



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5440-TDI/486

AVALIAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE DADOS LANDSAT-TM, GEOFÍSICOS E
GEOLÓGICOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGEM E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

JOSÉ CARLOS GARCIA FERREIRA

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada
pelo Dr. Juércio Tavares de Mattos, aprovada em fevereiro
de 1992.

INPE

São José dos Campos

1992

528.711.7:55

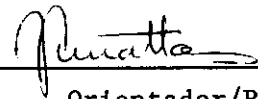
FERREIRA, J.C.G.

Avaliação e integração de dados
LANDSAT-TM, geofísicos e geológicos atra-
vés de técnicas de processamento digital
de imagem e sistema de informações geo-
gráficas. / J.C.G.Ferreira. -- São José
dos Campos: INPE, 1992. 207p. -- (INPE-
5440-TDI/486)

1. Geologia regional 2. Sistemas de
informação Geográfica. 3. Processamento
digital de imagem. I. Título

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

Dr. Juércio Tavares de Mattos



Orientador/Presidente

Dr. Athos Ribeiro dos Santos



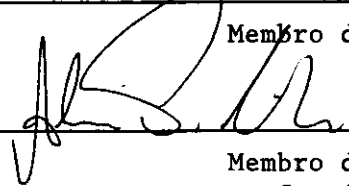
Membro da Banca

Dr. Paulo Veneziani



Membro da Banca

Dr. Álvaro Penteado Crosta



Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: José Carlos Garcia Ferreira

São José dos Campos, 25 de fevereiro de 1992

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha
esposa Samara (Sandra Mara) e às minhas
filhas Gabi (Ana Gabriela) e Lili (Lígia Liz)
pelo amor, pelo apoio, pela compreensão, incentivo e
pelas horas ausentes.

AGRADECIMENTOS

Desde o início deste trabalho diversas pessoas e instituições concorreram para que o mesmo pudesse ser materializado. Assim ao finalizar, quero externar meus agradecimentos às pessoas e entidades, que pela orientação despretenciosa e sobretudo pelo incentivo, no decorrer das várias etapas desta pesquisa, prestaram uma valorosa contribuição para sua conclusão.

Ao professor Dr. Juércio Tavares de Mattos, orientador deste trabalho, pela atenção com que se dedicou às discussões dos problemas defrontados no curso dessa pesquisa, principalmente pelo apoio e orientação a mim dedicados.

Aos geólogos, Carlos Oiti Bebert, Presidente, Hermes Augusto Verner Inda, Diretor de Geologia e de Recursos Hídricos e Valter José Marques, Chefe do Departamento de Ciências Geológicas, pertencentes à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, cujo empenho na execução de programa de treinamento de recursos humanos desta empresa garantiu a nossa liberação para a realização do curso e dessa pesquisa.

Aos colegas geólogos Luis Squissardi do Carmo e Cássio Roberto da Silva, respectivamente Superintendente Regional e Gerente de Recursos Minerais da Superintendência de São Paulo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, pelo incentivo e condições de trabalho (técnicas e materiais) que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao colega geofísico Ricardo Moacyr de Vasconcellos que gentilmente realizou os "grids" dos dados geofísicos utilizados nesta pesquisa, bem como participou da compatibilização de formato para que esses dados pudessem

ser tratados no SITIM-150 e INTER-ACT 360.

Ao colega geólogo Carlos Alfredo Guimarães da Vinha pela orientação e incentivo nas discussões sobre a preparação de dados geofísicos e Sistema de Informações Geográficas.

Ao colega engenheiro cartógrafo Marco Alexandre Rodrigues pelo acompanhamento e discussão nos trabalhos desenvolvidos na ITER-ACT 360, estação gráfica pertencente a SISGRAPH, utilizada nesta pesquisa.

Aos colegas geólogos Ricardo Gallart Menezes, Paulo Santarém da Silva, Armando Teruo Takahashi, Ídio Lopes Júnior, Mário Mota Câmara, José Peres Algarte e Antonio Theodorovicz, pelas discussões e sugestões voltadas para a geologia da área.

Aos colegas geofísicos José de Ribamar Lopes Bezerra e Francisco José Fonseca Ferreira pelas discussões na integração de dados geológicos-geofísicos abordados neste trabalho.

Ao colega e professor Dr. Álvaro Penteado Crôsta pela discussão de processamento de imagem, Sistema de Informações Geográficas e cessão de material bibliográfico amplamente utilizado neste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em especial ao engenheiro Carlos Alberto Felgueiras pela compatibilização de formatos dos dados aerogeofísicos da CPRM para o SITIM-150.

Ao colega geólogo Lauro Gracindo Pizzato pela coordenação e orientação da digitação do texto e Claudio de

Souza Conceição pela digitação deste trabalho.

Aos professores e companheiros de curso pelo estimulante convívio e apoio que sempre dedicaram.

Aos diretores e gerentes da SISGRAPH que gentilmente permitiram que as facilidades computacionais da empresa pudessem ser utilizadas para testes e confecções de grande parte das figuras que acompanham este trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID) e das bibliotecárias do INPE pela atenção e apoio dispensados.

Ao desenhista Ricardo Yoiti Shimamoto pelos desenhos e gravuras aqui apresentados.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela utilização de suas dependências e que colocou sua infra-estrutura, biblioteca e laboratório de tratamento digital, à disposição para a realização deste trabalho.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) que forneceu os recursos financeiros para a execução de atividades e material utilizados e, principalmente pela concessão livre de tempo de trabalho para dedicação à tese.

Ao Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM pelo apoio e dados fornecidos.

RESUMO

Este trabalho aborda a avaliação e integração de dados geológicos, LANDSAT-TM e geofísicos (aerogamaespectrometria - U, Th, K, CT, U/Th, U/K, Th/K; aeromagnetometria - campo magnético total; gravimetria - anomalia "Bouguer"). O objetivo é assimilar e adequar uma metodologia voltada para o mapeamento geológico, no qual a integração dos dados é feita através de técnicas de processamento digital de imagem e Sistemas de Informações Geográficas. Primeiramente, visando o posicionamento tectônico da área estudada, a nível regional, foi feita a interpretação visual sobre dados LANDSAT-TM. Posteriormente, os dados da área objeto foram colocados em estação de trabalho através de compatibilização de formatos ou digitalização e foram submetidos a pré-processamento, sendo corrigidos geomêtricamente e registrados (georeferenciados). Os dados geofísicos foram colocados no formato "raster" e através da constituição de imagens em níveis de cinza, foram aplicadas técnicas de realce para aspectos litológicos e estruturais, tais como: ampliação de contraste, composição colorida, relevo sombreado, modelo digital de terreno, fatiamento e fusão ("merge") com as imagens LANDSAT-TM através de IHS. As imagens geradas foram analisadas e interpretadas, bem como avaliadas e correlacionadas aos dados geológicos disponíveis, pretendendo extrair o máximo de informação dos produtos utilizados. Também foi empregada a técnica de análise de agrupamento (ISODATA) nos dados geofísicos e em conjunto com as imagens LANDSAT-TM. A área estudada posiciona-se nas cabeceiras do Rio Guaporé (sudoeste do Mato Grosso), Cráton Amazônico, cuja geologia é representada por terrenos granito-gnáissicos, rochas básicas magmáticas e metamórficas, seqüências metassedimentar, sedimentar e vulcano-sedimentar. Como resultado, pôde-se observar que as técnicas computacionais de integração de dados possibilitaram uma multiplicidade de maneiras de se tratar e apresentar as informações geológicas, as quais mostram que os dados geofísicos no formato "raster" possuem maiores detalhes que o mapa de contorno tradicionalmente utilizado e forneceram subsídios adicionais na correlação geológica-geofísica. Assim, pôde-se verificar que unidades litológicas previamente cartografadas na área apresentaram sub-domínios, como é o caso do Granito-Gnaisse Santa Helena e a Cobertura Detrítica-Laterítica. Observou-se, ainda, a redefinição de possíveis contatos litológicos das unidades geológicas existentes na área trabalhada. Conclui-se que a aplicação desta metodologia previamente à etapa de campo deve fornecer mais informações geológicas, o que torna bastante dirigida as observações de afloramentos e otimiza a etapa de campo, facilitando a obtenção de resultados dentro de um programa de levantamento geológico.

ASSESSMENT AND INTEGRATION OF TM - LANDSAT, GEOPHYSICAL AND
GEOLOGICAL DATA BY DIGITALLY PROCESSED IMAGE TECHNIQUES AND
GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

ABSTRACT

In the present study geological, LANDSAT/TM and geophysical data (aerogamaspectrometry - U, Th, K, CT, U/Th, U/K, Th/K; aeromagnetometry - global magnetic field; gravimetry - Bouguer anomaly) were analyzed and integrated to assimilate and adequate methodologies for geological mapping in which all data can be integrated by digitally processed image techniques and Geographical Information Systems. Firstly, a visual interpretation on LANDSAT/TM data was performed aiming at the tectonic positioning of the surveyed area on a regional level. Then, the target area data placed in workstation by format correlation or digitallization were submitted to pre-processing, being geometrically corrected and registered afterwards (coregistered). The geophysical data were converted from vector to raster format and by displaying black and white images, techniques were applied to enhance lithological and structural aspects, such as: contrast stretch, color composite, shaded relief, digital terrain model, slicing and merging with the LANDSAT/TM images by IHS. The images produced were interpreted, assessed and correlated to the geological data available to get as much information as possible from all products. The grouping analysis technique was also used on geophysical data (ISODATA) together with LANDSAT/TM images. The study area is located on the Amazonic Craton, the geology of which is represented by granite-gneissic terrains, magmatic and metamorphic rocks, metasedimentary, sedimentary and volcano-sedimentary sequences. The computer-integrated data techniques have enabled geological information to be presented and treated in many ways, showing that geophysical data in raster format are better than the contour map conventionally used, for providing additional subsidies to geological and geophysical correlation. Thus, lithological units previously documented in the area revealed subunits, as the Santa Helena Granite-Gneiss and the Detritic-Lateritic Cover. The redefinition of possible lithological contacts with the existing units in the application of this methodology should provide not only more geological information about the observations on outcrops and subsequent field stage, but also full data utilization and better profiting from its potentialities by quick and total access to the results of a geological survey program.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE TABELAS	xxiii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Apresentação	1
1.2 - Objetivos	3
1.3 - Área de estudo selecionada	4
1.4 - Aspectos fisiográficos	8
1.4.1 - Clima	8
1.4.2 - Solos	8
1.4.3 - Vegetação	9
1.4.4 - Hidrografia	11
1.4.5 - Relevo	12
1.5 - Aspectos sócio econômicos	14
<u>CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA</u>	19
2.1 - Aspectos da geologia regional	19
2.1.1 - Cráton Amazônico	19
2.1.2 - Ciclo orogênico Sunsas, e as faixas Móveis Sunsas e Aguapeí	26
2.1.3 - Faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia	28
2.2 - Aspectos da geologia local	30
2.2.1 - Síntese lito-estratigráfica	34
2.2.1.1 - Complexo metamórfico Alto Guaporé	34
2.2.1.2 - Complexo Granulítico - Anfibolítico de Santa Bárbara	35
2.2.1.3 - Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e La cerda	36
2.2.1.4 - Granito - Gnaisse Santa Helena	38
2.2.1.5 - Granito São Domingos	39

2.2.1.6 - Suíte Intrusiva Rio do Cágado	39
2.2.1.7 - Grupo Aguapeí	40
2.2.1.8 - Suíte Intrusiva Guapé	43
2.2.1.9 - Grupo Parecís: Formação Utiriati	45
2.2.1.10 - Cobertura detrítica - laterítica	46
2.2.1.11 - Formação Guaporé	47
2.2.1.12 - Depósitos elúvio - coluvionares	48
2.2.1.13 - Depósitos aluvionares	49
2.2.2 - Síntese estrutural	50
2.2.2.1 - Cisalhamento dúctil regional	51
2.2.2.2 - Cisalhamento rúptil de alto ângulo (evento Sunsas - Aguapeí)	52
 <u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u>	 55
3.1 - Materiais	55
3.1.1 - Produtos LANDSAT-TM	55
3.1.2 - Base planialtimétrica	56
3.1.3 - Produtos geofísicos	56
3.1.3.1 - Aeromagnetometria e aerogamaespectrometria.	56
3.1.3.2 - Gravimetria	56
3.1.4 - Equipamentos	57
3.1.4.1 - SITIM 150 - SGI/INPE	58
3.1.4.2 - INTER-ACT 360	59
3.1.5 - Conceitos gerais sobre SIG	60
3.1.5.1 - Estruturas da informação em SIG	63
3.2 - Metodologia	70
3.2.1 - Diagrama de fluxo de trabalho	71
 <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	 121
4.1 - Interpretação da imagem LANDSAT-TM	121
4.2 - Interpretação de dados geofísicos através de técnicas de processamento de imagem	127
4.2.1 - Interpretação de dados aeromagnéticos	127
4.2.2 - Interpretação de dados gravimétricos	134

4.2.3 - Interpretação de dados aerogamaespectrométricos	144
4.3 - Integração e análise de imagens LANDSAT-TM e da dos geofísicos através de técnicas de fusão ("MERGE")	160
4.4 - Análise de agrupamento (ISODATA)	163
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Mapa de localização e vias de acesso da folha Pontes e Lacerda/MT.....	6
1.2 - Infra-estrutura e vias de acesso.....	7
2.1 - Províncias estruturais do Brasil.....	20
2.2 - Mapa geológico da Subprovíncia Madeira.....	20
2.3 - Esboço geotectônico do Cráton Amazônico.....	23
2.4 - Elementos do Ciclo Sunsas (1300 - 950Ma) na Bolívia e Brasil.....	27
2.5 - Localização da área no contexto das zonas estruturais da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia.....	29
2.6 - Mapa geológico da área da folha Pontes e Lacerda.....	31
3.1 - Conceito de "overlays" ou planos de informação (PI) em um sistema de informações geográficas .	62
3.2 - Representação de dados do tipo vetorial e varredura ("raster").....	66
3.3 - Diagrama de fluxo de trabalho.....	72
3.4 - Registro de imagem - definição de pontos de controle para implementação do registro de imagem.	79
3.5 - Correção geométrica de imagens.....	80
3.6 - Etapas de geração de um "grid" - As linhas de v̄o estão representadas pelos segmentos mais <u>es</u> pessos e os "nós" do "grid" por um "x"	85
3.7 - Procedimento de traçado de curvas de contorno entre células de um "grid" - O "grid" tem 5 x 5 células, com valores de cada "nó" assinalado...	86
3.8 - Alguns pares de pontos de controle selecionados, bem definidos, para a correção geométrica e registro da imagem.....	96

3.9 - Detalhe de dois pares de pontos selecionados, bem definidos (cruzamento de estradas) que foram registrados através de feições homólogas com os dados existentes (base topográfica).....	96
3.10 - Cubo de cores RGB.....	102
3.11 - Representação hipotética da transformação por componentes principais.....	105
4.1 - Imagem LANDSAT-TM, banda 4, que foi utilizada para o posicionamento tectônico das rochas que abrangem a Folha Pontes e Lacerda.....	122
4.2 - Detalhe da imagem LANDSAT-TM, banda 4, corrigida geomêtricamente e geocodificada, abrangendo a Folha Pontes e Lacerda.....	122
4.3 - Mapa de feições estruturais.....	123
4.4 - Imagem gerada em tons de cinza, obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectivo mapa de interpretação.....	128
4.5 - Imagem colorida obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectivo mapa de interpretação.....	128
4.6 - Imagem de relevo sombreado gerada em níveis de cinza, obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectiva interpretação.....	129
4.7 - Imagem gerada através de MDT (colorida) a partir de relevo sombreado e respectiva interpretação.....	129
4.8 - Distribuição geográfica das morfoestruturas do Grupo Aguapeí e sua correlação às anomalias aeromagnéticas.....	133
4.9 - Mapa de contorno de dados gravimétricos "Bouguer", Folha Pontes e Lacerda (tem-se os isovalores em mGal) e respectiva interpretação.	136
4.10 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados gravimétricos (anomalia "Bouguer") e respectiva interpretação.....	136

4.11 - Imagem colorida obtida através de dados gravimétricos (anomalia "Bouguer") com a aplicação de fatiamento (slice) de 15 mGal e respectiva interpretação.....	137
4.12 - Imagem gerada através de MDT de dados gravimétricos, em níveis de cinza, a partir de relevo sombreado e respectiva interpretação.....	137
4.13 - Mapa aerogamaespectrométrico de contagem total	146
4.14 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos, Contagem Total - CT e respectiva interpretação.....	146
4.15 - Imagem gerada através de MDT de dados aerogamaespectrométricos (CT), em níveis de cinza com relevo sombreado e respectiva interpretação...	147
4.16 - Imagem colorida obtida através de dados aerogamaespectrométricos (CT) superposta por curvas de isovalores e respectiva interpretação.....	147
4.17 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos (canal específico - K) com a respectiva interpretação	150
4.18 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos (razão Th/K) com a respectiva interpretação.....	150
4.19 - Imagem colorida RGB, gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos U (R), Th (G), K (B) e respectiva interpretação.....	157
4.20 - Imagem colorida IHS, gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos U, Th e K sobreposta por contatos litológicos do mapa geológico da área (forma vetorial sobre "raster").....	157
4.21 - Imagem colorida gerada a partir de dados gamaespectrométricos Th, U e K, seguida de IHS e posterior adição com dados filtrados direcionalmente e respectiva interpretação.....	158

4.22 - Imagem colorida gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos, contagem total (CT) com aplicação de filtragem direcional e técnica de IHS, e respectiva interpretação.....	158
4.23 - Imagem LANDSAT-TM, banda 5, cujo DN (Digital Number) foi reduzido pela metade e adicionou-se o canal de Urânio.....	161
4.24 - Imagem LANDSAT-TM, banda 5, cujo DN (Digital Number) foi reduzido pela metade e adicionou-se os canais Th, U e K, constituindo uma imagem colorida.....	161
4.25 - Imagem colorida obtida através de técnicas RGB/I (1ª CP), H(CT), S(Th).....	164
4.26 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamentos sobre dados aerogamaespectrométricos (CT, U, Th, e K).....	164
4.27 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamento (ISODATA) sobre os dados aerogamaespectrométricos (CT, U, Th, e K) com aumento do desvio padrão.....	165
4.28 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamento (ISODATA) sobre os dados aeromagnéticos (Campo Total) aerogamaespectrométricos (CT) e LANDSAT-TM (1ª Componente Principal).....	165

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Produtos LANDSAT-TM.....	55
3.2 - Elementos de fotoanálise e seu significado geológico.....	74
3.3 - Técnica de correção geométrica utilizada.....	80

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

Em levantamentos geológicos a utilização de grande quantidade de dados (geofísicos, geoquímicos, imagens de satélites, fotos aéreas, e outros) torna-se normalmente uma tarefa bastante complexa. Isto, em grande parte, se deve ao fato da multiplicidade (natureza distinta) dos dados, obtidos de diversas fontes, que em muitos casos possuem diferentes formatos, escalas e resoluções espaciais o que dificulta sobremaneira a integração e a interpretação dos mesmos de maneira sistemática e eficiente.

Por outro lado, a evolução tecnológica na obtenção de dados (desenvolvimento de novos sensores com maior precisão) nos permite cada vez mais ter acesso às informações sobre a superfície e sub-superfície terrestre.

Nesse contexto destaca-se o sensoriamento remoto, que através dos programas atuais (LANDSAT 5 e SPOT 1 e 2) e futuros (RADARSAT, ERS 1, LANDSAT 6, SPOT 3 e outros), nos leva a prever que muito brevemente esses dados obtidos através de sensoriamento remoto, serão aumentados numa quantidade e velocidade tal, o que torna mais difícil essa já complexa tarefa de integração de dados.

