do tipo cizalhante, que deram origem a dobras isoclinais deitadas com vergência variáveis, predominantemente para oeste e localmente noroeste. Na segunda fase ocorreram dobramentos mais suaves, que deram origem a dobras flexurais responsáveis pelos sinformes principais da área, conforme bem exemplificado pelas feições observáveis no Sinclínório do Grupo Nova Lima, na região de Florália.

#### 4.2 - ANÁLISE DIGITAL

A análise de cenas selecionadas das imagens TM, feita no IMAGE-100, teve como objetivo melhorar a qualidade visual da cena; procurou-se caracterizar feições e unidades seletivamente, através de técnicas

nicas de realce, na tentativa de obter informações adicionais que pudessem contribuir para o mapeamento geológico de semidetalhe (escala de 1:50.000).

Deve ser levado em consideração que esta etapa do trabalho foi realizada após análise visual e interpretação das unidades e estruturas nas imagens TM, fotografias aéreas, e após um conhecimento local da área.

As técnicas utilizadas fazem parte de um conjunto de opções disponíveis no Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID) do INPE.

A princípio foram observadas composições coloridas da área, ampliadas para a escala de 1:50.000.

A composição colorida é um modo de mostrar em um só resultado variações multiespectrais de alvos. Normalmente cada banda é associada a uma das cores primárias do vídeo de TV do I-100; deste modo, variações de respostas espectrais de vários materiais nas cenas serão mostrados por cores diferentes e por suas combinações e nuances na composição colorida.

A utilização de composição colorida representa um recurso adicional na informação, o que ocorre pela própria característica do olho humano, que apresenta maior capacidade e facilidade para discriminar variações sutis de cores do que de níveis de cinza.

Os resultados obtidos na fase inicial são ilustrados nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11, referentes à área ao sul de Florália, em imagem preto e branco, nos canais 4 e 5 em composição colorida 3R 4G 5B.



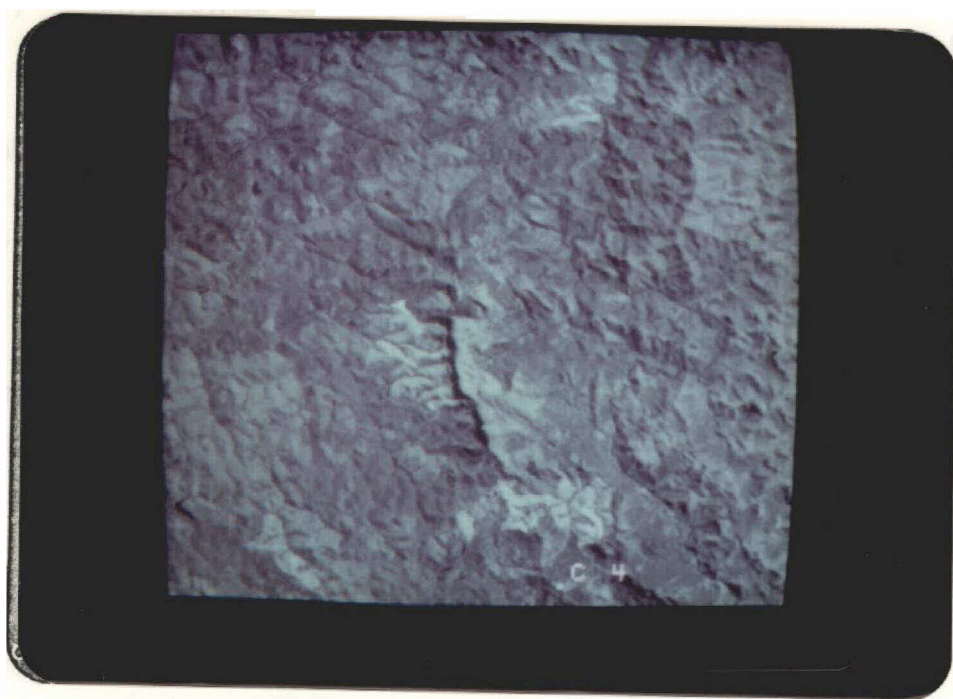


Fig. 4.9 - Imagem TM/canal 4 da área ao sul de Florália (Apêndice D).  
Escala aproximada: 1:200.000.

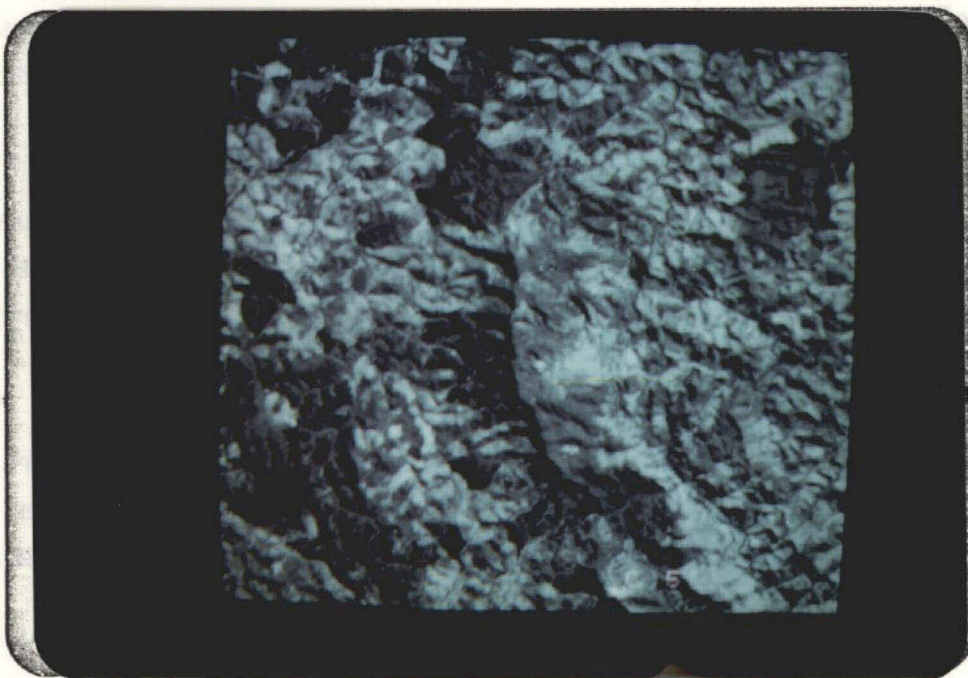


Fig. 4.10 - Imagem TM/canal 5 da área ao sul de Florália (Apêndice D).  
Escala aproximada: 1:200.000.