Hoje, com o surgimento de sistemas computacionais para aplicações gráficas e de processamento de imagens, tornou-se possível a integração coordenada e sistemática dessa gama de informações através do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O SIG trata-se de um sistema computacional que contém um banco de dados que permite o tratamento de dados referenciados espacialmente (georeferenciados). Esse sistema possui a capacidade de através de comandos manusear dados provenientes de diversas fontes como: mapas, imagens de satélites, dados geofísicos, geoquímicos, cadastros e outros, o que possibilita a recuperação e combinação de informações, sendo permitido vários procedimentos de análise sobre os mais diversos dados. Nesses sistemas, os dados frequentemente apresentados em forma de mapas e isolinhas (geofísicos, geoquímicos, plani-altimétricos, etc.) são geocodificados em um sistema de referência comum para serem tratados através de técnicas de processamento de imagem, proporcionando um manuseio rápido e eficiente de grande quantidade de informações.

Tais sistemas (SIG) tornam-se importantes dentro do contexto de análise de problemas, busca de soluções e transmissão de informações (via monitor de vídeo) devido à capacidade de representação gráfica que podem produzir, além da integração de grande volume de dados.

Em um levantamento geológico principalmente, os trabalhos necessários caracterizam-se predominantemente pelo uso intensivo de mapas, perfis e gráficos, tratamento multidisciplinar (sensores remotos, geofísica, geoquímica, etc.) sendo que todos os dados e informações devem ser tratados de forma integrada. Dessa maneira, a utilização de uma ferramenta que permita integrar todas as informações disponíveis georeferenciadas conduz naturalmente aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Neste trabalho foram utilizadas algumas das técnicas de processamento de imagem e integração de dados disponíveis dentro de um SIG, não sendo intenção esgotar todas as possibilidades e recursos disponíveis de um Sistema

de Informações Geográficas.

Além disso, muitos problemas têm que ser considerados na interface sensoriamento remoto/dados geológicos/Sistemas de Informações Geográficas, tais como àqueles relacionados com a qualidade das imagens, resolução espacial, quantidade de dados, classificação, entrada e saída de dados, qualidade de "software" e "hardware", etc., o que limita este trabalho de acordo com os dados e equipamentos disponíveis utilizados até o momento.

1.2 - OBJETIVOS

Para o reconhecimento geológico de grandes territórios de maneira eficiente e em prazo reduzido, utiliza-se de forma integrada, fundamentalmente de dados aerogeofísicos e de imagens de satélite. Em um país de dimensão continental como o Brasil, embora o país ainda não apresente cobertura total de dados aerogeofísicos, onde ainda existem grande carência de integração de informações geológicas, o Sistema de Informações Geográficas apresenta enorme potencial para ser utilizado.

Sob este aspecto, os trabalhos de integração de dados geológicos regionais devem ser precedidos aos trabalhos de cunhos ou aplicações mais específicas, ou seja o mapeamento geológico regional antecede uma pesquisa mineral. Dentro deste contexto, o trabalho que se desenvolveu nesta pesquisa procurou basicamente avaliar os resultados da integração de informações geológicas existentes na região de Pontes e Lacerda (MT), para o mapeamento geológico regional (básico) e sistemático (programado seqüencialmente em várias folhas definidas previamente), através de técnicas de processamento de imagem e Sistema de Informações Geográficas, segundo os seguintes objetivos:

- verificar o posicionamento tectônico (contexto regional) da área em estudo através de interpretação de imagens LANDSAT-TM na escala de 1.250.000;
- interpretar os dados aerogeofísicos (magnéticos e gamaespectrométricos) e geofísico terrestre (gravimetria) no formato "raster", e compará-los com a geologia da folha Pontes e Lacerda;
- avaliar e integrar dados LANDSAT-TM e geofísicos através de técnicas de processamento de imagem;
- avaliar o resultado que o SIG oferece relativo a rapidez e eficiência para o desenvolvimento de uma pesquisa geológica para grandes áreas;
- avaliar a aplicação de análise de agrupamento (ISO-DATA) sobre dados de geofísica e LANDSAT/TM;
- avaliar o processamento de imagem (geofísica e LANDSAT/TM) em Sistema de Informações Geográficas para o mapeamento geológico regional sistemático.

1.3 - ÁREA DE ESTUDO SELECIONADA

No Brasil existem áreas disponíveis que possuem conjuntamente dados geofísicos processados (aeromagnetometria, aerogamaespectrometria e gravimetria), e de sensores remoto (imagens de satélite, fotos aéreas). A região de Pontes e Lacerda (MT) encontra-se mapeada através do Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil (PLGB) por Meneses et al., 1991 e dispõe de todos os dados acima mencionados como pode ser verificado no capítulo 3 (materiais e métodos), sendo grande parte já encontrados no formato digital. Assim essa região foi selecionada para aplicação da metodologia (capítulo 3) baseada em sistemas com-

putacionais.

A área situa-se na porção sudoeste do estado do Mato Grosso, balizada pelos paralelos $15^{\circ} 00'S$ e $15^{\circ} 30'S$ e meridianos $59^{\circ} 00'W$ e $59^{\circ} 30'W$ (figuras 1.1 e 1.2). Compreende terrenos abrangidos pela quadrícula SD.21-Y-C-II (Pontes e Lacerda), segundo a divisão internacional do mundo ao milionésimo, escala 1:100.000, perfazendo um total de aproximadamente 3.000 Km^2 (figuras 1.1 e 1.2). O principal meio de acesso está representado pela rodovia asfaltada BR-364 que liga Cuibã - Porto Velho, passando pela cidade de Cáceres a sudeste, em que atravessa toda a porção Norte e Leste da área em pauta. Dela partem ainda inúmeras estradas vicinais que servem a pequenos povoados e fazendas da região. Pode-se também chegar à área através de aeronaves de pequeno e médio porte, dispondo-se para isto de vários campos de pouso localizados na cidade de Pontes e Lacerda, principal núcleo urbano da região e nas grandes fazendas existentes (figura 1.2).

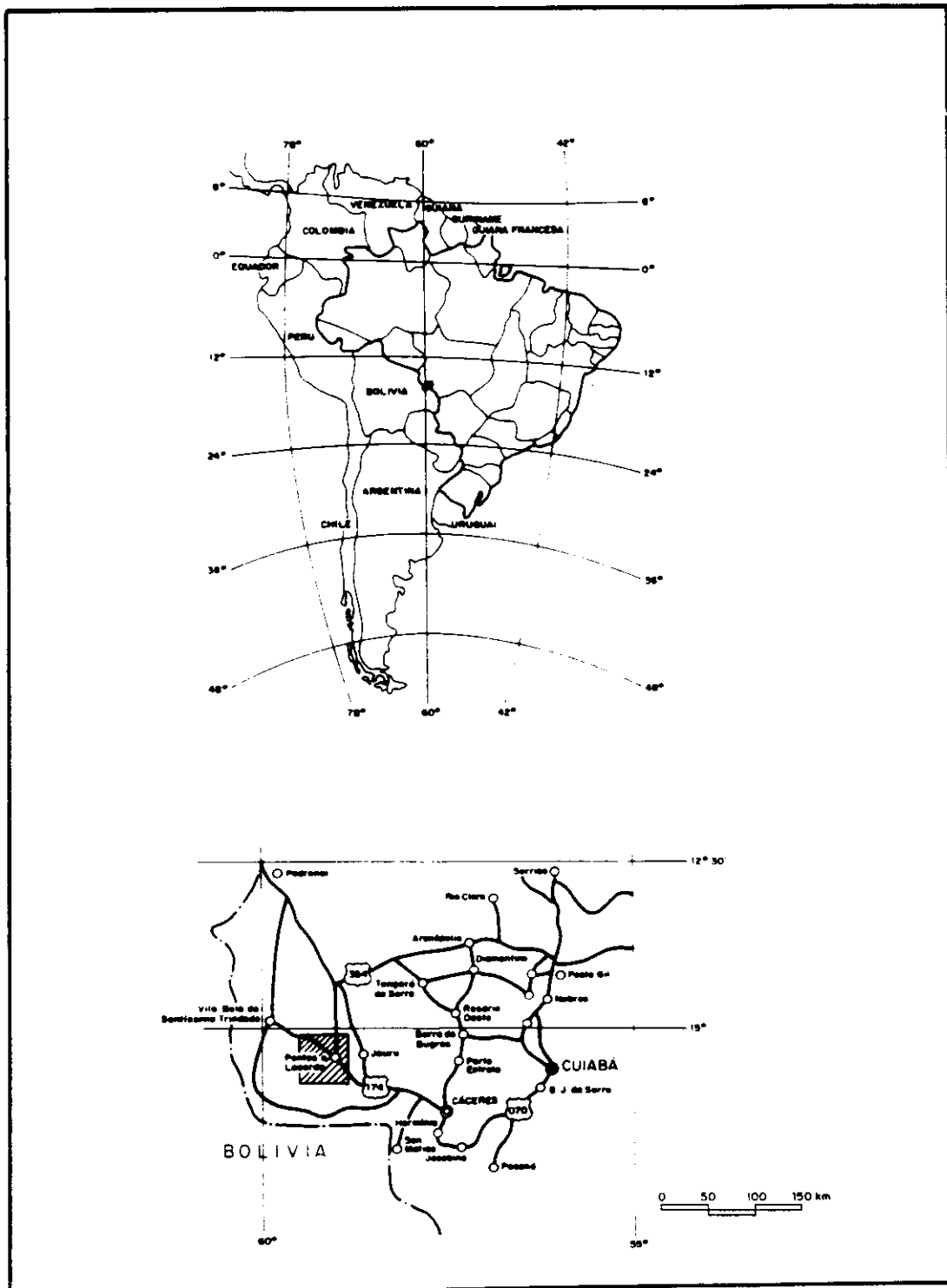


Fig. 1.1 - Mapas de localização e vias de acesso da folha Pontes e Lacerda / MT.

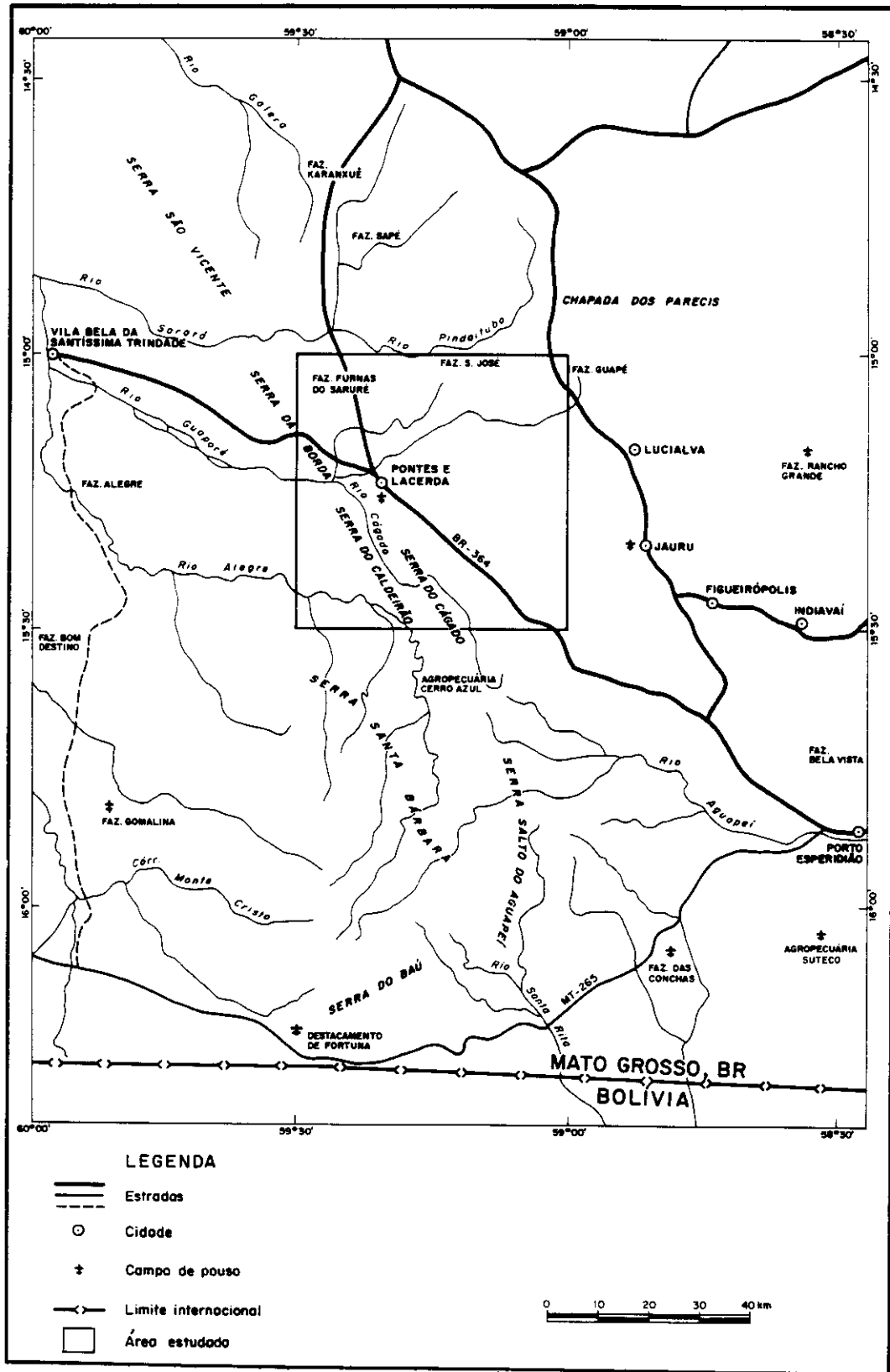


Fig. 1.2 - Infra-estrutura e vias de acesso.

1.4 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

1.4.1 - CLIMA

De acordo com a classificação do IBGE (1977), a área enquadra-se dentro de um domínio de clima quente, semi-úmido, com quatro a cinco meses seco. Tal fato determina uma região homogênea reforçada pela uniformidade de seu sistema geral de circulação atmosférica, caracteristicamente tropical. Isto resulta uma quase total uniformidade da marcha estacional da temperatura (máxima na primavera e mínima no inverno) e absoluta uniformidade na marcha estacional de precipitação (máxima no verão e mínima no inverno). Através dos gráficos apresentados pelo IBGE (1977) tomou-se as seguintes informações:

- temperatura média anual = 24°C ;
- temperatura máxima absoluta do ano = 38°C ;
- temperatura média do mês mais frio (junho a julho) 18°C a 20°C ;
- precipitações pluviométricas anuais = 1500 mm a 1750 mm;
- época de precipitação máxima em três meses consecutivos = dezembro, janeiro e fevereiro;
- duração de períodos secos = junho a setembro.

1.4.2 - SOLOS

Pode-se verificar na área trabalhada que tanto as diversificações das feições geomórficas como principalmente a constituição do substrato rochoso determinam

variações no tipo de solo. Oliveira et al. (1982) definiram para a área três tipos de solos:

- a) Podzólico - Vermelho - Amarelo - Eutrófico: constituiu-se no solo de maior extensão e potencial agrícola de toda a área mapeada. Trata-se de uma rampa dissecada formada sobre as litologias pré-cambrianas do Complexo Xingu.
- b) Litólico - Distrófico: apresenta estreita relação com as formas de relevo, posicionando-se nas porções de maiores altitudes com declives acentuados. Sobrepõe-se principalmente às litologias do Grupo Aguapeí (formações Fortuna e Vale da Promissão).
- c) Áreas Quartzosas Distróficas: encontram-se representadas na região das porções de cotas inferiores da Chapada dos Parecis.

1.4.3 - VEGETAÇÃO

A área encontra-se posicionada predominantemente na denominada Floresta Subcaducifólia Amazônica, que sofreu a ação antrópica com conseqüente desmatamento (Amaral e Fonzar, 1982).

Barros e Simões (1982) verificaram na área a presença de três tipos de unidades vegetais distintas: floresta tropical, de savana ou cerrados e campos antrópicos.

A floresta tropical, outrora imponente, encontra-se na área bastante reduzida, devido sua desvatação motivada por incentivos à implantação de empreendimentos agropecuários. Tem como característica uma vegetação exuberante, muito densa, com árvores de pequeno a grande porte,

desenvolvendo-se indistintamente sobre diferentes unidades geológicas. Nesse agrupamento, destacam-se como principais espécimes: mogno, cedro, cerejeira, jequitibá, bálamo e samaúma, onde se verifica a intervenção humana para o aproveitamento de determinadas espécimes de valor comercial. Daí são extraídos: mogno, cerejeira, cedro, etc., sem que seja feita a total retirada da vegetação. No local onde o fogo atinge (processo utilizado para a colonização) o que provoca o desmatamento total, observa-se a invasão da palmeira babaçu. A floresta ribeirinha (floresta-galeria) encontra-se confinada às calhas fluviais e zonas de aluviões, resultante de uma sensível redução de sua altura, representada sobretudo por palmeiras como o buriti e o açai.

Nas regiões onde predominam solos mais ácidos posicionados em terrenos que constituem a Chapada dos Parecis, Depressão do Guaporé, embasamento cristalino e alguns segmentos do Grupo Aguapeí, não permitem desenvolvimento de floresta tropical. À vista de tal condição, surge uma unidade florestal em geral de baixo porte. Exibe espaçamento entre árvores e arbustos, apresentando um tapete rasteiro constituído por gramíneas. Seus componentes vegetais mostram-se de forma geral menos evoluídos com galhos e troncos, tendendo a um aspecto retorcido, sendo a sub-mata tipicamente arbustiva. Diante disso, pode-se definir tal unidade como cerrado, tratando-se de uma forma intermediária entre a floresta tropical, semi-úmida e outras formações vegetais menos evoluídas e mais abertas. Não é simples a questão de classificação do cerrado no quadro sistemático da vegetação, havendo aqueles que o incluem na categoria de Savanas Arbóreas, e aqueles outros que lhe atribuem características próprias, considerando-o como uma vegetação *sui generis*, Amaral e Fonzar (1982).

Destaca-se na área os campos de ações antrópicas, relacionados com áreas destinadas às pastagens e em

menor escala às culturas. Geralmente evoluem sobre aquelas áreas anteriormente ocupadas pelas Florestas Tropicais. São constituídos por gramíneas com vegetação arbórea esparsa.

1.4.4 - HIDROGRAFIA

A influência do relevo sobre a hidrografia da região Centro-Oeste prende-se estreitamente ao movimento epirogenético positivo que se processou, de maneira gradativa, desde o Paleozóico, de modo a afetar profundamente o escudo brasileiro (IBGE, 1977). Na região Centro-Oeste desenvolveu-se divisores principais que repartem as águas para as bacias Platina, Amazônica, Tocantins e do São Francisco.

Na área estudada, a malha hidrográfica pertence integralmente à Bacia Amazônica, tendo como principal captor de águas o rio Guaporé que atravessa a área grosso modo de leste para oeste, subdividindo-a mais ou menos igualmente, tendo sua nascente na Chapada dos Parecis. Tal curso d'água encontra seu nível de base na depressão periférica do Guaporé. Este rio associado a outros (Paraguai e seus afluentes Jauru), devido ao forte poder erosivo, marcaram a frente da "Cuesta" Mesozóica da Chapada dos Parecis com incisões profundas, dando margem ao aparecimento de verdadeiras lombadas, nas quais se salientam cristas pontiagudas (IBGE, 1977).

O rio Guaporé escoia de forma tranqüila na área, interrompido apenas por algumas pequenas corredeiras eventuais, exceptuando-se o percurso inicial onde mostra-se encaixado com fortes corredeiras e pequenas quedas d'água, o que oferece de maneira geral boas condições de navegabilidade para pequenos barcos a motor ou a remo. A medida que o Guaporé caminha para oeste, adquire o caráter meandrante. Pela margem direita, destaca-se como principal afluente o

Rio Branco, que tal qual o Guaporé, tem suas nascentes na Chapada dos Parecis, cuja fôz encontra-se próxima à cidade de Pontes e Lacerda. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios Alegre e Cágado, e em segundo plano o córrego Lavrinha. O rio Cágado e o córrego Lavrinha têm sua fôz no âmbito da própria área, cujos cursos d'água encontram-se posicionados paralelamente à direção das rochas locais, evidenciando o controle estrutural de ambos. O rio Alegre que também exibe forte controle estrutural, possui suas nascentes na serra de Santa Bárbara (fora da quadrícula), escoa de sul para o norte, infletindo para oeste ao atingir os limites da folha. Delinea uma trajetória bastante sinuosa com forte caráter meandrante, desembocando a montante da cidade de Vila Bela da Santíssima Trindade (fora da quadrícula).

Em sua "Carta Potomográfica Especial da América do Sul" Jaguaribe de Matos (IBGE, 1977) aponta duas ligações entre as Bacias Amazônica e Platina. Uma delas posiciona-se próxima da área. Ocorre entre os rios Guaporé e Paraguai, respectivamente pelos seus formadores Alegre e Aguapeí, este último afluente do Jauru. Esta ligação é propiciada pela Lagoa Rebeca e pelo grande Pantanal.

1.4.5 - RELEVO

Parte dos principais trabalhos de geomorfologia do Centro-Oeste brasileiro situa-se fora da área de trabalho, ou faz referências de caráter muito geral das principais feições que ali ocorrem. Os principais trabalhos que fazem referências às feições existentes na área são: Almeida (1964 a,b) que elaborou trabalho à leste da área, observando a importância desempenhada pela geotectônica no relevo das unidades geomorfológicas. Figueiredo et al. (1974) adotou grande parte dos compartimentos estabelecidos por Almeida, (1964 a, b) estendendo para oeste tal divisão,

levando em consideração a litologia, tectônica e os ciclos erosivos, os quais contribuíram para modelar o relevo atual, definindo na área as seguintes unidades: Província Serrana do Alto Guaporé; Chapada dos Parecis; Superfície Cristalina do Alto Guaporé e Baixada do Guaporé. Ross e Santos (1982) definiram na área três unidades geomórficas, denominadas: Planaltos Residuais do Alto Guaporé; Depressão do Guaporé e Planalto Parecis, subdividido em Chapada dos Parecis e Planalto Dissecado dos Parecis (Planalto Alto Jaurú Rio-Branco). Rodrigues et al. (1974) quando da realização do mapeamento geológico da área identificaram quatro compartimentos:

1) **Superfície Cristalina do Alto Guaporé** - Almeida (1964 a, b) percorrendo estrada que liga Cáceres a Porto Esperidião, observou uma unidade geomorfológica, drenada pelos rios Jauru, Cabaçal e Aguapeí, constituída de mica-xistos, granitos e anfibolitos, a qual denominou de Planície Cristalina do Rio Jauru, que é a extensão oriental da Superfície Cristalina do Alto Guaporé (Figueiredo et al., 1974). Na área trabalhada, esta unidade pode ser dividida em dois compartimentos: o primeiro compartimento inclui os terrenos sustentados pelo chamado Embasamento Cristalino. Abrange a maior superfície das regiões norte e centro-leste. Possui um relevo dissecado, mostrando feições positivas bem delineadas, com presença de vales mais fechados e bem entalhados. De maneira geral, o relevo exhibe superfície ondulada, sustentada por morros de encostas bem suavizadas, sobressaindo localmente maciços mais elevados, principalmente a nordeste da área, atingindo cotas de até 600 m. O padrão de drenagem pode ser classificado como dentrítico de alta densidade. O segundo compartimento, ocupa faixa de metapelitos pertencentes ao Grupo Aguapeí (Formação Vale da Promissão) posicionado no quadrante sudoeste. Apresenta padrão de drenagem retangular-angular, de baixa densidade e pouco ramificado com vales bem abertos e muito rasos.

Exibe relevo arrasado a levemente ondulado, com cotas que oscilam entre 250 a 350m cujos valores acentuam-se para leste.

2) **Província Serrana do Alto Guaporé** - Foi definida por Figueiredo et al. (1974). Trata-se do conjunto de serras posicionadas na porção centro-oeste da quadrícula, constituído pelas serras do Caldeirão, Borda, Cágado e Patrimônio. Apresenta morfologia de estreita cristas alinhadas, orientadas predominantemente segundo a direção noroeste-sudeste com cotas que variam entre 450m e 650m, ostentando vertentes abruptas. A rede de drenagem apresenta vales fechados e profundos, a qual exhibe forte controle estrutural, caracterizando-se pelo padrão subparalelo.

3) **Depressão do Guaporé** - Está relacionada às áreas de acumulação dos rios Alegre e Guaporé, os quais condicionam inundações periódicas. Apresenta poucos cursos d'água meandrantes. Ocupa áreas bastante abrangente à sudoeste da quadrícula, ocupando parte dos terrenos constituídos pelas serras da Borda e Caldeirão. Ostenta cotas entre 220m e 260m conformando uma planície.

4) **Chapada dos Parecis** - Este compartimento é sustentado por camadas areníticas plano-paralelas do grupo homônimo, posicionado no período Cretáceo. Apresenta-se na porção nordeste da quadrícula, através de área restrita, cujas cotas variam em torno de 600m. A rede de drenagem enquadra-se dentro do padrão dendrítico. O relevo apresenta-se subaplainado com encostas suavizadas.

1.5 - ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS

O principal núcleo urbano da quadrícula é a cidade de Pontes e Lacerda, posicionada na porção centro-oeste da quadrícula, às margens do rio Guaporé, que possui

infra-estrutura de cidade de pequeno porte.

Trata-se de região com ocupação recente que apresenta duas fases de colonização. A primeira data do tempo de Brasil Colonial e do Brasil Império, motivada pela busca de metais e pedras preciosas. A segunda pelo atual surto desenvolvimentista, sustentado pelo setor primário voltado para pecuária, agricultura e indústria extrativa vegetal. A pecuária tem papel de destaque através da criação do gado para corte, concentrada em grandes empreendimentos agro-pecuários, realizada em grandes propriedades agrícolas. A agricultura desenvolve-se em pequenas propriedades, cultivadas por milho, arroz, feijão e mandioca, voltados para o consumo local. O algodão é cultivado em pequena escala, cuja produção é totalmente escoada para outros centros.

Com exceção de alguns reflorestamentos realizados em algumas grandes fazendas a partir de seringais relacionados à extração de látex em escala comercial, a indústria extrativa vegetal repousa predominantemente sobre o mógno, cerejeira, peroba e cedro, além de umburama, angelim, anjico, ipê e faveiro que dão suporte às serrarias existentes. Esta atividade, aliada aos grandes projetos agropecuários, estão levando à devastação de florestas, através de queimadas para a formação de pasto, o que já está determinando a escassez da matéria prima para as serrarias, levando à busca da demanda em madeira em outros centros, principalmente em Rondônia e norte do Estado.

Recentemente, a extração mineral, concentrada essencialmente na garimpagem do ouro, começou a se destacar por parte de garimpeiros advindos de outras regiões e moradores locais já há muito tempo instalados na área. Porém, tal atividade mostrou o seu lado negativo. Com a falta de critérios e de desrespeito à quaisquer normas técnicas na

extração e preservação do meio ambiente esta atividade está levando a grande degradação do mesmo, causada pela devastação de grandes áreas e pela contaminação dos cursos d'água por mercúrio, utilizado de forma indiscriminada e irresponsável. Tal atividade ocasionou a migração em grande escala de elementos humanos desqualificado para a região, aumentando o problema social e provocando ainda, maiores índices de ocorrências de doenças endêmicas, tais como a malária e a leishmaniose.

O setor secundário ainda é incipiente, resumindo-se a pequenas indústrias de móveis, poucas olarias e uma fábrica de laticínios. A região embora ainda se caracterize por uma área de baixa densidade populacional, provavelmente em breve se reverterá em função do intenso fluxo migratório hoje existente. O quadro anteriormente descrito mostra que a área encontra-se em processo de ocupação, principalmente agropecuária e demográfica. Grandes áreas tem sido desflorestadas, bem como áreas de cerrados transformando-se em glebas de pastoreiro. Em geral, o antropismo é maior nas áreas que apresentam solos férteis e melhores condições para o desenvolvimento da agropecuária. As áreas florestadas e de fácil acesso (BR-364) são as mais cobichadas para a colonização. Na área em estudo pode-se observar que a ocupação humana sobre as terras virgens tem acontecido de maneira muito rápida e descontrolada. De ano para ano, nota-se o aumento das áreas antrópicas provocado pelo avanço das fronteiras agrícolas em todas as direções, e agravado pela invasão dos garimpeiros. É do conhecimento que a substituição da vegetação natural por culturas, feita quase sempre de maneira desordenada, provoca grandes alterações nos ecossistemas com repercursão na dinâmica ecológica. Segundo Amaral e Fonzar (1982), a colonização da Amazônia como está se processando tende a agravar o problema agrário do país, cujos desmatamentos indiscriminados destroem o ecossistema e causam a erosão dos solos. Segundo os

mesmos autores (Amaral e Fonzar, 1982), a vegetação de uma determinada área reflete, de maneira geral, os fatores ecológicos/ambientais que nela atuam, tais como clima, solo, relevo, altitude e geologia. Quando aparece uma mudança num desses fatores ambientais, muda o ecossistema de que faz parte a vegetação, fazendo com que apareçam comunidades vegetais diferentes e surgindo no local as áreas de Tensão Ecológica. Se caracterizam pela interpenetração de formações de diferentes regiões fitológicas. Segundo os mesmos autores (Amaral e Fonzar, 1982), a experiência na área é ainda muito recente para se chegar a uma conclusão a respeito das vantagens ou desvantagens dessa transformação. Não se sabe ainda até que ponto a retirada de uma cobertura de árvores, e sua substituição por gramíneas, vai alterar o meio ambiente, levando-se em consideração as precariedades de um solo tropical, geralmente pobre, sujeito a chuvas densas prolongadas.

CAPÍTULO 2GEOLOGIA2.1 - ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL

A nível das grandes estruturas geológicas que constituem o arcabouço geotectônico regional, três grandes entidades podem ser destacadas: o Cráton Amazônico e as faixas Móveis Aguapeí e Paraguai - Araguaia. A área trabalhada, entretanto, tem a maior parte de seus terrenos identificados com a porção meridional do Cráton Amazônico (o que leva a uma descrição de seus litotipos e evolução geológica) e sua porção restante relacionado à Faixa Móvel Aguapeí, pertencentes à Província Tapajós de Almeida et al. (1977) ou mais especificamente, à Subprovíncia Madeira desse mesmos autores (figuras 2.1 e 2.2)

2.1.1 - CRÁTON AMAZÔNICO

A porção meridional do Cráton Amazônico, também denominada de plataforma do Guaporé, posicionada à sul da Sinéclise do Amazonas abrange a maior superfície da área trabalhada.

Litologicamente encerra seqüências de rochas para as quais creditam-se histórias evolutivas bastante complexas e polideformacionais vinculadas a eventos tectono-magmáticos ou ciclos termotectônicos posteriores à sua consolidação, sobretudo, implantados após a finalização do ciclo transamazônico (2,2ba a 1,9ba)

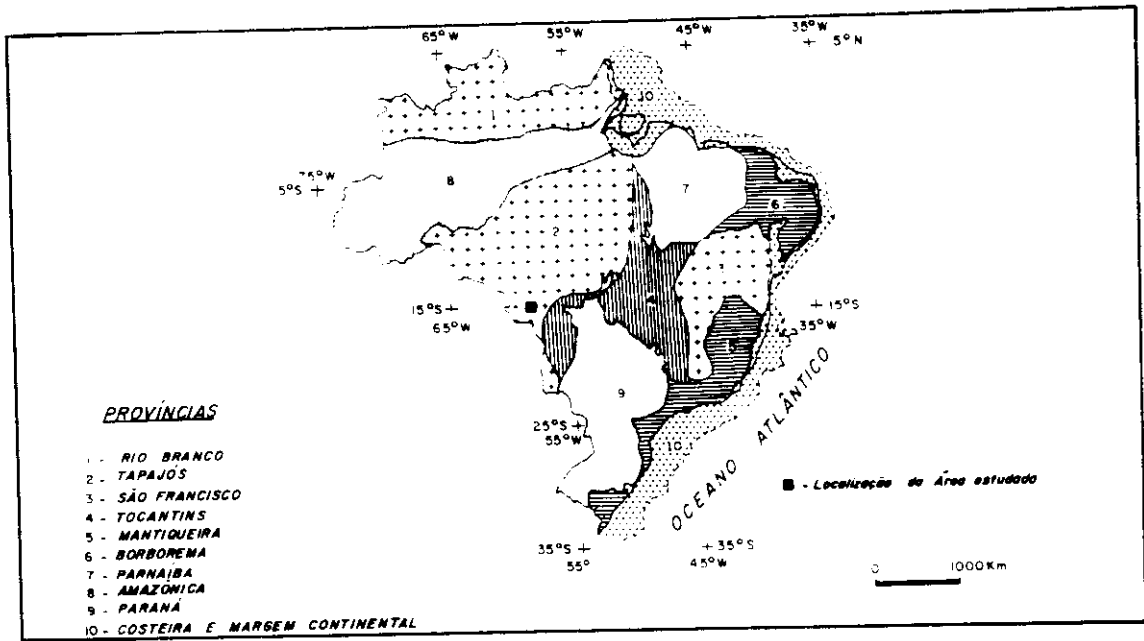


Fig. 2.1 - Províncias estruturais do Brasil.

FONTE: Almeida et al. (1977) citado por Almeida e Hasui (1984), p. 92.

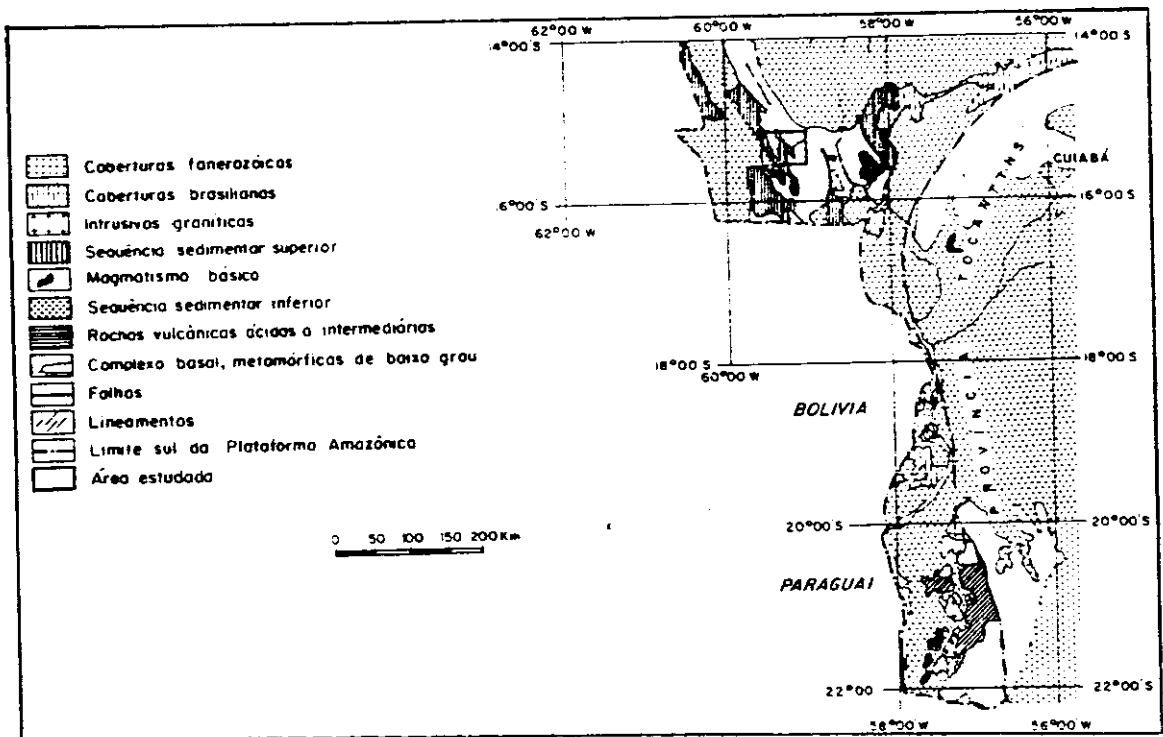


Fig. 2.2 - Mapa geológico da Subprovíncia Madeira.

Modificada de Amaral (1974); Leal et al. (1978); Santos et al. (1979); citado por Almeida e Hasui (1974), p. 17.

A evolução geotectônica do Cráton Amazônico a partir do ciclo transamazônico é interpretada sob dois pontos de vista:

- 1) O primeiro relata a existência de três eventos de reativação da plataforma (Uatumã ou Paraense, Parguazense, ou Madeirense e Rondoniense), ocorridos entre o Proterozóico Médio e início do Superior (Amaral, 1974; Almeida et al., 1977; Santos et al. 1979).

a) **Evento Uatumã** - estaria caracterizado por extenso vulcanismo de caráter ácido a intermediário ocorrido entre 1900M.a e 1700M.a, acompanhado em seus estágios finais, pela intrusão de granitos e sienitos anarogênicos (em parte estaníferos), além da deposição de espessa cobertura sedimentar flúvio-marinha.

b) **Evento Parguazense ou Madeirense** - novo episódio magmático de caráter básico toleítico (subvulcânico), que afetou a cobertura (1.600Ma). Nesta fase de reativação seriam gerados os granitos anarogênicos, circunscritos (tipo rapakivi) com idades por volta de 1500Ma.

c) **Evento Rondoniense** - com idade próxima de 1.200Ma, é interpretado como evento tectonotermal ou termal, caracterizado por esforços tensionais e de cisalhamento, a partir da reativação de antigas zonas de falhas. Tal evento tem sido assinalado como o responsável pela geração dos granitos estaníferos Rondonianos.

Devido à semelhança existente entre os granitos estaníferos Rondonianos com os gerados no evento Parguazense, muitos autores (Isotta et al., 1978; Santos et al., 1981; Bellizia, 1973) os têm correlacionados, sendo que os granitos gerados no evento Rondoniano representariam

apenas uma época de rejuvenescimento isotópico.

- 2) O segundo ponto de vista fornecido para a evolução do Cráton Amazônico define que o mesmo é constituído por um domínio cratônico mais antigo, de idade arqueana denominada como Província Amazônica Central (Cordani et al., 1979). Sobre esta Província, durante o Proterozóico Inferior a Médio, desenvolveram-se três faixas móveis alinhadas seguindo a direção noroeste-sudeste: Maroní-Itacaiunas (2.220Ma - 1800Ma), Rio Negro - Juruena (1750Ma - 1600Ma) e Rondoniano (1500Ma - 1300Ma). Cada faixa móvel possui diferentes estágios de atividades magmáticas (vulcanismo e plutonismo ácido e alcalino). Durante a fase de inversão tectônica constituíram-se as bacias onde se depositaram extensas coberturas sedimentares.

Acrescentando a essas três faixas móveis acima citadas, Tassinari et al. (1987) introduziram a Faixa Móvel Sunsas de Bloomfield e Litherland (1979), que estaria possivelmente posicionada no intervalo do evento Rondoniano (figura 2.3).

A porção meridional do Cráton Amazônico está limitada a leste e parcialmente a sul pelo sistema de dobramentos Paraguai - Araguaia. Seus limites ocidentais (Cráton Amazônico) estariam balizados segundo Bloomfield e Litherland (1979), pela Faixa Móvel Aguapeí, que o separaria ainda do Cráton Paraguá.