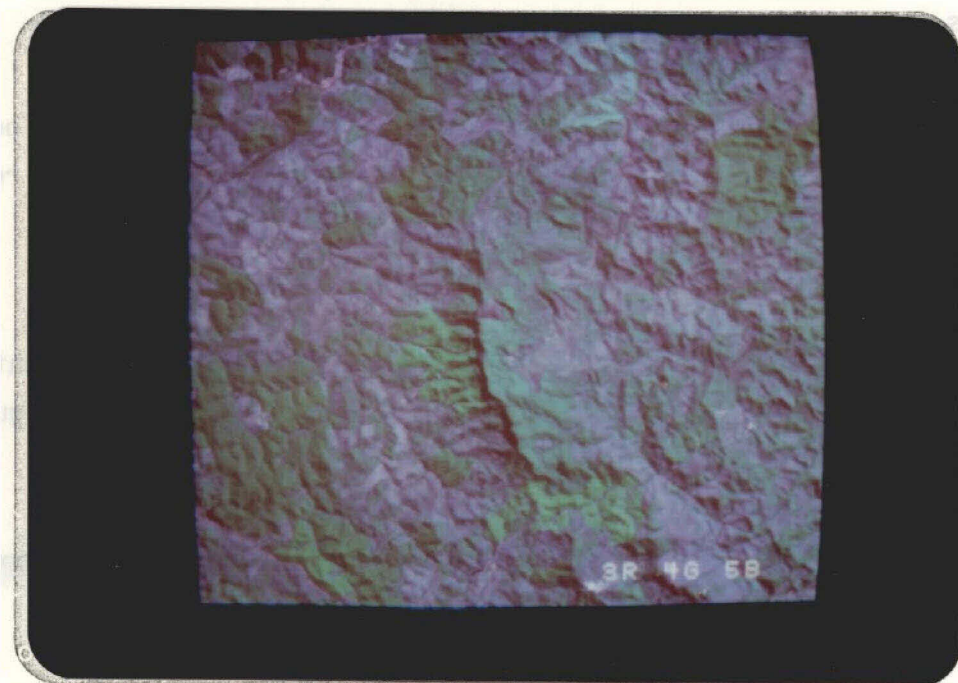


Fig. 4.11 - Composição colorida dos canais 3, 4 e 5 do TM da área ao sul de Florália (Apêndice D).

Escala aproximada: 1:200.000.

Observa-se no canal 4 uma melhor separação das unidades do Complexo Cristalino (Migmatito-Granulítico de MG), através da textura fotográfica. A oeste, onde predominam migmatitos, observa-se uma textura mais lisa com morros arredondados, enquanto a leste a textura apresenta uma certa rugosidade, relacionada com a litologias de gnaisses granoblásticos. Também são observadas as cristas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço (Serra do Pinho - Apêndice D) que na realidade podem ser bem visualizadas em qualquer canal TM, devido principalmente ao seu aspecto morfológico.

A Figura 4.10, referente ao canal 5 do TM, enfatiza as áreas cobertas por vegetação mais densa. Devido à atividade antropogenética, tais áreas, na região estudada, não têm necessariamente significado geológico. Observa-se, porém, a coincidência de áreas com densa vegetação

ção nas proximidades da Serra do Pinho, com alguns corpos de metabasitos parcialmente intrusivos no corpo quartzítico da serra.

Na composição colorida da área (Figura 4.11), percebe-se maior realce nas unidades citadas, principalmente no que se refere à individualização das rochas do embasamento cristalino, e na delimitação das cristas pertencentes ao Supergrupo Minas.

A técnica de realce por ampliação linear de contraste foi utilizada com bons resultados, como pode ser observado na Figura 4.12, em comparação com o Apêndice E.

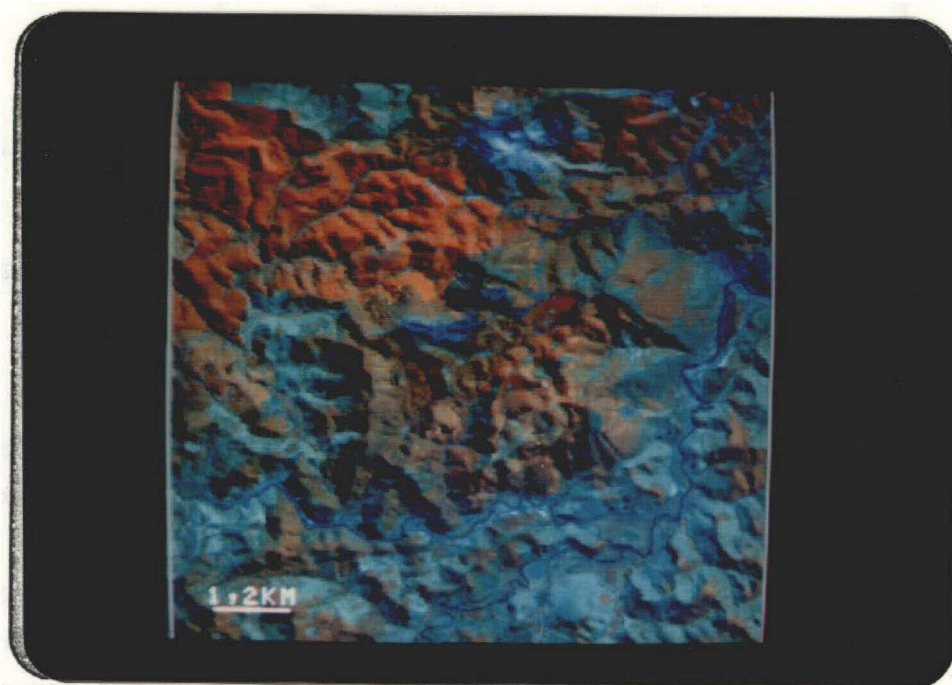


Fig. 4.12 - Realce por ampliação linear de contraste dos canais 3, 4 e 5 em composição colorida 3B 4R 5G.

A fotografia abrange, além da área leste de Florália, a porção oeste da folha Rio Piracicaba (Apêndice H).

Escala aproximada: 1:120.000.



Esta técnica consiste em aplicar à cena original (restrita a um pequeno intervalo de níveis de cinza) uma transformada matemática que expande o intervalo original para toda a escala de níveis de cinza disponível.

A composição colorida 3B 4R 5G, com ampliação linear de contraste (Figura 4.12), mostrou bom resultado na discriminação das seguintes unidades:

- na área referente ao grupo Nova Lima (região de vegetação mais densa) ocorre uma cor alaranjada, em virtude da alta refletividade da vegetação no canal 4, isto é, alta contribuição do vermelho na síntese aditiva das cores;
- os quartzitos com formações ferríferas do Supergrupo Minas ocorrem em cores amarronzadas e as rochas do cristalino, em cores azuladas;
- as minerações são observadas em tons de azul mais escuro.

As áreas de ocorrência de formações ferríferas de espessura compatível com a resolução espacial do TM foram detectadas pelos níveis mais escuros observados no canal 4 TM (Figura 4.13) e na composição colorida com aplicação linear de contraste (Figura 4.14).

A tonalidade escuras das formações ferríferas está relacionada com a presença de minerais ricos em ferro, que diminuem a reflectância entre 0,6  $\mu\text{m}$  e 1,2  $\mu\text{m}$ , devido à existência de bandas de absorção de energia pelo ferro, neste intervalo.

A região apresentada nas Figuras 4.13 e 4.14 se encontra um pouco além do limite da área deste trabalho, já fazendo parte da folha Coais (Apêndice H). Esta área foi estudada para analisar propriedades da banda 4 (0,76  $\mu\text{m}$  a 0,90  $\mu\text{m}$ : infravermelho próximo), pois estudos realizados por Rowan (1972) demonstraram uma reflectância mínima das rochas ricas em minerais de ferro no infravermelho próximo.



Fig. 4.13 - Imagem TM/canal 4 com ampliação linear de contraste na região do Sinclinal Gandarela, nas folhas São Gonçalo e Cocais (Apêndice H).

Escala aproximada: 1:120,000.