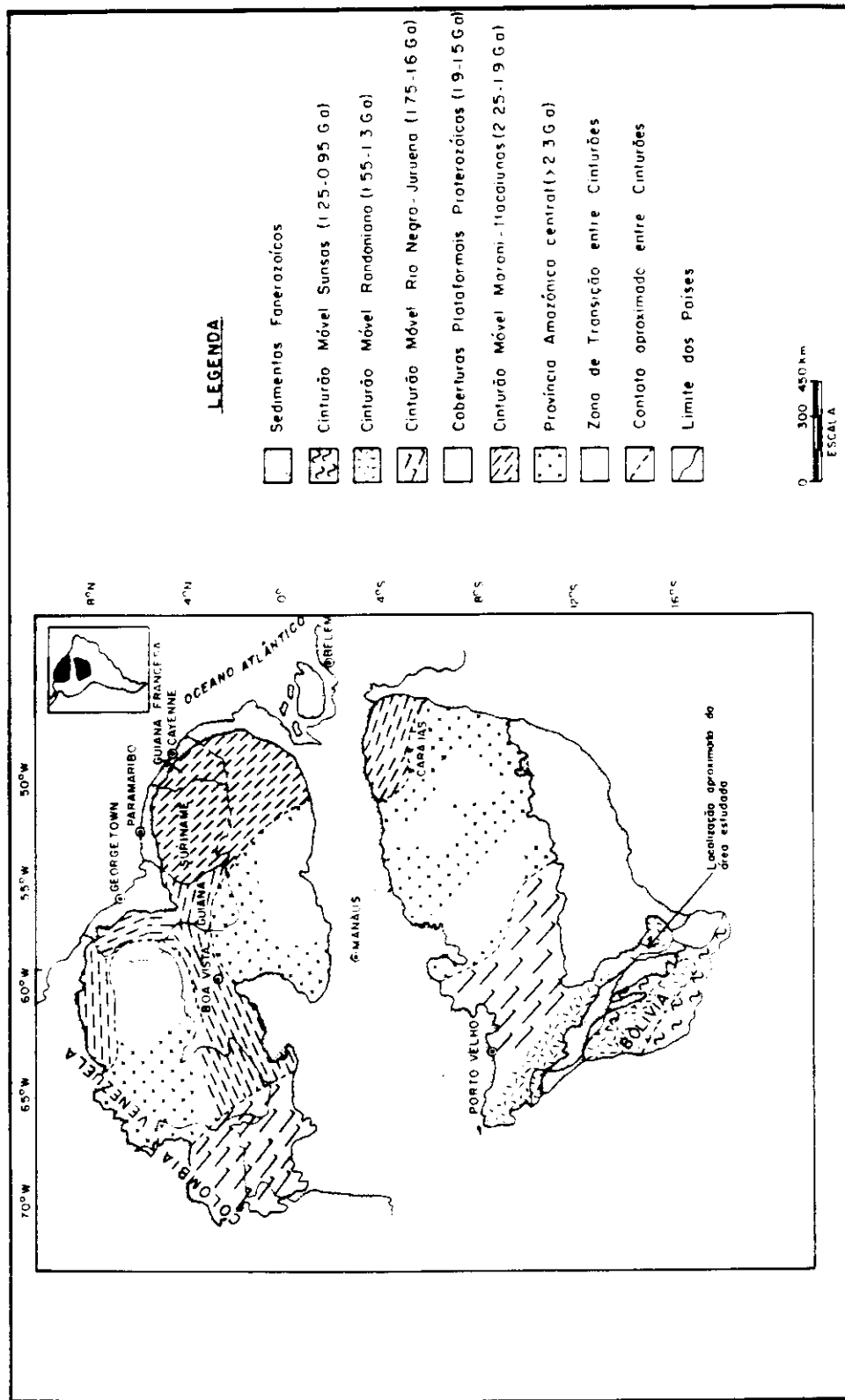


Fig. 2.3 - Esboço geotectônico do Cráton Amazônico.
 FONTE: Tassinari et al. (1987), p. 26.

Na região trabalhada, os mapeamentos geológicos elaborados anteriormente destacaram como unidade geológica mais representativa deste domínio geotectônico o Complexo Xingu (Silva et al., 1974). Este é constituído essencialmente por rochas metamórficas com fácies anfibolito a granulito, com núcleos de migmatitos associados, não individualizados. Como rochas mais comuns incluem-se biotita-gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses, granitos anatótico, anfibolitos, rochas cataclásticas e de forma mais subordinada, xistos e quartzitos. Monteiro et al. (1986), em porções específicas da área cratônica (região de Jauru) caracterizaram seqüências vulcano-sedimentares, com facies metamórfica xisto - verde, definindo como seqüências de tipo "greenstone" ("Greenstone Belt" do Alto Jauru).

Barros et al. (1982) definiram a Suíte Intrusiva Rio Alegre, outra unidade assinalada nesse Cráton. Monteiro et al. (1986) a redefiniram na área de ocorrência do "Greenstone Belt" do Alto Jauru, restringindo sua presença a diques e soleiras intrusiva no "greenstone" acima citado e no Complexo Xingu. Esta Suíte Intrusiva Rio Alegre é constituída por dunitos, serpentinitos, gabros e leucograbos metamorfisados na facies xistos - verdes.

A unidade Aguapeí (Figueiredo et al., 1974) posteriormente denominado Grupo Aguapeí (Souza e Hildred, 1980) representa as coberturas plataformais desenvolvidas ao longo do Praterozóico Médio. Acha-se subdividida da base para o topo nas Formações Fortuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino, a segunda essencialmente pelítica e as outras duas psamíticas.

Em seqüência geocronológica das unidades pré-cambrianas neste domínio geotectônico, tem-se o Grupo Rio Branco e a Suíte Intrusiva Guapé.

Barros et al. (1982) definem o Grupo Rio Branco como um conjunto pluto-vulcânico constituídos por rochas ácidas (riodacitos, granitos pórfitos, andesitos e dacitos) e básicas (diabásios e gabros) as quais admitem como intrusivas no Grupo Aguapeí. Indicam o intervalo entre 1150Ma a 1000Ma quando provavelmente ocorreram tais manifestações. Leite et al. (1985), ao contrário rejeitam o caráter intrusivo destas rochas no Grupo Aguapeí, considerando que a cobertura meta-sedimentar é mais jovem e teria se depositado sobre aquelas rochas do Grupo Rio Branco.

A suíte Intrusiva Guapé (Barros et al., 1982) foi definida na fazenda homônima para caracterizar corpos graníticos claramente intrusivos no embasamento, com idades estabelecidas entre 850Ma - 950Ma.

As coberturas fanerozóicas cobrem grande parte da porção meridional do Cráton Amazônico, destacando-se as formações Jauru e Tapirapuã e o Grupo Parecis. A formação Jauru é constituída por paraconglomerados petromíticos, siltitos arenosos e folhelhos. Encontra-se representada por pacotes sub-horizontalizados depositados no eocarbonífero em ambiente glacial (Barros et al. 1982). A formação Tapirapuã é constituída por derrames de rochas básicas toleíticas: basaltos e diabásios (Barros et al. 1982). Está relacionada com a evolução geológica da Bacia do Paraná.

O Grupo Parecis, posicionado no Cretáceo (Médio a Superior), foi depositado em ambiente tipicamente continental, e constitui a cobertura de maiores elevações topográficas, ocupando de forma contínua vastas extensões do Cráton Guaporé. Barros et al. (1982) dividiu este grupo em duas formações, Formação Salto das Nuvens, basal, constituída por arenitos e conglomerados imaturos, e na Formação Utiriati, composta por sedimentos arenosos de origem flu-

vial, correspondendo aos terrenos que sustentam a Chapada dos Parecis.

Sobre esta formação (Utiriati) encontra-se bem evoluída uma unidade geológica de natureza laterítica, a qual constitui a chamada Cobertura Detrito-Laterítica de idade Terciária-Quaternária.

Em seqüência geocronológica tem-se as formações Guaporé e Pantanal que apresentam suas bacias de acumulação vinculadas às estruturas tafrogênicas originadas a partir da reativação de descontinuidades antigas. Desse modo essas unidades posicionadas no Quaternário apresentam suas faixas de ocorrências associadas aos domínios das faixas Móveis Paraguai - Araguaia e Aguapeí (Menezes et al., 1991).

2.1.2 - CICLO OROGÊNICO SUNSAS E AS FAIXAS MÓVEIS SUNSAS E AGUAPEÍ

O ciclo orogênico Sunsas teria ocorrido entre o Proterozóico Médio e o início do Superior, posicionado entre 1280Ma - 950Ma, cujos reflexos estão relacionados com a origem das faixas móveis Sunsas e Aguapeí. (Bloomfield e Litherland, 1979; Litherland, et al. 1986), vide figura 2.4. Na Bolívia encontra-se representado pelos grupos Sunsas e Vibosi caracterizados inicialmente por um estágio sedimentar e a subsequente deformação e metamorfismo desses sedimentos. Segue-se o estágio orogênico acompanhado de magmatismo básico (Complexo Rincon del Tigre) e ácido, incluindo a geração de pegmatitos. Tal evento marcaria a cratonização do escudo boliviano.

No Brasil a unidade correlativa ao Grupo Sunsas corresponde ao grupo Aguapeí.

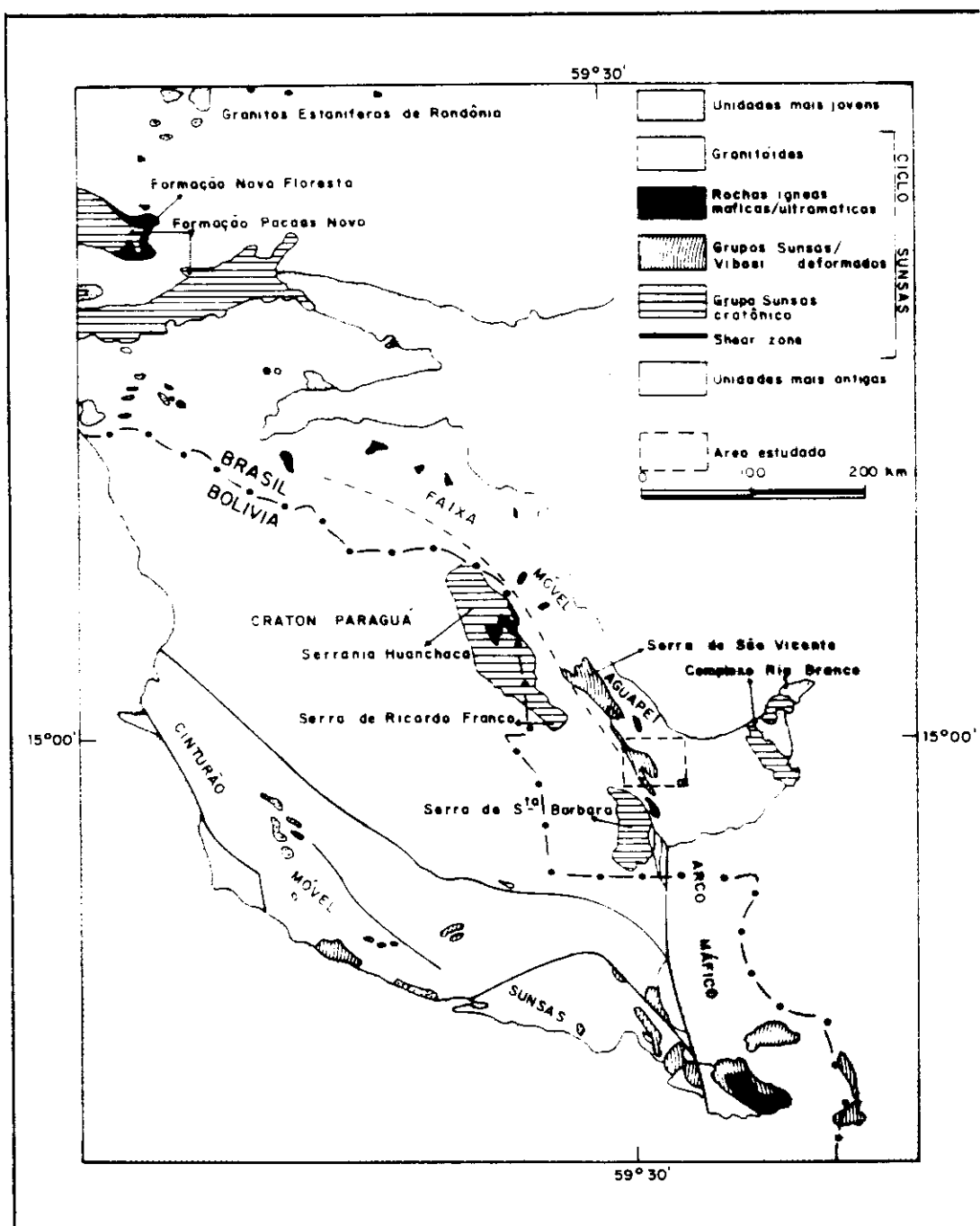


Fig. 2.4 - Elementos do Ciclo Sunsas (1300-950 Ma.) na Bolívia e Brasil

FONTE: Litherland et al. (1986), p. 29.

As faixas móveis Aguapeí e Sunsas mostram boa correlação a nível dos sistemas deposicionais, intensidade deformacionais e grau metamórfico, bem como a continuidade física como na Serra de Ricardo Franco, na divisa do Brasil com a Bolívia.

2.1.3 - FAIXA DE DOBRAMENTOS PARAGUAI - ARAGUAIA

Áreas de exposições ligadas a esta faixa somente aparecem a pouco mais de 100km a leste da área estudada. Almeida (1964 a,b), baseado em evoluções tectônicas estruturais e metamórficas sugeriu a subdivisão da faixa em duas zonas estruturais (figura 2.5). A primeira denominada de "Brasilides Metamórficas" engloba as rochas mais antigas, com metamorfismo na facies xistos-verdes e intensa deformação ligada a três eventos do Ciclo Brasileiro. Nesta zona estrutural ("Brasilides Metamórficas") associam-se manifestações vulcânicas e intrusões graníticas, granodioríticas e de rochas sub-vulcânicas associadas. Foi definida nessa zona estrutural uma única unidade litoestratigráfica denominada por Grupo Cuiabá.

A segunda designada por "Brasilides Não Metamórficas" cujo metamorfismo é ausente ou incipiente, não apresenta magmatismo associado. Apresenta grau intenso de estruturação linear de acamamento, associada a falhas inversas ou empurrões, com transporte tectônicos dirigido para o Cráton Amazônico. No estado do Mato Grosso foi denominado de Grupo Paraguai. Constitui-se, a partir da base para o topo, nas seguintes formações Bauxi, Moenda, Araras, Raizama, Sepotuba e Diamantino.

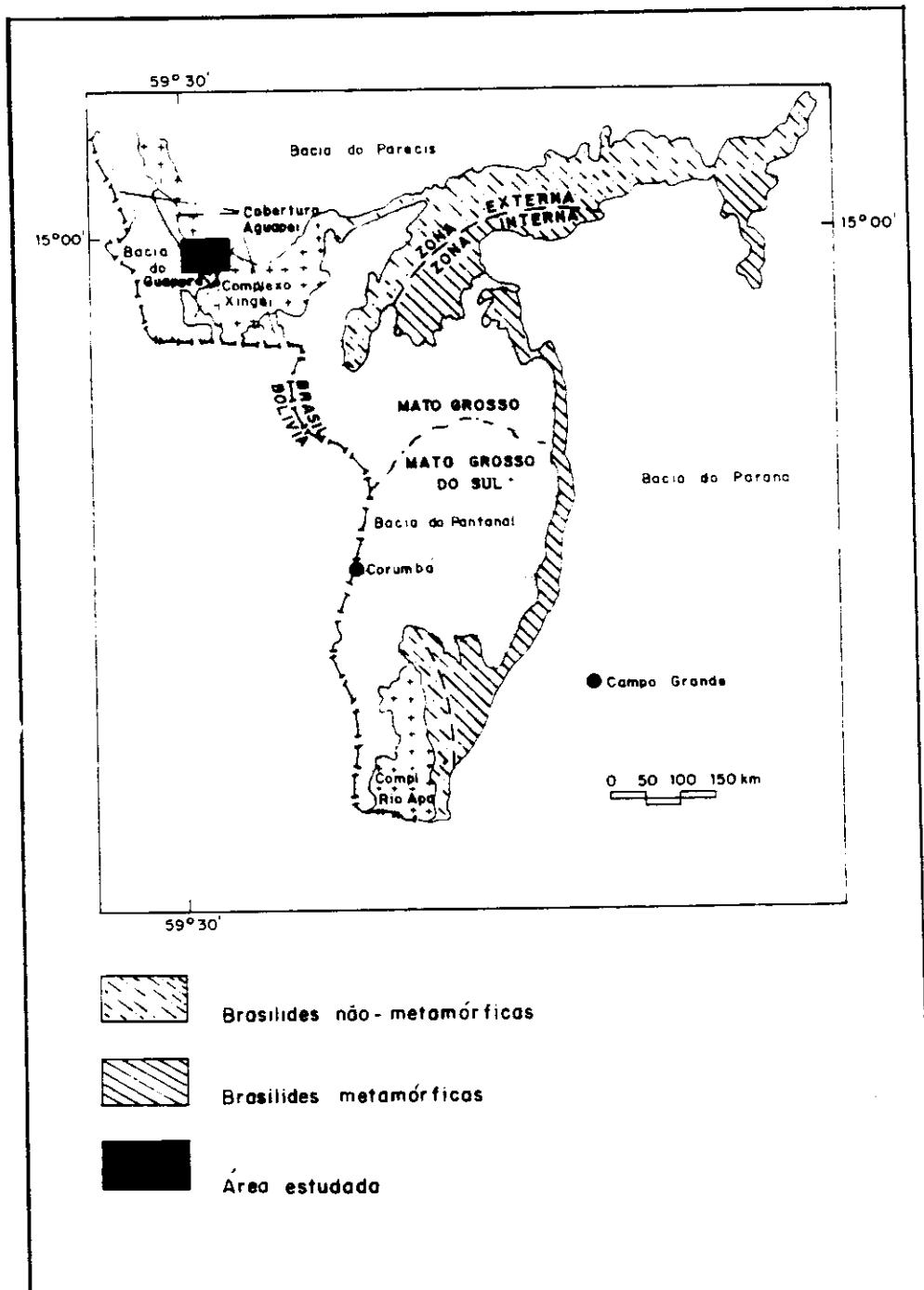


Fig. 2.5 - Localização da área no contexto das zonas estruturais da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia. FONTE: Adaptada de Almeida e Hasui (1984), p.268.

2.2 - ASPECTOS DA GEOLOGIA LOCAL

Embora existam muitas publicações de autorias diversas referente à área objeto de trabalho, somente algumas delas envolvem diretamente a mesma através de mapeamento geológicos e/ou prospecções geofísicas. Dentre eles destacam: LASA (1968 a/b); Figueiredo et al. (1974); Rodrigues et al. (1974); Cardoso et al. (1980); Barros e Simões (1982); Ferreira et al. (1987) e Menezes et al. (1991). Devido aos objetivos deste trabalho estarem relacionados mais à aplicação de metodologia e avaliação de resultados que o SIG pode oferecer para aplicações geológicas, do que propriamente para um estudo de detalhamento da geologia existente na área, não houve preocupação maior em aprofundar a discussão geológica, além daquela necessária para situar a área dentro do contexto regional, fornecendo pormenores da geologia local. Por esta razão, as informações geológicas que se fizeram necessárias para esta pesquisa, foram baseadas nos dados acumulados durante o mapeamento geológico dessa região pelo autor desta dissertação, Ferreira et al., (1987), e no trabalho publicado em co-autoria com Menezes et al. (1991), figura 2.6. Dessa forma, as verificações de campo efetuadas na área foram dirigidas para observações que permitissem explicações sobre os dados utilizados (LANDSAT/TM, geofísicos) e o interrelacionamento dos mesmos, oriundos de várias procedências (imagens de satélites, dados geofísicos, etc.).

A grande diversidade litológica/estrutural das unidades geológicas cartografadas leva a supor que a área foi palco de complexa história geológica. A nível dos terrenos correlacionados ao antigo Complexo Xingu, definido homogeneamente em área extensa, verificou-se o quão diversificada era esta entidade, permitindo-se sua divisão em diferentes unidades litoestatigráficas.

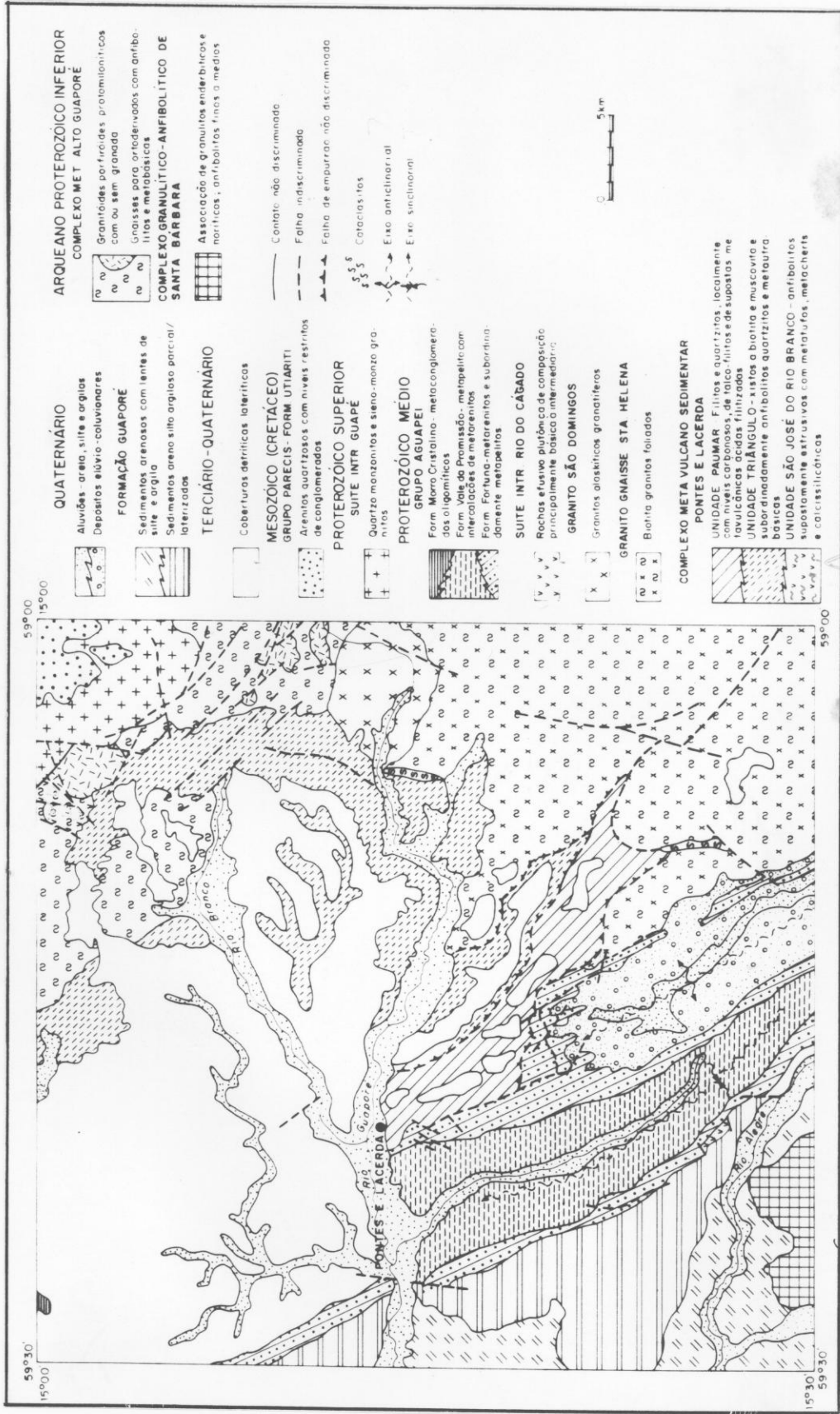


Fig. 2.6 - Mapa geológico da área da folha Pontes e Lacerda/MT.
 FONTE: Modificada de Menezes et al. (1991)

No que diz respeito ao empilhamento estratigráfico formulado por Ferreira et al. (1987) e Menezes et al. (1991) para a quadrícula, obviamente a disposição daquelas sequências mais antigas e conseqüentemente suas interpretações devem ser encaradas com alguma reserva, frente à caracterização de fortes regimes de cisalhamento de baixo e alto ângulo, associados às suas litologias. Assim, o resultado final da estratigrafia da área pode implicar na justaposição de assembléias de rochas relativas a diferentes níveis crustais. Neste sentido, face ao possível caráter alóctone das rochas referíveis à infraestrutura é importante considerar acima de tudo um empilhamento litoestrutural, principalmente para as unidades metamórficas mais antigas.

O embasamento mais antigo foi considerado constituído por duas unidades litoestratigráficas com relações temporais entre si ainda obscuras, ambas com possibilidade de se posicionarem no intervalo arqueno/proterozóico inferior. Uma dessas unidades constitui o Complexo Metamórfico Alto Guaporé, o qual inclui basicamente um conjunto de rochas de origem orto e para derivadas de médio grau metamórfico, caracterizadas por ortognaisses tonalíticas e granadoríticas, gnaisses supracrustais aluminosos e seus derivados anatéticos. A outra unidade foi denominada de Complexo Granulítico-Anfibolítico de Santa Bárbara constituída por uma associação de granulitos blastomiloníticos de composição enderbítica-norítica e anfibolitos.

Segue-se na estratigrafia uma sequência supracrustal denominada Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda com facies metamórfico variável do xisto verde alta ao anfibolito baixa, deformada por um evento de cisalhamento de baixo ângulo caracterizado regionalmente. Constitui-se por espesso pacote de rochas metabásicas e an-

fibolíticas. Divide-se em três unidades: São José do Rio Branco, Triângulo e Paumar. Tal complexo foi posicionado dentro do Proterozóico Médio em função da granitogênese sin a tardi tectônica associada, que indicou valor Rb-Sr isocrônico de 1300Ma (Menezes et al., 1991).

O Granito - Gnaiss Santa Helena constitui outra unidade formalizada na área. A designação do Granito Santa Helena deve-se a Saes et al. (1984) que definiram a extensão do corpo a leste na vizinha folha Jauru. Menezes et al. (1991) introduziu o termo "gnaiss" objetivando destacar a foliação regional no batólito.

Em sequência tem-se o denominado Granito São Domingos, originado de fusão parcial de sequências metapelíticas. Foi originado após os esforços tangenciais que afetaram o litotipos da região.

Posteriormente, introduziu-se a denominada Suite Intrusiva Rio do Cágado, constituída por uma associação básica - intermediária até ácida de caráter efusivo plutônico, de natureza cálcio-alcalina. Inclui tonalitos, dacitos e andesitos.

O Grupo Aguapeí, posicionado no Proterozóico Médio, constitui outra unidade de maior importância no arcabouço da área. Subdivide-se da base para o topo, nas formações Fortuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino. Representa coberturas do tipo plataformal flúvio-deltáica, deformadas e anquimetamorfisadas, depositadas no final do Proterozóico Médio.

Finaliza as seqüências pré-cambrianas com a Suite Intrusiva Guapé, caracterizando um magmatismo cálcio-alcalino. A idade de 950Ma (Rb-Sr), possivelmente representa a idade de diferenciação do magma original (Menezes

et al., 1991).

Na área tem-se também unidades fanerozóicas constituídas pelo Grupo Parecis (Formação Utiriati), Coberturas Detrito-Lateríticas, Formação Guaporé e pelos Depósitos Aluvionares e Elúvio-Coluvionares. A Formação Utiriati caracteriza-se por arenitos depositados no Cretáceo. A Formação Guaporé, de idade quaternária compreende os sedimentos acumulados na chamada Depressão do Guaporé.

2.2.1 - SÍNTESE LITO-ESTRATIGRÁFICA

A seguir são descritas as unidades lito-estratigráficas presentes na área.

2.2.1.1 - COMPLEXO METAMÓRFICO ALTO GUAPORÉ

A unidade em pauta reúne os conjuntos lito-estruturais interpretados como sendo os mais antigos da área, a qual congrega assembléias de rochas cujas origens são orto e para derivadas, gnássificadas e polideformadas no facies anfibolito médio a alto. Comumente revelam feições estruturais e composições litológicas que indicam sua evolução em ambiente de ampla mobilidade, incluindo processos de fusão parcial acompanhados de migmatização. Foram evidenciados dois conjuntos, um constituído por rochas orto e para derivados indiferenciados, e outro destacando a presença de ortognaisses porfiróide de composição granodiorítica.

Tais litotipos foram submetidos a um evento deformacional regional de cavalgamento oblíquo, imprimindo foliação milonítica, obliterando a maior parte das feições pré-existentes.

As áreas de ocorrências retringem-se à porção nordeste da quadrícula. Constitui uma faixa com direção NW-SE, limitada em parte pelo Granito da Suíte Intrusiva Guapé, a norte, e pelo Granito São Domingos, a sul. Na sua porção oeste é encoberto gradativamente pelas supracrustais do Complexo Pontes e Lacerda. Saes et al. (1984) posicionaram esta faixa (Complexo Metamórfico Alto Guaporé) no Proterozóico Inferior, identificaram-na como uma unidade policíclica e a denominaram de Associação Gnássico-Magmática Brigadeirinho. Nela separam corpos graníticos intrusivos e uma sequência mata vulcanossedimentar denominada por Monteiro et al. (1986) como "Greenstone Belt do Alto Jauru".

O conjunto litológico indiferenciado orto e paragnássico, além de reunir rochas de caráter orto e para gnássicas, apresenta associação subordinada de anfibolitos e matabásicas, bem como granitos de anatexia.

O conjunto litológico ortognássico granadio-rítico foi diferenciado do conjunto anterior apenas pelo seu caráter porfiróide bastante pronunciado. Menezes et al. (1991) através de três datações K-Ar obtidas em biotita-gnaisses obtiveram resultados de 920Ma em média, refletindo uma possível época de aquecimento regional.

2.2.1.2 - COMPLEXO GRANULÍTICO - ANFIBOLÍTICO DE SANTA BÁR- BARA

Esta unidade constitui-se de granulitos básicos a intermediários e anfibolitos. Os anfibolitos foram cartografados por Figueiredo et al. (1974) na folha Santa Bárbara (sul da área) e posteriormente designada de Suíte Intrusiva Rio Alegre por Barros et al. (1982). Ferreira Filho e Bizzi (1985) já haviam identificado na região a presença de granulitos básicos, aventando a possibilidade

dos mesmos pertencerem às sequências máficas - ultramáficas estratiformes.

Essas rochas granulíticas podem ser correlacionadas com aquelas cartografadas por Litherland et al. (1986) no Complexo Granulítico Lomas Maneches.

Este complexo encontra-se cartografado na folha Pontes e Lacerda através de uma faixa posicionada na porção sudoeste.

Os granulitos são hiperstênicos, especialmente gabros e enderbitos e os anfibolitos são rochas meso e melanocrátíticas de granulação fina a média.

Litherland et al. (1986) citam uma isócrona Rb-Sr de referência realizada neste complexo, com valores aparentes de 1960 Ma, a qual foi interpretada como idade mínima (tranzamazônica) para a sequência granulítica. Menezes et al. (1991), através de datação K-Ar em rocha anfibolítica, identificaram valor aproximado de 1300 Ma. Tal idade foi caracterizada para o principal evento tectono - metamórfico atuante na região, representando idade próxima de formação da rocha.

2.2.1.3 - COMPLEXO METAVULCANOSSEDIMENTAR PONTES E LACERDA

Neste complexo, encontram-se representados os litotipos de maior expressão aflorante na folha. Tratam-se de sequências vulcânicas, químicas e clásticas, posicionadas no Proterozóico Médio, exibindo foliações transpostas e metamorfisadas no intervalo da facies xisto - verde alta a anfibolito baixa. Esse Complexo foi subdividido em três unidades informais: São José do Rio Branco, Triângulo e Paumar.

A Unidade São José do Rio Branco (figura 2.6) abrange espessos pacotes anfibolíticos, de possível natureza extrusiva, associados subordinadamente a metassedimentos químicos-exalativos e rochas piroclásticas. Representa sequência vulcano-química, posicionada provavelmente na base deste complexo. Encontra-se representada por pequena área delimitada na porção nordeste da folha trabalhada.

São agrupados na Unidade São José do Rio Branco os seguintes litotipos: metabasitos (anfibolitos), rochas calcio-silicáticas e rochas metavulcanoclásticas.

A Unidade Triângulo (figura 2.6) foi delimitada nas porções nordeste e centro oriental da folha Pontes e Lacerda. Os litotipos mais representativos dessa unidade são muscovita-xisto e biotita-muscovita-xisto, com proporções variáveis de quartzo. Subordinadamente, tem-se a presença de anfibolitos intercalados concordantemente.

A Unidade Paumar (figura 2.6) foi definida na porção centro-meridional da folha, segundo uma faixa de direção sudoeste-nordeste. Os filitos são as rochas mais características da unidade constituindo espessos pacotes com freqüentes intercalações de quartzitos. Subordinadamente, tem-se a presença de filitos carbonosos, talco-xistos e rochas interpretadas como de possível natureza vulcânica.

Menezes et al. (1991), a partir de uma isó-croma Rb-Sr do Granito-Gnaisse Santa Helena, consideraram-no sin a tardi-tectônico relativamente à deformação da sequência Pontes e Lacerda. Obtiveram idade de 1300Ma. Na Bolívia, Litherland et al. (1986) denominaram uma sequência de Xistos San Ignacio, litologicamente semelhante à sequência Pontes e Lacerda descrita anteriormente. Seria mais antiga que o Grupo Sansas, equivalente ao Grupo Aguapeí naquele país. Os Xistos San Ignacio (supergrupo)

constituíram o registro sedimentar da orogenia homônima. Mais jovem que o Supergrupo San Ignácio tem-se o Complexo Granitóide Pensamiento, com idade próxima de 1350 Ma, considerado de idade Proterozóica a Média.

No cráton Amazônico não tem sido cartografadas unidades litológicas semelhantes ao Complexo Pontes e Lacerda. Na folha Jauru (leste da área), Monteiro et al. (1986) detectaram sequências vulcanossedimentares do tipo "greenstone belt", que exibem características comuns com esta unidade aqui descrita. Porém, necessita-se de mais dados para uma comparação definitiva.

2.2.1.4 - GRANITO - GNAISSE SANTA HELENA

Trata-se de um granitóide que se notabiliza pela sua relativa homogeneidade e as dimensões batolíticas que apresenta. Distribui-se de forma contínua ao longo das porções sudoeste da quadrícula (figura 2.6). Estende-se além dos limites da área estudada, alcançando a cidade de Jauru (leste da área) onde Saes et al. (1984) o nomearam formalmente como Granito Santa Helena em contato concordante e abrupto com os gnaises e migmatitos do complexo Xingu. Esses mesmos autores caracterizaram o caráter intrusivo através de presença de xenólito das rochas encaixantes nas zonas de contato. Sob a designação de Granito Alvorada, Monteiro et al. (1986) agruparam esses mesmos granitóides, para os quais obtiveram uma isócrona de referência (Rb/Sr) com idade de 1440 ± 80 Ma, admitida como mínima.

Assim como outros litotipos de unidades Pré-Aguapeí, o Granito Gnaisse Santa Helena foi submetido ao processo de milonitização regional, identificado na presença de faixas ou zonas com distintas intensidades deformacionais. Verifica-se também a presença de uma tectônica rúptil superposta aos litotipos do Granito - Gnaisse Santa

Helena, originando faixas de brechação alinhadas.

O Granito-Gnaiss Santa Helena apresenta pequena diversidade composicional. Tratam-se de granitos de tendência alaskíticas, foliados, fracamente porfiróides, invariavelmente exibindo sinais de foliação milonítica.

Através de datações Rb/Sr, Menezes et al. (1991) obtiveram um diagrama isocrônico indicando um valor de 1308 ± 13 Ma.

2.2.1.5 - GRANITO SÃO DOMINGOS

Deve-se a Menezes et al. (1991) a designação de Granito São Domingos do corpo de granito granatífero, situado na porção leste da folha, próximo ao povoado São Domingos. Trata-se de granito intrusivo, contendo xenólitos de biotita-xistos, anfibolitos e gnaisses das sequências que compõem seu embasamento. Tal litotipo não apresenta estruturas ligadas ao evento cisalhante regional. Baseando-se em seu caráter intrusivo no Granito-Gnaiss Santa Helena, ausência de características da deformação regional, e a datação de um tonalito (1.142 Ma - K/Ar) da Suíte Intrusiva Rio do Cágado, que também não é afetado por aquela deformação regional, provavelmente o Granito São Domingos posiciona-se entre 1300 Ma e 1142 Ma, portanto no final do Proterozóico Médio.

2.2.1.6 - SUÍTE INTRUSIVA RIO DO CÁGADO

Uma associação de rochas efusivo-plutônicas, básico-intermediárias, até ácidas, foram designadas de Suíte Intrusiva Rio do Cágado. Trata-se de andesitos, basaltos, tonalitos e granodioritos porfiríticos com evidências de metamorfismo na facies xisto-verde, zona da clorita, que foram interpretados como reflexo do evento Sunsas

- Aguapeí. Embora esteja discriminado apenas um pequeno segmento da unidade, na porção sudoeste da folha, esta unidade foi detectada a noroeste e sudoeste da mesma, sempre restrita à Faixa Móvel Aguapeí, sugerindo uma ligação genética com esta estrutura regional.

A presença de textura anastomosada nos minerais constituintes das rochas e foliações miloníticas são indicações do evento cisalhante de alto ângulo que afetou a sequência.

A datação pelo método K/Ar (Menezes et al., 1991) em amostra de meta quartzo-diorito obteve a idade de 1.142 ± 44 Ma, a qual foi interpretada como idade mínima, já que a suite foi afetada pelo evento Sunsas-Aguapeí.

2.2.1.7 - GRUPO AGUAPEÍ

A ENGENHARIA E PROSPECÇÃO - LASA (1968 a,b) englobou os metassedimentos que sustentam a serra do Aguapeí no grupo Cubencranquém.

Posteriormente, Figueiredo et al. (1974) criaram uma nova unidade stratigráfica para esses metassedimentos do Pré-Cambriano Superior, denominada informalmente como Unidade Aguapeí, dividida em três subunidades: Inferior, Média e Superior.

Souza e Hildred (1980) posicionaram essa unidade no Proterozóico Médio e a elevaram a categoria de Grupo, subdividindo-a nas Formações Furtuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino (base para o topo).

O Grupo Aguapeí encontra-se associado tanto a sistemas dobrados quanto a pacotes sub-horizontalizados, embora esse fato não caracterize duas bacias de deposições

distintas.

No âmbito da área (figura 2.6) afloram notadamente as formações Fortuna e Vale da Promissão, onde apresentam-se fortemente deformadas e estruturadas, definindo aquelas de natureza mais arenosa (formações Fortuna e Morro Cristalino) um padrão de serras segundo cristas alinhados (NW - SE). O Grupo Aguapeí forma uma grande estruturação anticlinorial/sinclinorial que se notabiliza em relação aos terrenos arrasados ou sub-aplainados circunvizinhos. Ocorre em amplas faixas nas porções centro-sul da área, perdendo expressão no quadrante noroeste. A formação Morro Cristalino expõe-se de forma bastante restrita nesse mesmo setor, restringindo-se a um pequeno segmento na porção noroeste da folha.

A intensidade metamórfica está refletida nas paragêneses que variam de anquimetamórficas à facies xisto-verde baixa, sendo que nas zonas mais deformadas os efeitos de recristalização e deformação são mais intensos, observando-se completa obliteração das características primárias das rochas.