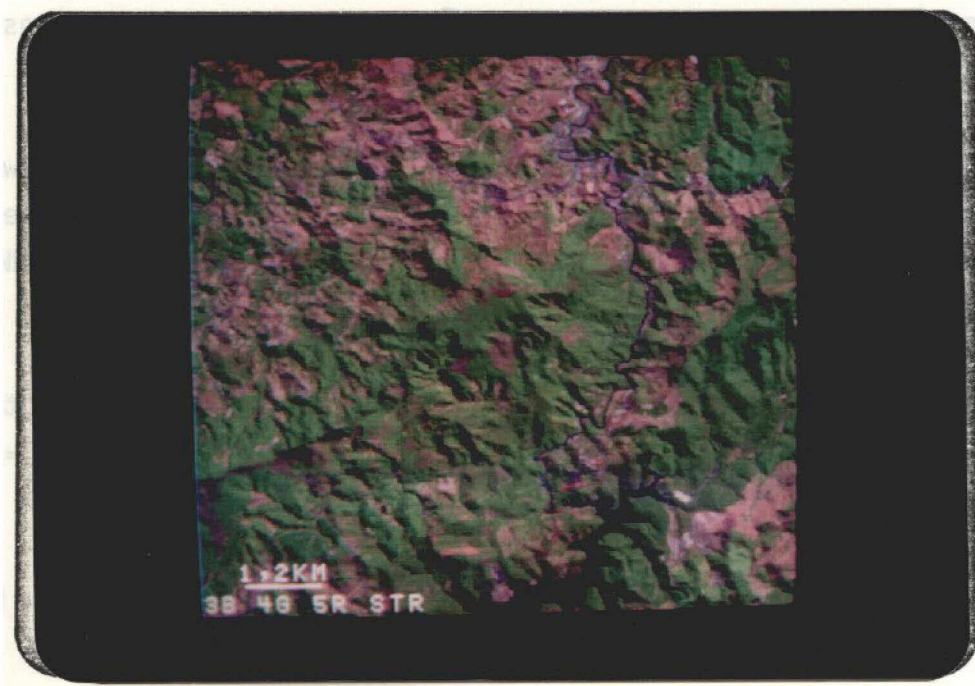


Fig. 4.14 - Mesma cena anterior em composição colorida 3B 4G 5R, com ampliação linear de contraste.

Escala aproximada: 1:120,000.

Estudos feitos por Liu et al. (1978), na região do Quadrilátero Ferrífero, demonstraram que as formações ferríferas do Grupo Itabira se apresentam em imagens MSS em tonalidade quase preta, e que as do Grupo Nova Lima ocorrem em tonalidade cinza devido aos menores teores de ferro.

As cenas equivalentes do TM/canal 4 e MSS/canal 7 (Apêndices F e G), de visão regional do Quadrilátero Ferrífero, mostram estas características espectrais proporcionadas pelos minérios de ferro.

Em termos espectrais, observa-se que o TM/canal 4 não se mostrou superior ao MSS/canal 7; o TM/canal 4, devido ao melhor poder de resolução espacial, mostra as unidades com mais nitidez (Apêndices F e G).

Filtragens digitais também foram utilizadas. Esta técnica consiste basicamente num processo de realce que atua sobre as variações tonais correspondentes aos diferentes níveis de cinza dos elementos constituintes da imagem (Paradella e Dutra, 1980).

No INPE existem, implementados sob a forma de "software", três tipos de filtros digitais que se prestam ao realce de fotoestruturas segundo direções preferenciais, referentes às direções: NE, NW, NS, EW e Isotrópico.

Para o propósito deste trabalho o filtro que apresentou melhores resultados foi o isotrópico, com valores  $A = 1$ ,  $B = 2$ ,  $C = 26$ ,  $D = 2$ .

Este filtro promove um realce na imagem de maneira homogênea, isto é, sem direção preferencial.

Com a utilização do filtro isotrópico foi observado um incremento no contraste, principalmente nas cenas ampliadas para as escalas de 1:40.000 e 1:30.000, que na cena original apresentavam muita perda de nitidez.

As Figuras 4.15 e 4.16 abrangem uma parte da área de estudo ampliada para a escala de 1:30.000, na tentativa de conseguir melhor observação de rochas do grupo Nova Lima. Elas foram bem delimitadas na área de Florália devido ao relevo expressivo que apresentam, enquanto na área a sul de Florália não se conseguiu seguir esta unidade com facilidade. Observa-se na composição colorida a continuação da unidade de maneira muito sutil.

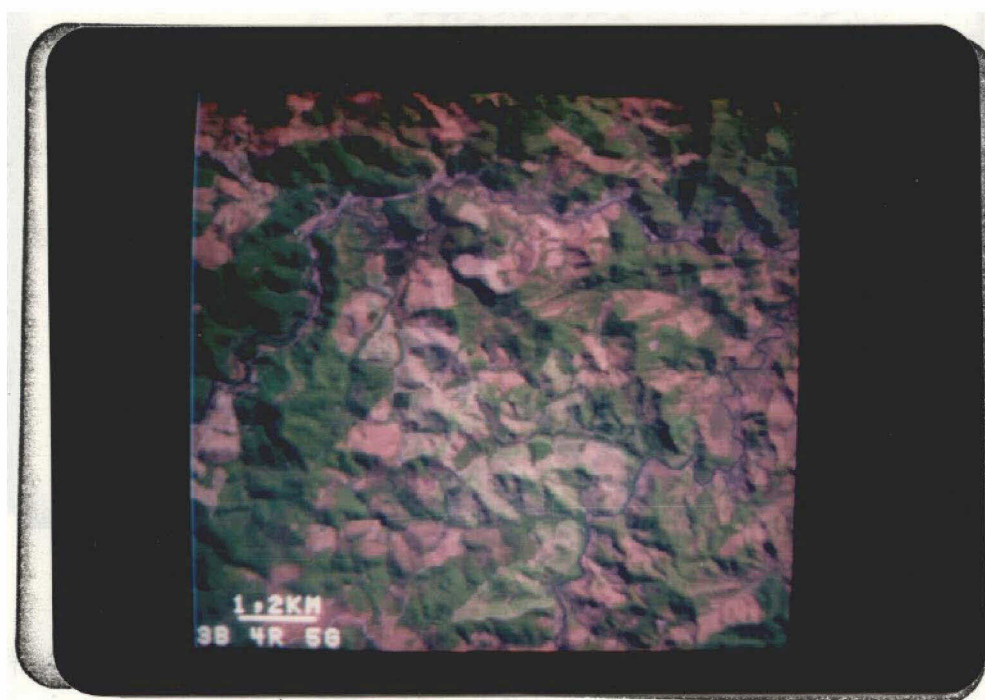


Fig. 4.15 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R na região sul de Florália e norte da área ao sul de Florália (Apêndice H).  
Escala aproximada: 1:120,000.