A recristalização sintectônica ao evento deformacional ocorreu sob condição rúptil-dúctil, imprimindo discreta anisotropia, dada pela alongação de quartzo e pela foliação de mica.

As idades assumidas (valores entre 1250 Ma. - 900 Ma.) têm sido aquelas indicadas por Litherland et al. (1986) para o Grupo Sunsas na Bolívia. A correlação do Grupo Sunsas com o Grupo Aguapeí é naturalmente aceita em função de grande similaridade faciológica dos depósitos, evoluídos sob as mesmas condições ensiâlicas e, principalmente, pela continuidade física entre ambas, conforme constatado em algumas regiões (Serra do Ricardo Franco). Por

outro lado, Menezes et al. (1991) propõem idade ligeiramente mais jovem, ou seja, 1142 ± 44 Ma. Este valor advém de uma datação K/Ar de um tonalito da Suíte Intrusiva Rio do Cágado, unidade mais velha que o Grupo Aguapeí, levando os autores Menezes et al. (1991) a assumirem os valores de 900 e 1.142 Ma para o período inicial de deposição do Grupo Aguapeí. Afirmam ainda que os sedimentos deste grupo foram depositados sobre uma cobertura de plataforma e relacionados a uma ambiência marinha com fases transgressiva - regressivas.

a) Formação Fortuna

A Formação Fortuna (figura 2.6) corresponde à unidade basal do grupo, sendo constituída por termos psamíticos, que compõem um sistema de serras e cristas alinhadas (serras do Cágado, Azul, Caldeirão e Borda) presentes nos quadrantes SW e NW da folha. Seus contatos com o embasamento não são expostos mas podem ser assumidos como discordantes, como assinalados por Rodrigues et al. (1974), Souza e Hildred (1980) e Litherland et al. (1986). A ausência de seixos do embasamento nos conglomerados basais, a maturidade dos sedimentos, a pequena contribuição da matriz e a boa seleção e arredondamento da fração psamítica indicam uma deposição sobre uma superfície já suavizada.

A Formação Fortuna é constituída predominantemente de metarenitos, além de metassiltitos e, mais restritamente, por metaconglomerados oligomíticos, todos esses litotipos encontram-se em parte descaracterizados de suas estruturas primárias por fenômenos pós-deposicionais, como silicificação e deformação tectônica.

b) Formação Vale da Promissão

Os litotipos mais característicos da Formação Vale da Promissão (figura 2.6), unidade de posição intermediária do Grupo Aguapeí, encontram-se principalmente distribuídos segundo uma faixa com direção NW, no quadrante sudoeste da folha. É composta principalmente por termos mais pelíticos, notadamente metassiltitos, ardósias, e metargilitos, além de metarenitos subordinados. Os contatos desta unidade com as formações Fortuna e Morro Cristalino do Grupo Aguapeí raramente estão expostos, sendo sugeridos contatos gradacionais com a Formação Fortuna e bruscos com a Formação Morro Cristalino, ao contrário do que foi cartografado por Souza e Hildred (1980).

c) Formação Morro Cristalino

Na área em estudo aflora apenas uma ocorrência da Formação Morro Cristalino (figura 2.6) na porção noroeste, associada a uma pequena elevação que pode ser destacada em meio às Coberturas Detrito-Lateríticas.

Afloram exclusivamente metaconglomerados constituídos por seixos organizados de quartzo, com dimensões de até 2cm, sub-angulosos e sub-arredondados, os quais exibem leitos irregulares de até 20cm de espessura, e representam provavelmente os segmentos distais de um leque aluvial.

2.2.1.8 - SUITE INTRUSIVA GUAPÉ

O termo Suite Intrusiva Guapé foi empregado por Barros et al. (1982) para corpos graníticos isolados, por eles considerados cratogênicos, amplamente distribuídos e intrusivos no embasamento e com idade Pré-Cambriana Superior. Ela abrange parte dos granitos de Figueiredo et al.

(1974) que os reuniram de forma indiscriminada dentro da sua unidade informal "Intrusivas Ácidas". Na região do alto curso do rio Jauru, de acordo com Saes et al. (1984), a unidade restringe-se a maciços ácidos compostos por biotita hornblenda granitos e micro granitos porfiríticos que ocorrem alinhados na direção N-S e encaixados no Complexo Xingu.

Na área estudada, a Suíte Intrusiva Guapé está representada por um único corpo rochoso, localizado em seu canto nordeste, estendendo-se às folhas circunvizinhas, onde é encoberto pelos sedimentos do Grupo Parecis. Tem forma ovalada (N - S) sugerindo tratar-se de um maciço circunscrito com limitada expressão superficial. Os contatos mais expressivos são com o Complexo Metamórfico Alto Guaaporé, marcados tanto por relações de intrusão, quanto por falhamento. Evidências da natureza intrusiva estão melhor espalhadas em seus limites meridionais, onde são comuns pegmatitos e apófises graníticas entrecortando gnaisses encaixantes e abundantes xenólitos angulosos destas mesmas rochas, aleatoriamente dispersos nas bordas do corpo ígneo.

A suíte Intrusiva Guapé é constituída por duas principais associações, uma de composição monzogranítica e alcaligranítica e a outra, bastante subordinada, quartzo - monzonítica.

Tal unidade foi posicionada entre 950 ± 40 Ma através de datação Rb - Sr em rocha total, sendo interpretada como época de diferenciação do magmatismo Guapé (Menezes et al., 1991).

2.2.1.9 - GRUPO PARECIS: FORMAÇÃO UTIRIATI

As primeiras considerações mais detalhadas sobre a estratigrafia e litologias dos sedimentos que sustentam o Planalto dos Parecis couberam a Oliveira (1915), cujos depósitos foram referenciados pelo autor como Série Parecis. A elevação destes sedimentos à categoria de Formação deve-se a Oliveira e Leonardo (1943) que já indicavam a possibilidade de seu desdobramento em duas diferentes unidades. Contudo, as melhores descrições das litologias que compõem este extenso pacote sedimentar estão contidas nos trabalhos de Barros et al. (1982) que caracterizaram estrutural, litológica e estratigraficamente dois distintos conjuntos de rochas, pelo que elevaram a Formação Parecis à categoria de Grupo, sendo constituído, da base para o topo, pelas formações Salto das Nuvens e Utiriati, respectivamente. A primeira unidade é constituída principalmente por conglomerados petromíticos com matriz argilo arenosa arco-seana com frequentes intercalações de lentes de arenitos vermelhos, finos e conglomerados, mal classificados. Evidencia-se marcadas variações faciológicas para este pacote, tanto na vertical como na lateral. A Formação Utiriati representa sedimentos mais homogêneos, essencialmente arenitos orto quartzíticos, algo feldspáticos e localmente silicificados.

De ocorrência bastante restrita na folha, os litotipos associados a esta unidade (Formação Utiriati) localizam-se na extremidade nordeste da mesma, ocorrendo como camadas sub horizontais em cotas acima de 600m. Encobrem parcialmente o corpo granítico de Suíte Intrusiva Guapé, assumindo maior importância além dos limites a norte e a nordeste da quadrícula.

Comumente as exposições da unidade mostram litotipos bastante desagregados, resultando espessos solos arenosos, cujos sedimentos apresentam-se, na maioria das vezes, com colorações avermelhadas, granulação fina a muito fina, bem selecionados. Desenvolvem-se freqüentemente nestes terrenos, grandes e profundas voçorocas.

A Formação Utiriati é constituída por arenitos maciços, avermelhados, localmente mosqueados, em tons brancos-amarelados, granulação fina, os quais destacam-se na forma dispersa e irregular a presença de grânulos subangulosos de quartzo, e feldspatos caulinizados. Localmente encontram-se estruturados segundo bancos maciços decimétricos, plano-paralelos.

A idade para esta Formação, como de resto para todo conjunto Parecis, baseia-se na presença de derrames básicos da Formação Tapirapuã, com datações K-Ar indicando valores de ordem de 126 ± 4 Ma., portanto Cretácea. A Formação Tapirapuã ocorre sotoposta à Formação Salto das Nuvens, sendo que Barros et al. (1982) consideram o início da sedimentação desta última, síncrona ao final do magmatismo da Formação Tapirapuã, fato este corroborado pelo conhecimento do intertrapeamento entre as duas unidades.

2.2.1.10 - COBERTURA DETRÍTICA - LATERÍTICA

A Cobertura Detrítica-Laterítica representa basicamente uma unidade edafoestratigráfica e constitui parte integrante de uma vasta planície freqüentemente desenvolvida em regiões intertropicais, como as áreas do centro-oeste brasileiro.

Na folha Pontes e Lacerda distribuem-se quase que continuamente por toda sua porção norte-noroeste e áreas centro-orientais, situadas principalmente entre as

cotas 255 m e 300 m, mascarando as litologias subjacentes que aparecem muito raramente em afloramentos bastante alterados. Encontram-se melhor evoluídas sobre as rochas do Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda, sendo assinaladas de forma mais restrita sobre outras unidades geológicas.

Os solos lateríticos são tipicamente solos enriquecidos em concreções de limonita, contendo estruturas que aparecem de forma abundante, dispersas na superfície como nódulos ou pisólitos milimétricos a centrimétricos, cuja aglutinação resulta na formação de duras carapaças ferruginosas, os lateritos, que podem atingir espessuras métricas. Seus núcleos comumente estão constituídos por pequenos grãos de quartzo e pelotas de argila envolvidas concentricamente por finas películas limoníticas.

2.2.1.11 - FORMAÇÃO GUAPORÉ

A Formação Guaporé é uma unidade que corresponde basicamente a solos laterizados, evoluídos durante a fase de peneplanização que atuou e ainda encontra-se presente na região desde o Terciário. Identifica-se comumente com os terrenos sub-aplainados da área, onde são comuns a presença de rígidas crostas lateríticas e pequenos nódulos limoníticos dispersos de forma abundante ao nível do solo.

Figueiredo et al. (1974) definiram a formação Guaporé, constituída por depósitos terrígenos de procedência fluvial acumulados sobretudo pelos rios Guaporé e Alegre durante o Quaternário na chamada Planície Aluvial ou Depressão do rio Guaporé. Tal unidade tem ocorrência ampla nas porções centro-oeste e sudoeste da quadrícula. Subdivide-se em uma seqüência inferior, imatura, argilo-arenosa, associada às zonas mais elevadas da Depressão do Guaporé, não sujeitas a inundações periódicas, e uma seqüência supe-

rior composta por sedimentos com maior grau de maturação, representados por depósitos de areias quartzosas, claras e acinzentadas, contendo lentes de argila e silte. Essa sequência superior associa-se às zonas mais baixas da planície aluvial do rio Guaporé, e, portanto, sujeita à inundações periódicas.

No que tange a Formação Guaporé, foram identificadas na área depósitos tanto correlacionáveis à unidade inferior como à superior.

A Formação Guaporé na área representa apenas um pequeno segmento de uma vasta planície de acumulação que é extensiva ao território boliviano. A origem de seu embaciamento é atribuída por Almeida (1967) a processos ligados a uma fase distensiva a partir da reativação dos tempos fanerozóicos de antigos falhamentos. Esta tectônica é responsável ainda pela formação da Bacia do Pantanal, cuja unidade homônima é correlacionada à Formação Guaporé.

2.2.1.12 - DEPÓSITOS ELÚVIO - COLUVIONARES

Acumulações de natureza elúvio-coluvionar estão assinaladas principalmente na estrutura antiformal constituída pelas rochas do Grupo Aguapeí. Tais sedimentos acham-se balizados a leste e a oeste por sistemas de serras alinhadas, correspondentes aos flancos da grande estrutura dobrada, bem como a norte pelo seu fechamento. A sul extrapola os limites definidos da área, acompanhando a estrutura antiformal.

Os depósitos Elúvio-Coluvionares tratam-se de sedimentos com baixíssima classificação, predominantemente psamíticos com restrita contribuição argilosa. São abundantes fragmentos sub-angulosos e angulosos de quartzo provenientes da desagregação de inúmeros veios, que ocorrem as-

sociados aos metarenitos e metaconglomerados e às rochas do seu embasamento, que muito eventualmente afloram bastante intemperizadas. Seixos de quartzo sub-arredondados a arredondados, originários da decomposição dos níveis conglomeráticos, também estão presentes, bem como grandes blocos sub-angulosos dos principais litótipos da Formação Fortuna. A fração menor é basicamente de natureza siltico-arenosa com presença de grãos de quartzo sub-angulosos a sub-arredondados. Apesar de normalmente friáveis, estes depósitos localmente adquirem alguma coesão em função de processos de laterização.

2.2.1.13 - DEPÓSITOS ALUVIONARES

Depósitos aluvionares estão presentes sobretudo nos médios e baixos cursos dos rios Guaporé, Branco, Cágado e Alegre, sendo particularmente expressivos no primeiro onde compõem amplas planícies aluviais.

Constituem-se principalmente de sedimentos arenosos com boa classificação e maturidade com frações subordinadas argilo-siltosas e de níveis de cascalhos.

Estruturas do tipo laminação plano-paralela são as feições mais conspícuas destes depósitos.

Cabe registrar a importância daqueles depósitos associados aos sedimentos do rio Cágado, especificamente no âmbito da calha anticlinorial delineada pela Formação Fortuna, pelo conteúdo aurífero de que são portadores alguns níveis de cascalho, que raramente ultrapassam 0,5 m de espessura.

A importância de tais ocorrências pode ser atestada pelos inúmeros garimpos ali presentes voltados à exploração do ouro.

2.2.2 - SÍNTESE ESTRUTURAL

A área abrangida pela folha Pontes e Lacerda, na escala 1:100.000, tem sua estruturação espaço-temporal notadamente relacionada à superposição de dois importantes eventos de cisalhamento com intensidade e alcance bastante diferenciados entre si (Menezes et al., 1991).

O evento mais antigo, de caráter mais regional e natureza dúctil, atingiu apenas as unidades metamórficas anteriores ao granito São Domingos. É responsável pelo desenvolvimento de uma foliação milonítica de baixo ângulo.

O evento mais recente compreende o desenvolvimento de uma faixa de cisalhamento de alto ângulo dextral, com direção NNW, cujo os reflexos mais notáveis acham-se registrados nos metassedimentos do Grupo Aguapeí, os quais permitem sua caracterização inequívoca nos produtos de imageamento (imagem de satélite LANDSAT-TM). Além de menos abrangente que o evento anterior, Menezes et al. (1991) consideram esta faixa de cisalhamento desenvolvida principalmente em condições inclusas no campo rúptil-dúctil, a julgar o estilo e grau de deformação imposto às rochas sob a sua influência.

Esses dois eventos podem ser reduzidos a apenas um único, sendo diferenciados apenas geograficamente (espaço) e forma (geometria). Tal fato é discutido no item 4.1 (interpretação de Imagem (LANDSAT-TM)).

De acordo com Litherland et al. (1986), tal faixa balizaria toda borda oriental do Craton Paraguá, definido no embasamento Pré-Cambriano da Bolívia.

As principais características destes dois eventos de cisalhamento, bem como das feições a eles associadas, são descritas a seguir.

2.2.2.1 - CISALHAMENTO DÚCTIL REGIONAL

Segundo Menezes et al. (1991) sua principal feição se reflete na foliação milonítica S_n correspondente a uma superfície bastante pronunciada, destacável pelo aspecto amendoado ou anastomosado, o que caracteriza as rochas afetadas por este evento. As rochas mostram direção geral desta foliação para $N40 - 60W$, observando-se porém variações até o eixo E-W. Os mergulhos de mesma forma são bastante variáveis concentrados, entretanto, entre 30° e 60° , com caimento basicamente para NE.

Esses mesmos autores afirmam, ainda, que a foliação S_n constitui a principal foliação metamórfica na folha, sendo tomada como referencial já que obliterou quase que integralmente as feições existentes anteriormente. Apesar disto, identificaram, a nível meso e microscópicos, feições que a princípio poderiam ser interpretadas como estruturas reliquias (embora pudessem ser originadas da própria cataclase). Tais feições compreendem pares de superfícies S x C, charneiras intrafoliais e arcos poligonizados de mica. Entretanto, tais feições podem, na realidade, representar momentos ou estágios precoces de deformação, correlacionáveis a própria evolução do evento que originou a foliação S_n . Esta hipótese é ainda reforçada pelo fato de que estão desenvolvidas dentro do mesmo fácies metamórfico, compatível com aquela geradora da foliação principal S_n . Em áreas restritas a norte da folha, as foliações exibidas por anfibolitos e granitóides milonitizados apresentam atitudes das mais variadas, em franca desconformidade com as atitudes regionais, aparentemente relacionadas a dobramentos de cunho local. A exemplo dos casos

anteriores não se dispõem de mais dados que possam assegurar que tais foliações corresponderiam a planos gerados anteriormente à foliação principal Sn.

Foi observado que a lineação mineral Ln, associada à foliação Sn, é muito bem desenvolvida e é materializada por estiramentos de quartzo, porfiroblastos de feldspato, aglomerados elipsoidais de micas e anfibólios, com atitudes variando ($\pm 10^\circ$) em torno da direção N65W, com mergulhos variáveis. O mergulho desta lineação varia de baixo a alto em relação à foliação Sn, sendo predominantes os mergulhos intermediários o que, aliados a critérios cinemáticos, tais como: pares S-C, rotação de porfiroblastos e assimetria de zonas de sombra, direcionam a caracterização do cisalhamento dúctil (Menezes et al., 1991).

Como feição geodinâmica tardia associada em relação à foliação Sn ocorrem estruturas dômicas ou pseudo-dômicas notavelmente destacáveis nos produtos de imageamento. Encontram-se desenvolvidas em terrenos assemelhados àqueles do Granito-Gnaiss Santa Helena.

2.2.2.2 - CISALHAMENTO RÚPTIL-DÚCTIL DE ALTO ÂNGULO (EVENTO SUNSAS-AGUAPEÍ)

O cisalhamento rúptil-dúctil de alto ângulo associa-se a uma estreita e longa faixa com direção geral N20 - 40W, extensiva às folhas circunvizinhas da área trabalhada, tanto para sul quanto para norte.

Parte do grupo Aguapeí foi afetado por este evento tectônico, sendo seu caráter predominantemente transcorrente dextral.

Como feições relacionadas ao cisalhamento de alto ângulo encontram-se desenvolvidos falhamentos transcorrentes e de empurrão. Os primeiros em geral correspondem a transcorrências predominantemente dextrais, gerando estruturas dobradas (dobra de arrasto), que é ressaltada pelos níveis de acamamento.

No sistema de serras correspondentes às exposições do litotipos da Formação Fortuna encontra-se registrados os únicos dobramentos atribuídos ao cisalhamento de alto ângulo na área. Essas serras acham-se estruturadas segundo antiformal e sinformal com maior ou menor intensidade de deformação da suas rochas, sendo as feições estruturais mais marcantes na folha Pontes e Lacerda. Provavelmente trata-se de estruturas finais do evento cisalhante.

CAPÍTULO 3MATERIAIS E MÉTODOS3.1 - MATERIAIS

Devido às características dessa pesquisa (integração de dados) foram utilizados vários produtos e alguns equipamentos que serão descritos a seguir:

3.1.1 - PRODUTOS LANDSAT-TM

Os produtos LANDSAT-TM utilizados foram:

- imagem multiespectral TM/LANDSAT-5, banda 4 na escala de 1:250.000 (tabela 3.1)
- fitas compatíveis com computador (CCT's) com dados LANDSAT/TM, bandas 1 a 5 e 7 (tabela 3.1)

TABELA 3.1 - PRODUTOS LANDSAT/TM

TIPO	ÓRBITA/ PONTO	ESCALA	ELEVAÇÃO/ AZIMUTE	BANDAS	DATA DE PASSAGEM	APRESENTA- TAÇÃO
LANDSAT/TM	228/71	1:250.000	38/48	4	25/07/88	Papel P/B
LANDSAT/TM	228/71A -2	---	38/48	1a5 e 7	25/07/88	Fita Magnética (CCT)

3.1.2 - BASE PLANIALTIMÉTRICA

Utilizou-se a base planialtimétrica na escala de 1:100.000, folha Pontes e Lacerda (SD.21-Y-C-II), elaborada pelo Ministério do Exército, Diretoria do Serviço Geográfico - D.S.G, 1973.