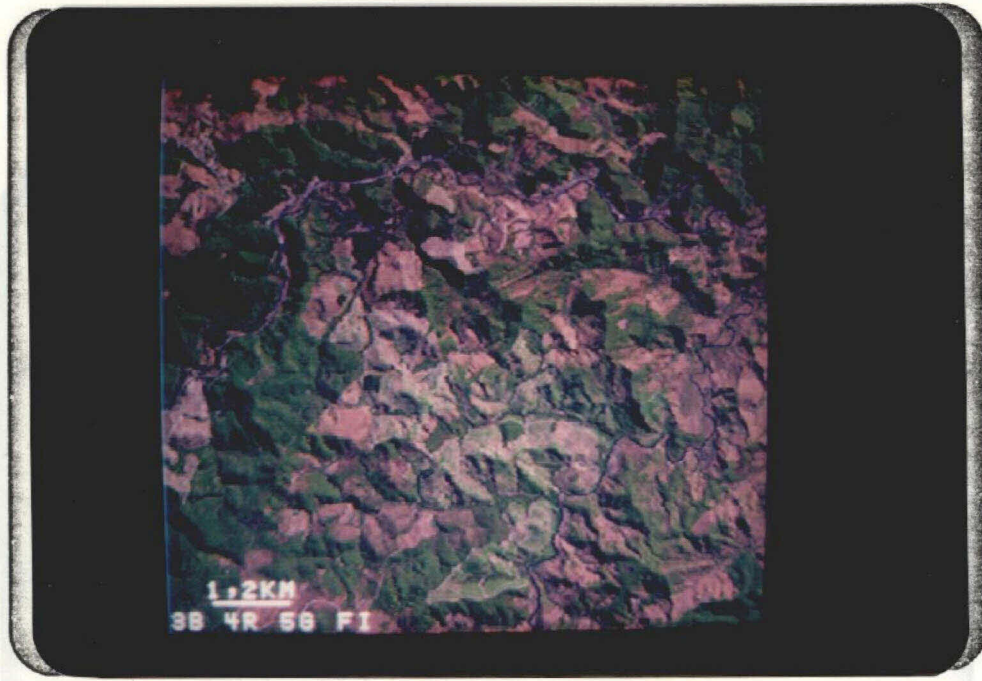


Fig. 4.16 - Imagem em composição colorida 3B 4G 5R, realçada por filtração isotrópica com valores A=1, B=2, C=26, D=2.

Escala aproximada: 1:120.000.

Também podem ser destacadas as Figuras 4.17 e 4.18, ampliadas para a escala de 1:40.000 no I-100. Elas correspondem à porção oeste da área de São Gonçalo, onde ocorrem o granito Borrachudos, rochas cataclásticas (milonito-gnaisses e milonito-xistos) e migmatitos.

Na Figura 4.18 observa-se bem o contato entre estas unidades. O granito Borrachudos apresenta uma textura lisa, enquanto os milonitos apresentam intensa foliação, bem visualizada neste produto. Em direção aos migmatitos, observa-se a diminuição gradativa da foliação cataclástica.

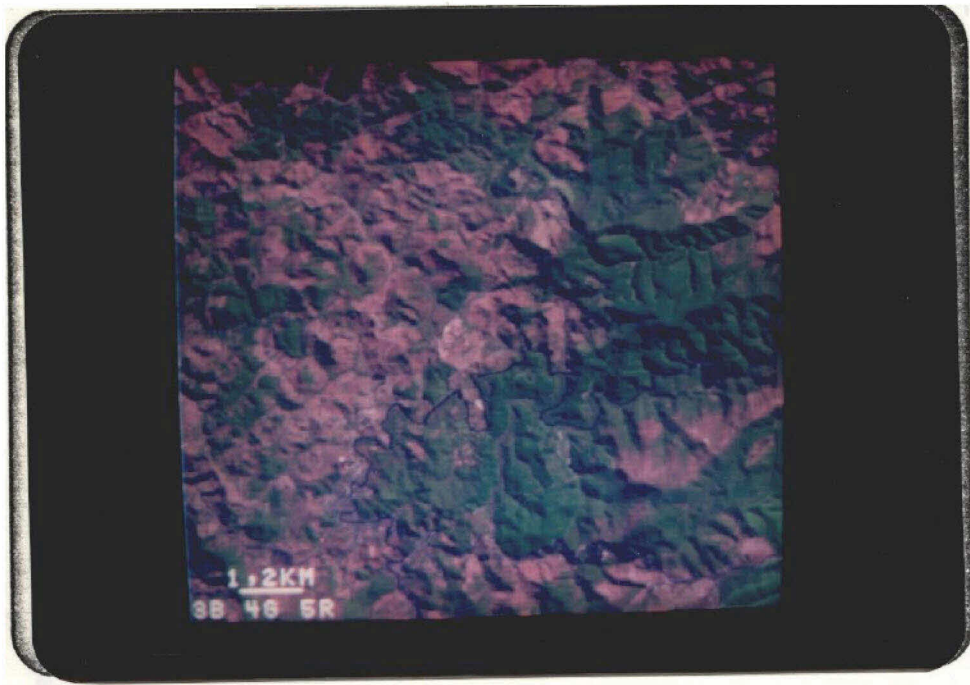


Fig. 4.17 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R (Apendice H).  
Escala aproximada: 1:130.000.

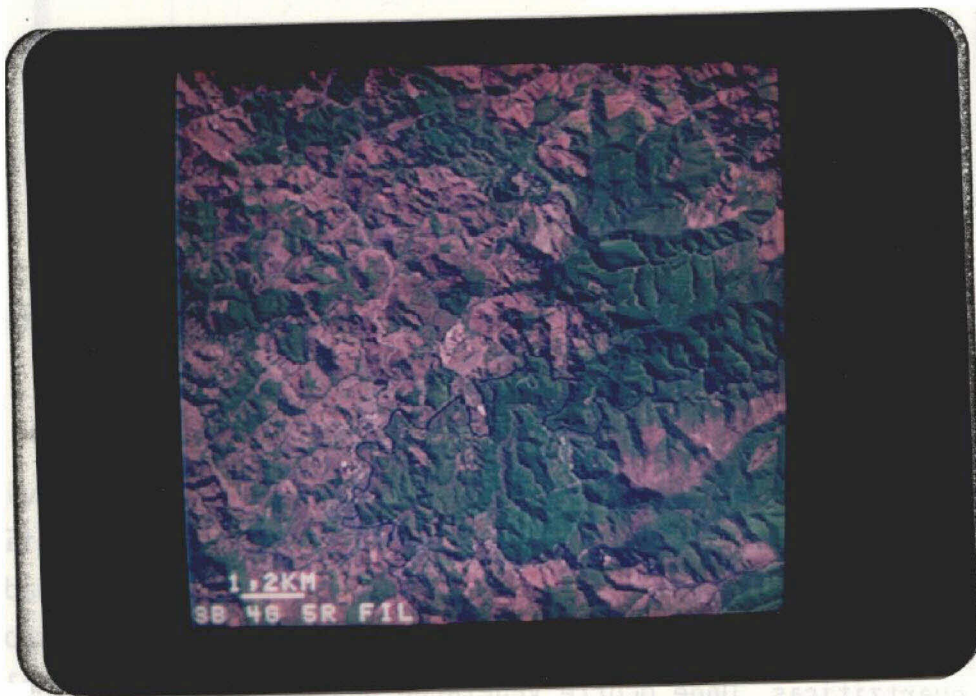


Fig. 4.18 - Imagem TM em composição colorida 3B 4G 5R, realçada por fil-  
tragem isotrôpica com valores  $A=1$ ,  $B=-2$ ,  $C=26$ ,  $D=-2$  (Apêndi-  
ce H).  
Escala aproximada: 1:130.000.

Ainda utilizando realce por filtragem digital, tentou-se melhorar a cena correspondente à folha Florália (Apêndice D), a qual foi ampliada para a escala de 1:50.000.

Nesta área a composição colorida (Figuras 4.19 e 4.20) ressaltou muito mais as unidades. Obteve-se um grau de detalhe bem maior do que nas imagens originais na escala de 1:100.000 (comparar Apêndice E com as Figuras 4.19 e 4.20).

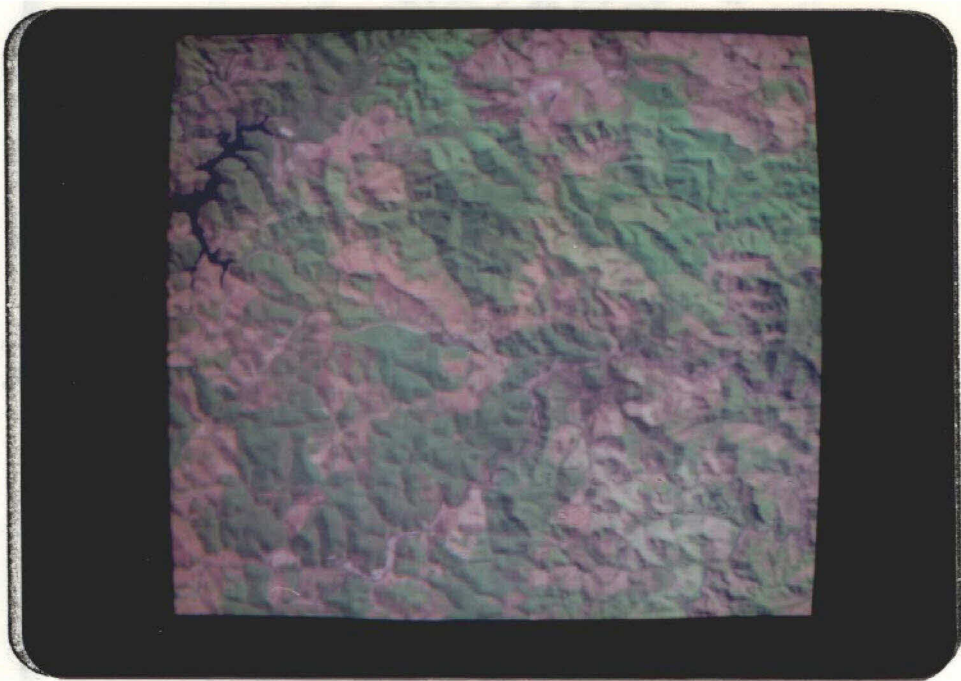


Fig. 4.19 - Composição colorida 3B 4G 5R da área de Florália (Apêndice D).

Escala aproximada: 1:200.000.

Na Figura 4.20 a cena está mais nítida, por isso, visualiza-se melhor a estrutura formada pelo Grupo Nova Lima nesta região. O Supergrupo Espinhaço também é bem delimitado, através da tonalidade clara, devido à falta de vegetação e ao tipo de relevo característico das rochas quartzíticas. Onde ocorre vegetação nos quartzitos (tonalidade verde) foram observadas ocorrências de rochas metabásicas.



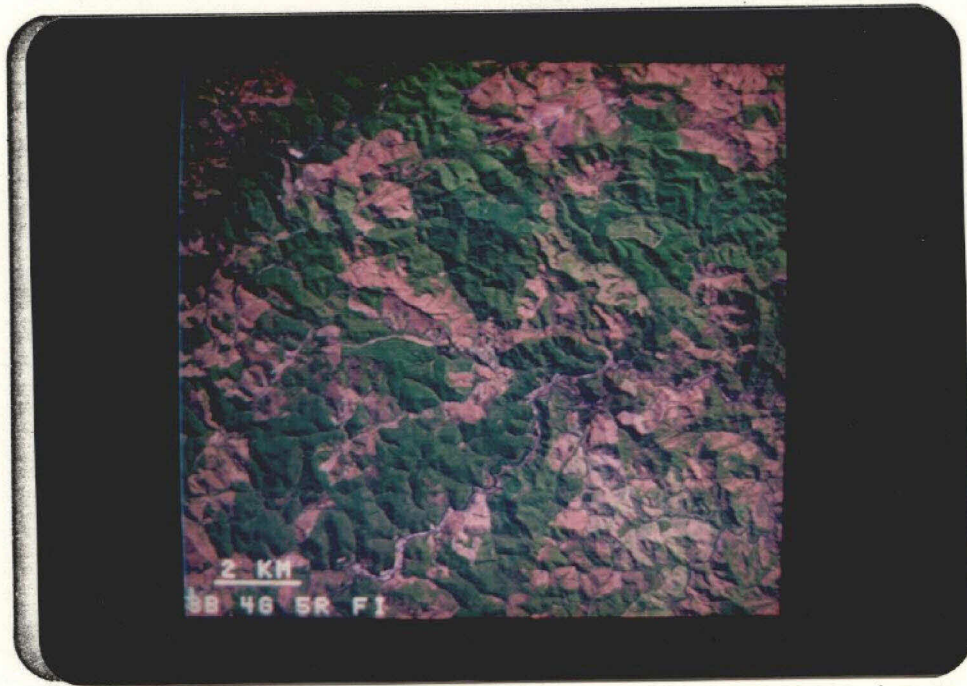


Fig. 4.20 - Composição colorida 3B 4G 5R, realçada por filtragem isotrópica (mesma cena anterior).  
Escala aproximada: 1:200.000.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

A metodologia de interpretação visual e os materiais utilizados mostraram-se adequados aos objetivos do trabalho, em especial pelo fato de a área de estudos ser uma parte do Quadrilátero Ferrífero, ainda em geral carente de estudos geológicos, e não analisada ou mapeada na escala proposta de semidetalhe (1:50.000).

A interpretação visual de imagens TM na escala de 1:100.000 permitiu identificar e delimitar a maioria das unidades geológicas; utilizando dos canais 4, 5 e 7.

O canal 4 (0,76  $\mu\text{m}$  a 0,90  $\mu\text{m}$ : infravermelho próximo) mostrou-se o mais eficiente em função do realce da morfologia, muito superior ao dos outros canais, o que facilitou a interpretação geológico-estrutural na área de estudo.

Devido à potencialidade de visualização proporcionada pelas imagens TM, foi possível verificar a continuidade das unidades geológicas, o que permitiu obter um maior detalhamento, sobretudo do ponto de vista estrutural.

A observação da continuidade dos padrões litoestruturais também contribuiu para melhor planejamento e, conseqüentemente, redução do tempo, para realização do trabalho de campo.

As fotografias aéreas infravermelhas de falsa cor e coloridas normais mostraram-se bastante superiores às fotografias em preto e branco, principalmente na individualização e subdivisão do Complexo Migmatito-Granulítico de MG. Nas fotografias infravermelhas, as diferenças texturais e tonais foram muito mais nítidas e facilmente observáveis. A sua utilização também foi importante quando se precisou usar dados referentes a rede de drenagem e vegetação; esta última não foi de muita

valia, pois na área grande parte da vegetação natural foi e está sendo substituída por reflorestamentos com eucaliptos.