3.1.3 - PRODUTOS GEOFÍSICOS

Foram utilizados nessa pesquisa os dados aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) que cobrem parte da área (não existe levantamento aerogeofísico no quadrante nordeste da área), e levantamento terrestre através de dados gravimétricos que cobrem toda folha.

3.1.3.1 - AEROMAGNETOMETRIA E AEROGAMAESPECTROMETRIA

Os dados processados de aerogeofísica são oriundos do Projeto Aerogeofísico Cabeceiras do Rio Guaporé (1978), cujo levantamento foi executado com linhas de vôo de direção N-S espaçadas de 2 km e ao longo da linha de vôo 100m, voado à altura média de 150m. O aerolevanteamento constituiu na aquisição de dados magnéticos de campo total e gamaespectrométricos correspondentes aos canais de Contagem Total (CT), Tório (Th), Urânio (U) e potássio (K). No levantamento aéreo os dados foram amostrados com intervalo de dois segundos, gravados na forma digital, executando cada leitura no intervalo de 100 metros. Através desses dados originais também foram utilizados as razões U/Th, U/K e Th/K.

3.1.3.2 - GRAVIMETRIA

O levantamento gravimétrico foi realizado no Projeto Rio Alegre através do convênio DNPM/CPRM/IAG-USP (Menezes et al., 1991). O mapa gravimétrico resultou do levantamento ao longo de perfis com estações espaçadas em

cerca de 500m, combinado a uma distribuição razoavelmente homogênea na folha Pontes e Lacerda.

Duas metodologias foram utilizadas na determinação das altitudes das estações: nivelamento geométrico em perfis gravimétricos e barometria nas demais estações. Obteve-se um total de 272 estações gravimétricas, das quais 95 compreendem estações barométricas e 177 estações tiveram altitudes determinadas topograficamente, fornecendo à folha Pontes e Lacerda uma densidade gravimétrica aproximada de 01 estação para cada 10Km.

3.1.4 - EQUIPAMENTOS

Foram utilizados para a realização deste trabalho os seguintes equipamentos: O SITIM(150) - SGI/INPE (ENGESPAÇO, 1987 a,b) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e a INTER-ACT 360 com o "software" Modular GIS Environment - MGE da INTERGRAPH (1991), representada no Brasil pela SISGRAPH.

Ambos os sistemas possuem aplicativos específicos, desenvolvidos especialmente para cada tipo de utilização. Os aplicativos são dirigidos através de um "menu", cujas operações com o computador são feitas por terminal gráfico e, em parte, através de um console ou teclado e "mouse", os quais possibilitam a interação do analista com todo o sistema. A introdução dos dados no sistema é feita em geral através de fita magnética (formato CCT e/ou "Streamer"), disquete, mesa digitalizadora ou através de "Scanner". A partir do momento em que os dados foram gravados, a cena total ou subcenas podem ser visualizadas no monitor de vídeo na escala especificada pelo usuário e, então, serem executados os processamentos desejados. Por meio de três canhões de cores no tubo de imagem (azul, verde e vermelho) que são acionados diretamente pelo usuário, o

analista efetua livremente as combinações coloridas dos dados armazenados, com máximo de três canais. Uma segunda opção de saída de dados é uma impressora usada para listar dados estatísticos calculados da imagem e imprimir parâmetros ou resultados de classificação. Os resultados obtidos gravados em fita podem ser ainda documentados através de uma câmara fotográfica acoplada ao sistema (Rembrandt), ou "plotters".

Esses sistemas, através de comandos, possuem a capacidade de integrar dados. Trata-se de um conjunto de programas que permite adquirir, analisar, combinar e reproduzir informações. Integram imagens de satélite a uma base cartográfica ou dados no formato espacial bem como dados cadastrais. Cada estudo ou trabalho executado pelos sistemas é armazenado numa base de dados própria. Dentro dessa base de dados, o usuário cria **planos de informações** (PI's ou "Layers") que correspondem aos diferentes dados necessários ao trabalho. Dentro dessa base de dados todos os planos de informações ou "Layers" são **registrados** e armazenados num mesmo referencial ou projeção. Desta forma, as tarefas de combinação de dados tornam-se mais precisas e é possível sobrepor os "Layers" sem cometer erros. Seu uso é controlado por "menus" que realizam o acionamento dos diferentes módulos.

3.1.4.1 - SITIM 150 - SGI/INPE

Trata-se de um sistema de tratamento de imagens modular desenvolvido pelo ENGESPACO (INPE). Formado por um microcomputador e uma unidade de visualização modular, configurável para atender a aplicação desejada, que pode operar independentemente ou como estação de trabalho ligado a um computador de maior porte.

O ambiente operacional é integrado a partir de um processador Intel 386 utilizando-se de ambiente MS-DOS.

O SITIM dispõe de um conjunto de programas de aplicação orientado para o sensoriamento remoto e de um Sistema de Informações Geográficas integrado aos aplicativos, permitindo combinar informações obtidas a partir de imagens de satélite e informações de outras fontes, em uma base uniforme.

Maiores informações a respeito pode ser obtida no manual do equipamento (ENGESPAÇO, 1987 a,b)

3.1.4.2 - INTER-ACT 360

A INTER-ACT 360 é baseada em tecnologia RISC e utiliza-se de ambiente UNIX para aplicação do software MGE (Modular Gis Enviroment).

O MGE é constituído de vários módulos, todos integrados, possibilitando a utilização de dados através de sistema de informações gráficas. Dentre esses módulos disponíveis, utilizou-se o MGE - Imager, que é apropriado para o processamento e análise de imagens multiespectrais, compatível com o cruzamento de dados vetoriais.

Para sua aplicação requer o "software" Micro Station 32.

Maiores informações a respeito pode ser encontrada no manual do equipamento (INTERGRAPH, 1991).

3.1.5 - CONCEITOS GERAIS SOBRE SIG

Para uma adequada compreensão da utilização do Sistema de Informações Geográficas em sensoriamento remoto na integração de dados geológicos, faz-se necessário uma revisão de alguns conceitos gerais sobre SIG e a estrutura da informação em um SIG (formas de representação espacial dos dados geológicos).

Os Sistemas de Informações Geográficas podem ser entendidos como sistemas computacionais destinados à captura, ao tratamento e à provisão de informações gerenciadas sobre entes de expressão espacial, permitindo aos usuários tomarem decisões baseadas na análise de complexos relacionamentos espaciais entre variáveis que afetam um problema particular.

Entre os principais pressupostos de um SIG, está o de ser considerado como um processo de tratamento da informação espacial (Berry, 1987). Segundo este autor, o sistema pode ser definido como um sistema de informações espaciais designado a ser georeferenciado, automatizado, voltado para análise, mapeamento e gerenciamento de dados.

Rodrigues (1990) destaca a importância de separar um SIG, "strictu sensu", que denota um "software" para desempenhar as funções de coleta, armazenamento, manipulação e apresentação de dados referenciados espacialmente, do SIG "lato sensu", que representa o "software" e um conjunto de atividades de formulação, dimensionamento, bem como do pessoal técnico envolvido para operar o sistema e executar as funções. Neste trabalho está se aplicando algumas operações que o SIG "strictu sensu" permite.

Marble (1984), estabelece que um sistema de informações geográficas deve conter basicamente as seguin-

tes funções:

- a) Um subsistema de entrada de informações para coletar e processar dados espacialmente distribuídos de mapas, sensores remotos, etc.;
- b) Um subsistema de armazenamento e recuperação, de modo a permitir o acesso eficiente aos dados para análise e/ ou comparações, e utilizações na base de dados;
- c) Um subsistema de manipulação que possibilite realizar tarefas de transformações, extração de parâmetros, simulação de modelos, etc.

Oliveira (1986) acrescenta a saída de dados, que pode ser tanto no formato de tabelas e relatórios, como espacial (mapas e imagens), em função das operações de manipulação.

Dois conceitos importantes de um sistema de informações geográficas são os de "overlays" ou planos de informações e o da representação de dados. A figura 3.1 ilustra o conceito de "overlay".

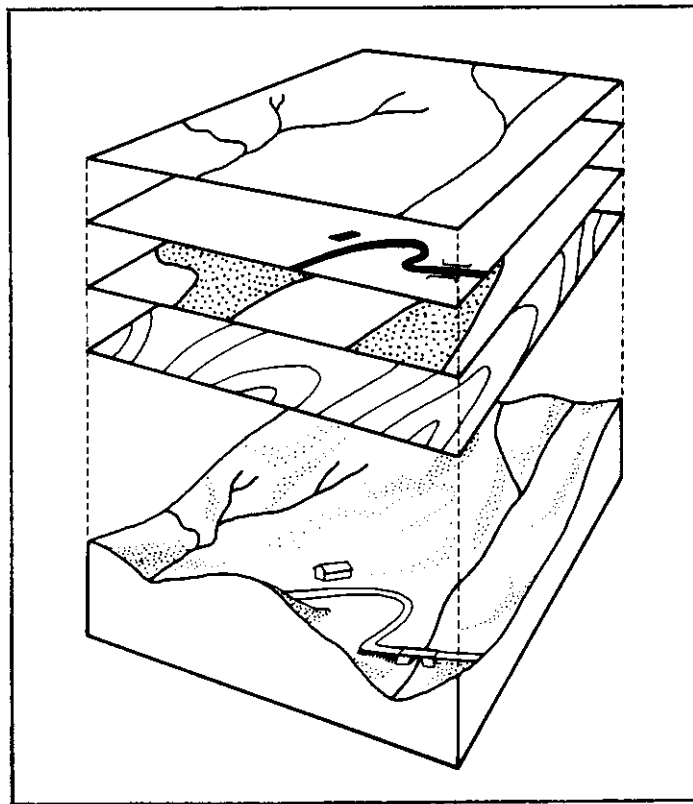


Fig. 3.1 - Conceito de "overlays" ou planos de informação (PI) em um sistema de informações geográficas.
FONTE: Burroughs (1986), p. 20.

Cada "Layer" (plano de informação) mapeia e descreve um atributo do terreno separadamente.

Nesta estrutura, o usuário de um sistema SIG pode organizar o trabalho em projetos (s), e no projeto (s), armazenar diferentes "Layers". Cada projeto corresponde a um referencial geográfico distinto e cada "Layer" conterá um tipo de informação (geologia, geofísica, topografia, imagem de satélite, uso do solo, etc.) ligado à área de estudo.

3.1.5.1 - ESTRUTURAS DA INFORMAÇÃO EM SIG

Assume-se "a priori" que qualquer dado que pode ser cartografado, pode ser digitalizado e armazenado em computador. Os dados armazenados em um SIG podem ser rapidamente manipulados, reconfigurados, atualizados, comparados, integrados, mostrados ao usuário para uma necessidade específica.

As operações de manipulações em um SIG requerem a utilização de técnicas especiais para a organização dos dados, principalmente para permitir a definição de propriedades de natureza espacial.

Em uma abordagem simplificada, um SIG contém dados de dois tipos principais: dados geométricos e não geométricos (ALVES, 1990).

1) Dados geométricos

Os dados geométricos possuem características bastante diversificadas, basicamente apresentando as seguintes propriedades:

- a) Posicionais: caracterizam a posição de um objeto. São necessários para individualizar diferentes objetos, como uma unidade litológica, o limite entre duas unidades e um ponto de coleta de uma amostra de geoquímica, por exemplo.
- b) Topológicos: caracterizam relacionamento de vizinhança ou de conexão entre objetos. Duas unidades geológicas separadas por uma falha, duas cidades conectadas através de uma malha viária, são exemplos de objetos entre os quais podem existir relacionamento de natureza topológica.

- c) Amostrais: caracterizam valores de grandezas físicas ou de outras propriedades de um ponto ou de uma região. Por exemplo, o valor de altura de um ponto, em um MDT (Modelo Digital de Terreno), ou o nível de reflectância de um pixel em uma imagem de satélite.

Um levantamento geológico de uma região qualquer, acarreta invariavelmente a produção de dados distribuídos em uma determinada área e assinalados em mapas, representando dados estruturais, litológicos, geoquímicos, geofísicos, geocronológicos, litogeoquímicos, de ocorrências minerais, etc., dependendo do interesse da investigação. Dessa maneira, segundo Aronoff (1984), a natureza dos dados geológicos pode ser classificada em três tipos: poligonais, linhas e pontos.

O mapa geológico embora contenha informações de três dimensões, a nível de cartografia digital está relacionado com informações de duas dimensões (2D), tratando-se de dados poligonais. As falhas, fraturas, eixos de dobras, etc., são dados lineares. As ocorrências minerais, dados geocronológicos, litogeoquímicos, etc., são dados pontuais, pois os mesmos representam um certo valor condicionado a uma localização geográfica específica. Os dados geofísicos e geoquímicos em princípio constituem-se de dados pontuais, os quais através de interpolação de isolinhas constituem os mapas de envoltória.

Dessa maneira pode-se observar que, embora os aspectos e fenômenos geológicos gerem multiplicidade de dados e possibilidade de infinitudes de enfoques diferentes, os mesmos podem ser representados no formato espacial.

No tocante ao conceito de representação de dados, são duas as maneiras correntes de fazê-la em Sistema de Informações Geográficas: a vetorial e a varredura ou "raster" (Burroughs, 1986).

A representação vetorial é feita por um conjunto de coordenadas no espaço bidimensional (2D), que delimitam regiões temáticas ou representam redes, armazenadas com respectivas propriedades topológicas. A representação varredura dá-se através de grupo de celas implementadas como uma matriz 2D, onde cada cela (elemento de imagem ou "pixel") é identificada por índices de linha e coluna. Um número representa o tipo ou valor do atributo mapeado, usualmente de 0 a 255. Esse valor (0 a 255) é devido sua quantificação em 8 bits ($2^8 = 256$). Em geologia dificilmente os dados podem ser obtidos em 8 bits (ex. geoquímica e geofísica). Após a obtenção dos dados eles podem ser convertidos para 8 bits para efeito de "display" em uma unidade de vídeo. O formato "raster" é utilizado na aquisição das imagens multiespectrais de sensoriamento remoto.

A figura 3.2 ilustra as representações de dados do tipo vetorial e varredura.

Através da história, o método vetorial tem sido mais utilizado. Como exemplo, tem-se o desenvolvimento da cartografia que foi baseado no uso de linhas, ou "vector".

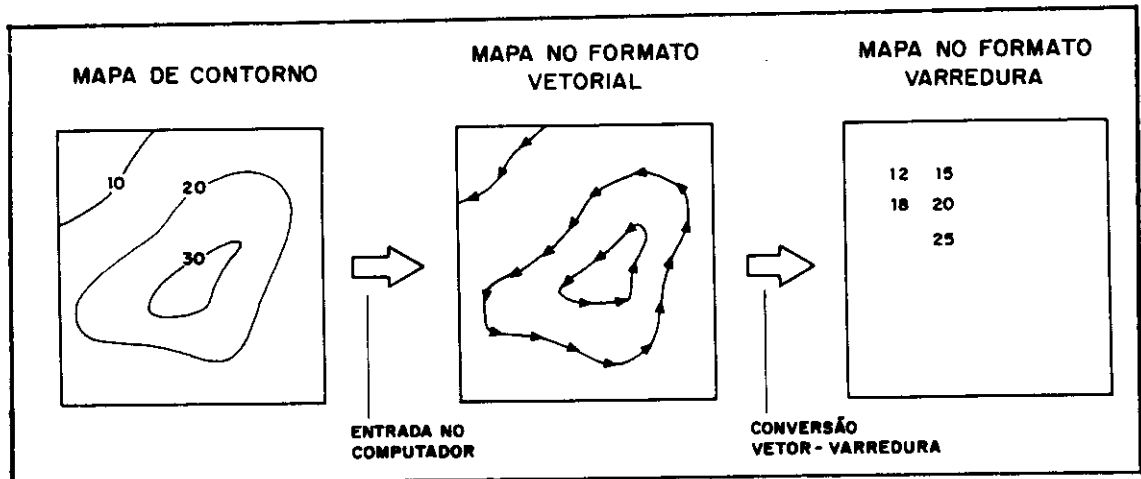


Fig. 3.2 - Representação de dados do tipo vetorial e varredura ("raster").

FONTE: Richards (1986), p. 26.

Somente com o advento dos computadores, os dados "raster" começaram a emergir como alternativa atra- tiva para certos tipos de mapeamento. No entanto, devido à pequena memória dos primeiros computadores, os mapas "raster" ficaram em desvantagem em comparação aos mapas ma- nuais ("vector" estruturados). Porém, a representação "raster" apresentava poderosas vantagens na codificação de dados para aplicações que requeiram mapeamento temático.

Nos últimos anos, novos métodos de obter in- formação diretamente com sensores digitais e "raster scanner" contribuíram para expandir o uso de métodos "raster".

Atualmente já foram desenvolvidas conversões entre vetor e varredura integrando formato de dados nestas duas formas. Assim, as estruturas hierárquicas fornecem base para a evolução de um modelo integrado pelos métodos de transformação de dados da estrutura vetorial para varredura e vice-versa.

As duas formas de representação tem seu lugar em SIG.

Entre as principais vantagens e desvantagens dos dados raster e vetoriais, destacam-se as seguintes (Alves, 1990).

a) dados raster (vantagens):

- possuem estrutura extremamente simples
- facilidade de manipulação de certos relacionamentos de vizinhança;
- facilidade de implementar diversas opções de manipulação, particularmente do espaço;
- possibilidade de representação de dados quantitativos e qualitativos.

b) dados raster (desvantagens):

- complexidade de identificar e manipular objetos individualmente: dificuldade de associar atributos a objetos;
- geração de grandes volumes de dados (processamento e armazenamento);

- resolução e precisão determinadas pelas dimensões da divisão do espaço;
- necessidades de conversão raster-vetor para obtenção de mapas;
- a representação em dispositivos do tipo "plotter" é de custo relativamente alto, embora a utilização de impressão termal colorida e/ou eletrotática colorida elimine esta desvantagem.

c) dados vetoriais (vantagens):

- manipulação individual de objetos facilitada; facilidade para associar atributos a objetos;
- geração de menores volumes de dados (processamento e armazenamento);
- precisão depende somente do procedimento de aquisição;

d) dados vetoriais (desvantagem):

- manipulação de propriedades topológicas ou do espaço é complexa (exige armazenar topologia explicitamente ou é custosa computacionalmente).

Uma abordagem mais detalhada é adotada em Alves (1990), onde são definidas seis classes para dados de natureza geométrica: mapas poligonais, grades regulares, malhas triangulares, mapas de pontos, contornos e matrizes de células (imagem).

2) Dados não geométricos

Dados não geométricos são atributos de objetos ou informações auxiliares que descrevem características não geométricas. Frequentemente, para manipulação de dados não espaciais, são usados bancos de dados convencionais. Entre esses convém lembrar os bancos de dados na forma de tabelas e textos (por ex. descrições).

Sendo assim, a manipulação de dados em um SIG compreende vários aspectos, podendo ser citados os relevantes como recuperação das informações, determinação de polígono envolvente, união e intersecção de áreas, cálculos de distância, conexões entre pontos, conversão vetor-"raster" e vice-versa, cálculo de área, reclassificação, operações lógicas, fatiamento, MDT (Modelo Digital de Terreno), cálculo de contornos, construção de grade regular, cálculo de perfís, cálculo de visibilidade, cálculo de volume, preenchimento, cálculo de caminhos de mínimo custo, fusão de imagens, aplicações estatísticas, cálculo de gradiente, etc. (Alves, 1990).