A interpretação visual das fotografias aéreas adicionou informações às interpretações obtidas com as imagens TM, pois embora as texturas e as tonalidades fotográficas sejam parâmetros importantes na identificação de diferentes unidades, o fator mais usado na análise desta área foi a expressão topográfica. Assim sendo, o grau de detalhamento obtido com este produto foi superior, pois foram diferenciadas e delimitadas mais subunidades nos Supergrupos Espinhaço, Minas e Rio das Velhas e no Complexo Migmatito-Granulítico de MG com as fotografias aéreas infravermelhas de falsa cor do que com as imagens TM.

A análise digital realizada no Analisador Multiespectral IMAGE-100 mostrou que as ampliações, as composições coloridas, o programa de ampliação linear de contraste e as filtrações realçam certas feições geológicas e completam a interpretação visual feita com as imagens TM originais.

Através da análise conjunta dos produtos utilizados e dos dados de campo específicos, foi possível obter na área pesquisada as características e distribuições fotogeológicas de três sequências meta-sedimentares, compreendidas pelas continuações orientais do "Greenstone Belt" Rio das Velhas (Arqueano), com ocorrências minerais locais de ouro e relictos de erosão irregularmente distribuídos e descontínuos dos Supergrupos Minas e Espinhaço (Proterozóicos). Em grande parte da região, rochas cristalinas pertencentes ao Complexo Migmatito-Granulítico de MG foram individualizadas, predominando os gnaisses e migmatitos (Arqueanos com retrabalhamentos Proterozóicos). Subordinadamente foram identificadas intrusões metabásicas (Proterozóicas), uma ocorrência de dique de basalto (Fanerozóico) e depósitos aluvionares sub-recentes e recentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.J. *Computer image processing for geologic applications*. Pasadena, CA., JPL, 1978. 24p. (JPL-P-78-34).
- ALMEIDA, F.F.M. de. Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Belo Horizonte, 1976. *Resumos*. Ouro Preto, SBG, 1976. p-201-202.
- BARBOSA, D. Evolution du Géosynclinal Espinhaço. In: CONGRES GEOLOGIQUE INTERNATIONÁL, 19. Alger, 1952; *Comptes Rendus Alger*, 1954. Section 13<sup>e</sup>, Fascicule 14, p. 17-36.
- BARBOSA, G.V. Superfície de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 10(1): 89-101, 1980.
- BOAVENTURA, E.M.G.; DONÉ, S.S.B.; RECHOSA, S.A.; BOAVENTURA, R.S.; GESARA E.F.M.; MOREIRA, C.V.R. Estudos geomorfológicos para planejamento regional Bacia do Alto São Francisco - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG, 1984. p. 349-362.
- BRANNER, J.C. Outlines of the geology of Brazil to accompany the geological map of Brazil. *Bulletin of the Geological of America*. 30(2): 189-338, 1919.
- BRITO NEVES, B.B. de; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.; DELHAL, J. A evolução geocronologica da Cordilheira do Espinhaço; dados novos e integração. *Revista Brasileira de Geociências*, 9(1): 71-86, 1979.
- CORDANI, U.G. *O esboço geocronológico do Quadrilátero Ferrífero, MG*. Ouro Preto, 1980. Boletra proferida na Escola de Ouro Preto na 21ª Semana de Estudos da SIGES (em 1980).
- CORDANI, U.G., KAWASHITA, K., MUELLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V.; ROESER, H. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 48(4): 784-785, 1976.

- COSTA, A.P.; RICCOMINI, C. Mapeamento geológico: perspectivas de aplicação de imagens de satélite. *Jornal do Geólogo*. 8(25): 2, out., 1984.
- DERBY, O.A. The Serra do Espinhaço, Brazil. *Journal of Geology*, 14(3): 394-401, 1906.
- DORR II, J.V.N. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.611-A, 1969, 110p.
- DORR II, J.V.N.; BARBOSA, A.L.M. Geology and ore deposits of the Itabira district, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*. n. 341-c, 1963. 110p.
- 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*, n.81, 1957. 31p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). *Folha topográfica São Gonçalo (SE 23W-IV-3-NE)*; escala 1:25.000, s.l. 1962.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). *Folha potográfica Florália (SE-23-W-IV-3-SE)*; escala 1:25.000, s.l., 1962.
- DRAKE JÚNIOR, A.A. e MORGAN, B.A. Tectonic studies in the Brazilian shield. *Geological Survey, Professional Paper*, n.119-B, 1980. 19p.
- EBERT, H. Discordância pré-cambriana em Carandaí, Minas Gerais. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, n. 183, 1958, 48p.
- ESCHWEGE, W.L. von, *Beitrag zur Gebirgskubde Brasilien; mit vier petrographischen geognostischen Karten und Profildurchschinittern*. Berlin. G. Reimer, 1932, 488p. Apud Schobbenhaus C., et alii (1984).
- FLEISCHER, R. *Le gisement aurifere a tourmaline de Passagem Mariana, Minas Gerais, Bresil et son cadre; influence de l'evolution structurale e du metamorphisme sur une mineralisation syngenetique familiere*. Thèse de Doctorat de Geologi. Paris, Université de Paris, 1971. 110p.
- FREYBERG, B. von *Ergebnisse geologischer Forschungen in Minas Gerais, Brasilien*. *Neus. Jahrb. Mineral Geol. Paleontol. Abh. Mineral. Petrogr.* n.2, 1932. 403p. Apud Schobbenhaus, C., et alii, 1984.

- GAIR, K.E. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.341-A, 1962. 67p.
- GENERAL ELECTRIC (GE). *Image 100 user manual*. Daytona Beach, FL., 1975, 119p.
- GORLT, G. Fazieswechsel und Metamorphose in der Westlichen Serra Negra; Espinhaço Zone, Minas Gerais, Brasilien, *Geologischen Rundschau*,
- GUBA, I. *Tektonik, texturen un mineralogie der präkambrischen eisenerze und nebeigesteinsarten; der Lagerstätte des Morro Agudo in NE des Quadrilatero Ferrifero Minas Gerais, Brasilien*. Dissertation und Geologie. Clausthal-Zellerfeld, Technische Universität, 1982, 342.
- GUIMARÃES, D. Contribuição à geologia do Estado de Minas Gerais. *Boletim do Serviço de Geologia e Mineralogia*, n.55, 1931: 36p.
- GUIMARÃES, D. Arqui-Brasil e sua evolução geológica. *Boletim da Divisão de Produção Mineral, DNEM*, n.88, 1951, 314p.
- GUY, M. Quelques principes et quelques experience sur la metodologie du la photointerpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTOINTERPRETATION, 2., Paris, Université de Paris, 1966. *Acte*. Paris, Université de Paris, 1966. V.1, p. 21-24.
- HARDER, E.C.; CHAMBERLIN, R.T. The geology of Central Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geology*, 23(4): 341-424, 1915.
- HERZ, N. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.641-B.
- HERZ, N. Metamorphic rocks of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.641.C, 1979, 81p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Geografia do Brasil*. Região Sudeste. Rio de Janeiro, SERGRAF-IBGE, 1977 v.3.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Folha Topográfica Catas Altas (SF-23-X-B-I-1)*; escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1976.



- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALY, N.Z.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R.O. Crato de São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.de A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. *Geologia do Brasil*; Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais - escala 1:2.500.000, DNPM, Brasília, 1984. 501p. cap.5, p. 193-248.
- KEHRER, P. Zur Geologie der Itabirite in der sudlichen Serra do Espinhaço (Minas Gerais, Brasilien). *Geologische Rundschau*, 61: 216-249, 1972.
- 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, 27-29, nov. 1978. *Anais*. São José dos Campos, CNPq, INPE, 1981. V.2, p. 593-615.
- MAXWELL, C.H. Geology and ore deposits of the Alegria district, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.341-I, 1972, 72p.
- MATTOS, J.T. *Sensores fotográficos*, São José dos Campos, INPE, 1982. Apostila.
- MIKHAIL, E.M.; MAFFIT, F.H. Photo and image interpretation and remote sensing. In: *Photogrammetry*. 3ed. New York, N.Y., Charlie Dresser, 1980. Cap. 8, p. 253-272.
- MOTHE FILHO, H.F. *Dados de trabalho de campo para o mapeamento geológico de detalhe na região de Florália no Quadrilátero Ferrífero*. Estes dados farão parte da dissertação de mestrado de Mothé Filho a ser defendida na Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). *Landsat 4; data users handbook*. Alexandria, Va., 1984.
- OLIVEIRA, G.M. de A.; AZEVEDO, L.H.A. de; BITTENCOURT NETTO, O.; PEREIRA, R.R.; NEVES, S.B.; MOREIRA, H.F.; COPAERTI FILHO, H.; SOUZA, C.J.M. de. Sensoriamento remoto no Quadrilátero Ferrífero. MG. São José dos Campos, CNAE/DNPM, 1970, 120p. (CNAE-LAFE, 126).



- PARADELLA, W.R.; DUTRA, L.V. Filtragens digitais de imagens LANDSAT como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Anais*, Camboriú, SBG, 1980, p. 2959-2964.
- PARADELLA, W.R.; VITTORELLI, I. *O tratamento por computador de dados de sensores remotos: uma introdução de técnicas que visam aplicações geológicas*. São José dos Campos, INPE, 1982. 15p. (INPE-2419-PRE/127)
- PFLUG, R. A geologia da parte meridional da serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, n. 226, 1965. 55p.
- PFLUG, R. Die prakambrische Miogeosynklinale der Espinhaço. Kordillere, Minas, Brasilien. *Geologische Rundschau*. 56(1): 825-844, 1967.
- PFLUG, R. Observação sobre a estratigrafia da série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. *Notas Preliminares*. Estudos Divisão de Geologia e Mineralogia - DNRM, n. 142, 1968.
- PFLUG, R.; SCHOBENHAUS, C.; REINGER, F. *Contribuição a geotécnica do Brasil Oriental*. Recife, SUDENE, 1969, 59p. (Série especial, 9).
- PFLUG, R.; RINGER, F. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do craton Sanfranciscano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27ª Aracaju, 1973, *Anais*, Aracaju, SBG, 1973, V.2, p. 5-19.
- PIRES, F.R.M. *Geologia do distrito manganífero do Conselheiro Lafaiete*. Dissertação de Mestrado em Geologia. Rio de Janeiro, UFRJ, 1977, 344p.
- PIRES, F.R.M. Structural geology and stratigraphy at the junction of the Curral Anticline and the Moeda Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Doctoral Thesis in Geology. Ann Arbor, Michigan Technological University, 1979. 220p.
- RAY, R.G. Aerial photographs in geologic interpretation and mapping. *Geological Survey, Professional Paper*, n. 373, 1960, p. 14-32.

- RENGER, F. Fazies und Magmatismus der Minas-Serie in der sudlichen Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasilien. *Geologische Rundschau*, 59: 1253-1292, 1970.
- RENGER, R. Evolução dos conceitos geológicos da Serra do Espinhaço. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS-GERAIS - GEOLOGIA DO ESPINHAÇO, 1, Diamantina, 1979. *Atas*. Belo Horizonte, SBG Núcleo de MG, 1979.
- REEVES, R.G. Geology and mineral resources of the Monlevade and Rio Piracicaba Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey, Professional Paper*, n.341-E, 1966. 58p.
- REEVES, R.G.; ANSON, A.; LANDEN, D. *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA., Frank. J. Janza, 1975, V.1.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1965. 226p.
- RICCOMINI, C. *Estudos comparativos entre diferentes produtos de sistemas sensores aplicados a análise litológico-estrutural do Quadrilátero Ferrífero*. Minas Gerais, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-3210-TDL/174).
- RIVEREAU, J.C. *Curso de fotointerpretação*. Notas de aulas dadas pelo Departamento de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 1970. 127p. (Série Didática, 4).
- ROESER, H. *Petrographisch-geochemische Untersuchungen der metamorphen Gesteinsserien in sudöstlichen Grenzbereich des Eisernen Vierecks, Minas Gerais, Brasilien*. Dissertation und Geologie, Clausthal, Universität Clausthal, 1977. 341p.
- ROWAN, L.C. Near-infrared iron absorption bands: application to geological mapping and mineral exploration. In: ANNUAL EARTH RESOURCES PROGRAM REVIEW. 4., Houston, TX. Jan. 17-21, 1972, s.t. Houston, TX. Houston. Geological Survey Program, 1972. v.3, p 60-1.
- SABINS, F.F. Aerial photography. In: *Remote Sensing Principles and Interpretation*. Los Angeles, CA., Allan Cox, 1977. Cap. 2, p. 17-50. W.H. Freeman & Company. San Francisco, 1978, 426p.



- SICHEL, S.E. *Geologia das rochas pré-cambrianas da Região de Barão de Cocais e geoquímica preliminar dos komatitos do Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero - MG.* Dissertação de Mestrado em Geologia, Rio de Janeiro, UFRJ, 1983. 232p.
- SCHOLL, W.U.; FOGAÇA, A.C.C. *Estratigrafia da serra do Espinhaço na região de Diamantina.* In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA, 1., Belo Horizonte, 1979. *Anais.* Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, 1979. V.1, p.53-57.
- SCHNEIDERHOHN, P. *Brazilianische Gesteine.* *Neus. Jahrb. Mineral. Geol. Paläontol. Abh. Mineral. Petrgr.* 70: 151-201, 1935. Apud Schobbenhaus C. et alii. (1984).
- SCHORSCHER, H.D. *Entwicklung des polymetamorphen präkambrischen Raumes, Itabira, Minas Gerais, Brasilien.* *Dissertation un Geologie, Universität Heidelberg, 1975, 304p.*
- SCHORSCHER, H.D. *Polimetamorfismo do Pré-Cambriano da região de Itabira, Minas Gerais, Brasil.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Belo Horizonte, 1976. *Resumos.* Ouro Preto, SBG, 1976b, p. 194-195.
- SCHORSCHER, H.D. *Alpinotype deckentektonik in Prakambrium des eiserner vierechs, Minas Gerais, Brasilien.* *GEOWISS. Lateinamerika Kolloquium, 50., Claustal-Zellerfeld, 1976a.* *Resumos.* Claustal-Zellerfeld, Technische Universitact, 1976. p. 33-35.
- SCHORSCHER, H.D. *Komatitos na estrutura "greenstone belt", Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Resumos,* Recife, SBG, 1978 p. 292-293.
- SCHORSCHER, H.D. *Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero.* *Anais da Academia Brasileira de Ciências.* 51(4): 767-768, 1979a.
- SCHORSCHER, H.D. *Evolução arqueana e proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e partes meridionais da Serra do Espinhaço.* In: SIMPÓSIO SOBRE A GEOLOGIA DO CRATON DO SÃO FRANCISCO E DE SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1., Salvador, 1979. *Resumos.* Salvador, SBG, 1979b.

- SCHORSCHER, H.D. Contribuição a estratigrafia proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 52(1): 195, 1980.
- SCHORSCHER, H.D.; GUIMARÃES, P.F. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do distrito ferrífero de Itabira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19., Belo Horizonte, 1976. *Roteiro de excursões*. Ouro Preto, SBG, 1976, p. 75-86.
- SCHORSCHER, H.D.; LETERRIER, J. Metasomatic formation of granitic rocks: petrology and chemistry. In: INTERNATIONAL GEOLOGIQUE CONGRESS, 26., *Abstracts*, Paris, 1980a, p. 87.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C.; MOREIRA, J.M.P. Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State: Rios das Velhas greenstone belt and proterozoic rocks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC CRUSTAL EVOLUTION AND METALLOGENESIS. ISAP. *Excursion annex: field trip n. 3*. Salvador, SME-Na., CPM, 1982, 44p.
- SIEGAL, B.S.; ABRAMS, M.J. Geologic mapping using LANDSAT data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(3): 325-337, 1976.
- SIMMONS, G.C. Geology and mineral resources of the Barão de Cocais Area, Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey Professional Paper*. n.341-H, 1968, 46p.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*. 16(32): 71-14, dez. 1976.
- STEFFEN, C.A.; LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L. Sensores e produtos. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Transferência de Tecnologia. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento de Aplicações. Divisão de Aquisição e Tratamento de Dados (INPE.DTT.DPDA.DATD). *Curso de Treinamento: introdução às técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações*. São José dos Campos, INPE, 1980. p. II-1 - II-32 (INPE-1869-MD/004).
- STEPHENS, P.R. Comparison of color, color infrared and panchromatic aerial photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 42(10): 1273-1277, out. 1976.



- TANNER, S. *Handbook of sensor technical characteristics*. Washington, D.C., NASA, 1982. (NASA Reference Publication, 1087).
- TARANIK, J.V. *Principles of computer processing of LANDSAT data for geologic applications*. Washington, DC, USGS, 1978. 50p. (U.S. Geological Survey, Open File Report 78-117).
- TEIXEIRA, W.A. *A evolução geotectônica da porção meridional do craton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas*. Tese de Doutorado em Geologia. São Paulo, USP, 1985. 195p.
- VEZEZIANI, P.; ANJOS, C.E. *Metodologia de interpretação dos dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos, INPE, 1982. 61p. (INPE-2227-MD/014).



APÊNDICE A

MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL OBTIDO DAS IMAGENS TM





APÊNDICE B

MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL OBTIDO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS



APÊNDICE C

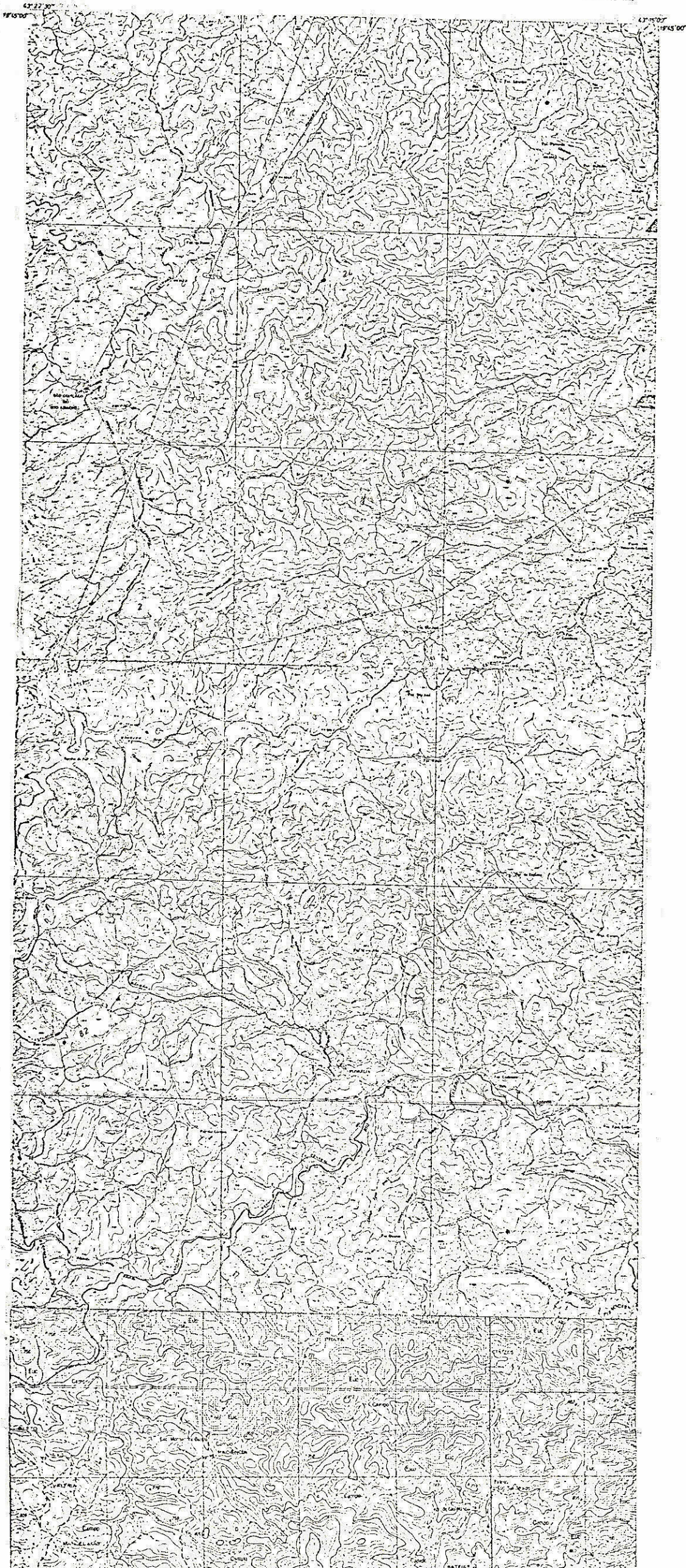
MAPA DE TRAÇOS ESTRUTURAIS FOTOINTERPRETADOS



APÊNDICE D

BASE TOPOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO







APÊNDICE E

IMAGEM TM DA ÁREA DE ESTUDO E ADJACÊNCIAS NO CANAL 4,  
NA ESCALA DE 1:100,000





APÊNDICE F

IMAGEM MSS CANAL 7 QUE MOSTRA O QUADRILÁTERO FERRÍFERO  
NA ESCALA DE 1:500.000.





APÊNDICE G

IMAGEM TM CANAL 4 QUE MOSTRA O QUADRILÁTERO FERRÍFERO  
NA ESCALA DE 1:500.000.





APÊNDICE H

CÓPIA DA IMAGEM TM DA ÁREA DE ESTUDO E ADJACÊNCIAS NO CANAL 4,  
NA ESCALA 1:100.000 (APÊNDICE E), COM LOCALIZAÇÃO DAS CENAS  
REALÇADAS NO I-100.