Além destas, outras operações podem ser executadas sobre MNTs como visualização em 3D, sombreamento de terrenos e combinações de mapas e imagens com MNT com a visualização em 3D.

Segundo Estes et al. (1980) a necessidade de integração de dados de sensores remotos pode ser facilitada através de um SIG e pode ser justificada porque apresenta as seguintes características:

- a) Os SIG's têm sido desenvolvidos propiciando um manuseio rápido e eficiente de grande volume de dados e desta forma é natural que eles façam uso de dados disponíveis cartograficamente;

- b) Os processamentos digitais dos dados de sensoriamento remoto são plenamente utilizáveis se a grande capacidade geradora de dados for aproveitada em sua máxima potencialidade;
- c) O sensoriamento remoto como um método indireto de levantamento de dados, resulta em confiabilidade relativa e isto pode ser um problema, principalmente onde se necessite de levantamento detalhado.

3.2 - METODOLOGIA

As etapas planejadas para o desenvolvimento deste trabalho compreendem uma sequência sistemática, o que torna possível introduzir nos sistemas utilizados todos os dados existentes da área, de maneira que cada produto utilizado e interpretado se torne um nível de informação ("layers"), registrado em um SIG dentro de um projeto único, e armazenados em um mesmo referencial geográfico.

Em linhas gerais, a sistemática de trabalho tem início com a seleção e aquisição de produtos de sensoriamento remoto e dados temáticos, seguida de uma análise e preparação dos mesmos por caminhos distintos. Os dados de sensoriamento remoto em parte se submetem ao tratamento digital e outra parte, produtos fotográficos, são interpretados, ambos fornecendo subsídios para a integração de dados. Os dados temáticos são também analisados, avaliados e, através da digitalização ou compatibilização de formatos, são introduzidos no sistema computacional e interpretados pelo usuário. Desta forma é possível obter isolinhas, interpolação de dados, conversão de formatos e resoluções, geração de imagem "raster" e relevo sombreado, fatiamento, criação e análise de modelo numérico do terreno, bem como realizar as atividades de combinação e sobreposição de ima-

gens e aplicação de modelos estatísticos.

Neste trabalho foram abordados algumas funções que serão descritas no ítem seguinte (Diagrama de Fluxo de Trabalho - DFT).

3.2.1 - DIAGRAMA DE FLUXO DE TRABALHO - DFT

A figura 3.3 sintetiza a metodologia aplicada na integração dos dados geológicos através de um Sistema de Informações Geográficas e suas etapas serão descritas a seguir e enumeradas segundo normas para confecção do DFT.

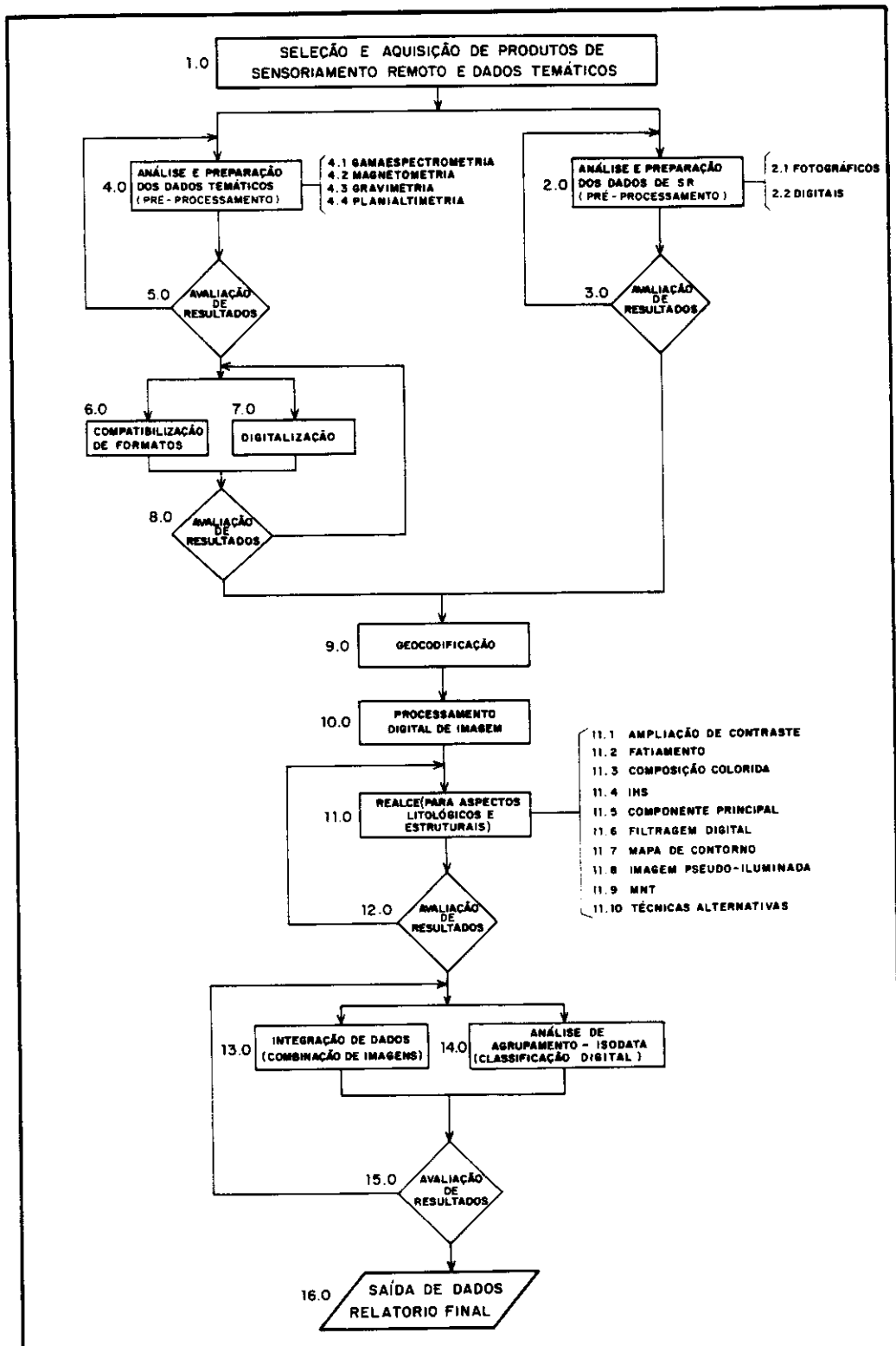


Fig. 3.3 - Diagrama de fluxo de trabalho - DFT.

- 1.0 Seleção e aquisição de produtos de sensoriamento remoto e dados temáticos

Esta etapa abrange a obtenção simultânea de dados de sensoriamento remoto e temáticos bem como todo o material bibliográfico de interesse ao trabalho. Através da bibliografia obteve-se além dos trabalhos geológicos existentes na área, outros relacionados com procedimentos para aplicação de sistema de informações geográficas em sensoriamento remoto na integração de dados geológicos, utilizando-se de técnicas de processamento de imagem e de Sistema de Informações Geográficas.

- 2.0 Análise e preparação dos dados de sensoriamento remoto (pré-processamento)

A sistemática de preparação dos dados de sensoriamento remoto nesta pesquisa compreende a utilização de produtos fotográficos e digitais de imagem LANDSAT-TM.

- 2.1 Dados fotográficos

O produto fotográfico foi utilizado visando o delineamento estrutural e posicionamento tectônico, para permitir a abordagem a nível regional.

Visando o posicionamento tectônico da área trabalhada, foi elaborada a interpretação sobre a imagem de satélite LANDSAT-TM, banda 4, escala 1:250.000, extraíndo as feições lineares de relevo e drenagem.

De acordo com um dos objetivos deste trabalho (posicionamento tectônico da área estudada) só foram destacados os elementos de relevo e drenagem (tabela 3.2).

TABELA 3.2 - ELEMENTOS DE FOTOANÁLISE E SEU SIGNIFICADO GEOLÓGICO

Elemento de fotoanálise (propriedades texturais)	Elementos de fotointerpretação (significado geológico)
Feições lineares de relevo e drenagem	foliações/acamamentos ou zonas de concentração de fraturas
Alinhamentos de relevo e drenagem	falhamentos ou descontinuidades geológicas

- 2.2 Dados digitais

Os produtos digitais, LANDSAT-TM, mediante combinações com dados geofísicos, foram utilizados para soluções de problemas geológicos (estruturais e litológicos).

A imagem digital pode ser definida como sendo uma matriz, cujos índices de linhas e colunas localizam espacialmente um ponto, e o valor do elemento correspondente, na matriz, identifica seu nível de cinza. Os elementos nesta matriz são chamados elementos de imagem ou "pixel".

Formalmente, uma imagem é uma função bidimensional da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, representada por $f(x,y)$, onde os valores de f a cada coordenada espacial (x,y) dão a intensidade da imagem nesse ponto (Dutra, et al. 1981 e Quintanilha, 1990). Essa intensidade é numericamente representada na imagem por um valor inteiro não-negativo e finito, chamado nível de cinza. A área no terreno representada por um "pixel" é definida pela altitude e característica do sistema sensor - IFOV (Instantaneous - Field - of - View) ou campo instantâneo de

visada, que representa o ângulo submetido pela projeção geométrica de cada detector na superfície do terreno.

A imagem digital orbital é formada através do valor medido pelo sensor (radiância), em uma representação digital que possa ser armazenada numa fita magnética compatível ao computador, para posterior processamento em máquinas.

Uma imagem orbital é formada pelas suas informações espaciais, espectrais e radiométricas. Além disso, uma imagem registra informações em um determinado momento. Assim, devido a variações temporais, podem-se extrair diferentes informações de imagens de uma mesma área, obtidas em diferentes épocas.

Uma imagem orbital possui uma densidade de informação espacial (resolução espacial) que pode ser medida em número de elementos de resolução ("pixels") por quilômetro quadrado (densidade de informação espacial).

A quantidade de informação radiométrica de uma imagem pode ser medida pelo número de níveis de sinal discriminado pelo sensor (resolução radiométrica do sensor), o que está diretamente relacionado com a identificação de alvos na cena.

A componente espectral da informação relaciona-se com a faixa do espectro eletromagnético sensoriada (resolução espectral), e a quantidade de informação obtida depende da abrangência desta faixa e do comportamento espectral dos alvos a serem detectados.

Os atributos temporais estão relacionados com as variações sazonais dos alvos, havendo variações na refletância dos mesmos em função do tempo (mudanças superfi-

ciais e às condições de iluminação).

A análise de uma imagem digital no computador requer como primeiro passo a caracterização paramétrica da cena em uso em termos de contraste, nível médio de cinza que estão relacionados à variância (intervalo ocupado pelos níveis de cinza que fornece a medida do contraste de uma imagem), sem que se esteja necessariamente visualizando a imagem. O histograma da imagem é uma representação gráfica que descreve a distribuição estatística de "pixels" nos diversos níveis de cinza.

Dependendo dos objetivos do trabalho e das condições em que se encontra a cena utilizada, devem ser feitos pré-processamentos que servem para corrigir erros sistemáticos. Portanto, em diferentes tipos de imagens, dependendo da forma como elas são obtidas e transformadas, o aparecimento de distorções pode ser de tal magnitude que se faça necessário corrigi-las ou minimizar seu efeito antes de se efetuar os procedimentos computacionalmente idealizados para melhorar a sua qualidade visual e corrigir erros de posicionamento. Nesse sentido, utilizam-se as técnicas de correção geométrica, radiométrica e atmosférica.

- a) Correções radiométricas - As correções radiométricas objetivam eliminar ruídos presentes na imagem e que influenciam não só o aspecto das imagens, como também os resultados dos processamentos por ventura utilizados.

Esses ruídos podem ser causados, por exemplo, pela descalibração dos detectores do sistema sensor, pela presença de muitos valores fora da sua faixa de detecção ou em função da não-linearidade da resposta dos detectores à radiância da cena.

Os programas de correção radiométrica envolvem técnicas que encontram-se descritas em Schowengerdt (1983).

Embora Meneses (1986) aconselhe a utilização da correção radiométrica mesmo não sendo perceptível visualmente alguma degradação da imagem, salienta-se que qualquer que seja a técnica de correção radiométrica, esta sempre acarretará alteração dos dados originais e, sendo aplicada descuidadamente pode levar à uma total alteração do sinal original.

Como visualmente foi percebido que não havia nenhuma degradação dos dados da imagem selecionada para este trabalho, não foi necessário a aplicação de nenhuma técnica de correção radiométrica.

- b) Correção atmosférica - Muitas vezes se faz necessário o uso da correção atmosférica, com o objetivo de se reduzir os efeitos provenientes do espalhamento atmosférico. O método mais simples de correção neste caso é o chamado "princípio da reflectância zero", o qual supõe que os valores do nível de cinza mais baixos de uma cena estão associados às regiões com sombras de relevo ou de nuvens, ou ainda corpo de água limpa, e cujo valores de nível cinza não sejam nulos. Neste caso, subtraem-se os valores de nível de cinza mais baixos de todos os "pixels" da imagem.

O uso de corpos de água para calcular os valores a subtrair é muito mais preciso do que o uso de sombras de relevo, pois a água absorve totalmente a REM (Radiação Eletromagnética) após 0,8 μm , o mesmo não ocorrendo com as sombras de relevo.

Neste trabalho por não se encontrar corpos de água, os valores para correção foram tomados de sombras de relevo da Serra do Caldeirão, que forneceram valores digitais muito baixos para as bandas infravermelhos e progressivamente valores maiores para as bandas do visível. Este fato é devido a seletividade do espalhamento da REM em função do comprimento de onda. Esses valores que correspondiam aos nível de cinza mais baixos de todos os "pixels" da imagem foram subtraídos para cada banda, para efeito de correção atmosférica de toda a imagem trabalhada.

- c) Correções geométricas - A função do programa de correção geométrica é reorganizar os "pixels" da imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica. As correções geométricas objetivam minimizar as distorções geométricas provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes do movimento desse sensor durante a captação da imagem. É o caso por exemplo das deformações devidas às variações de altitude, velocidade de vôo e da altitude da plataforma que contém o sistema sensor e também de variações do seu sistema óptico.

Existem várias técnicas para aplicação da correção geométrica em imagens, sendo que a maioria delas pressupõem a construção de modelos matemáticos/estatísticos, que descrevem distorções existentes nas imagens e a existência de uma função de mapeamento que permita construir a imagem corrigida.

Para a construção de modelos, a principal ferramenta utilizada são os chamados pontos de controle. São pontos da própria imagem nos quais uma característica física qualquer reconhecível é facilmente identificável (cruzamento de estrada, rios, etc.) e cujas coordenadas

geodésicas são precisamente conhecidas.

No caso específico das imagens de sensoria-
mento remoto existem outros métodos de correção geométrica,
mais precisos e com menor necessidade de pontos de con-
trole, mas que consideram dados de telemetria, altitude do
satélite e o conhecimento do sistema de imageamento.

O método de correção mais simples é o modelo
polinomial, que corrige de forma global, através de um
conjunto de pontos de controle, toda a imagem. Esse método
exige boa quantidade de pontos de controle, com localização
bem conhecida, e distribuídos na imagem de forma a detectar
o máximo possível das distorções existentes (figura 3.4).

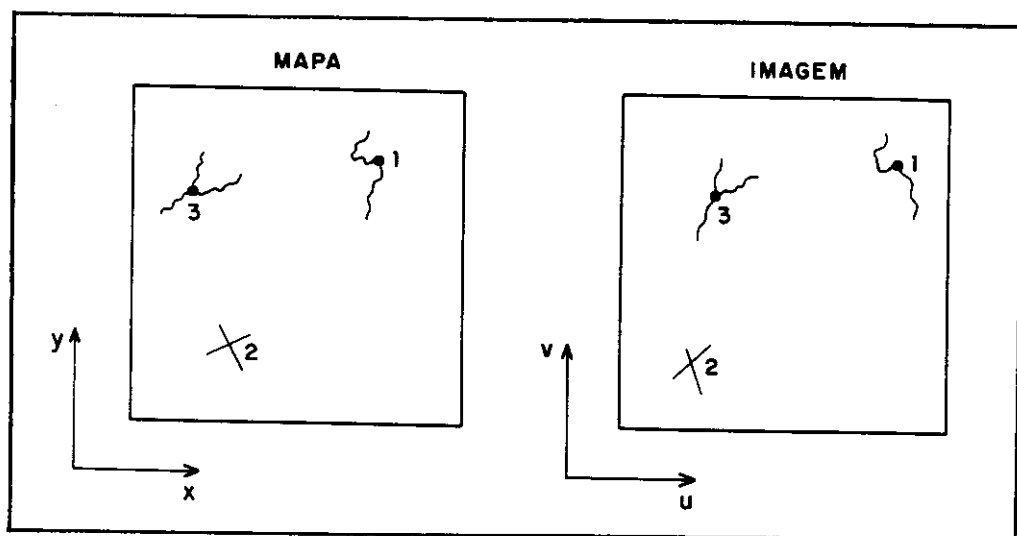


Fig. 3.4 - Registro de imagem - Definição de pontos de controle para implementação do registro de imagem.

FONTE: Richards (1986), p. 51.

Com a finalização do ajuste geométrico (fi-
gura 3.5) se faz necessário o cálculo dos novos níveis de
cinza (comumente referenciado como reamostragem) da imagem
corrigida, o que pode ser feito através de diversos métodos

de interpolação: alocação de vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica. Maiores informações podem ser obtidas em Schowengerdt (1983).

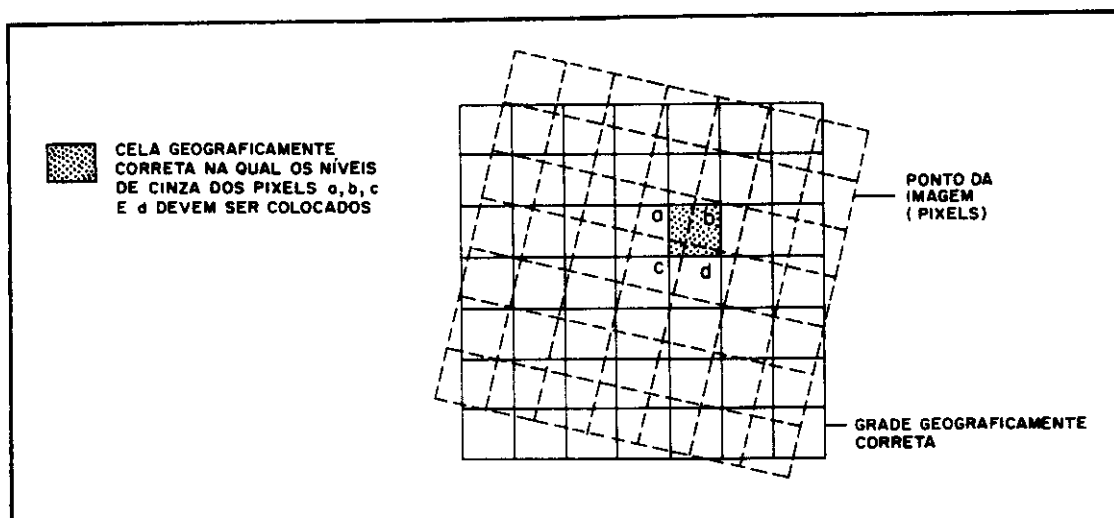


Fig. 3.5 - Correção geométrica de imagens.
FONTE: Curran (1985), p. 39.

Neste trabalho utilizou-se da técnica denominada convolução cúbica (tabela 3.3), objetivando a melhoria na visualização da imagem geometricamente corrigida para a interpretação visual dos dados.

TABELA 3.3 - TÉCNICA DE CORREÇÃO GEOMÉTRICA UTILIZADA

TÉCNICA	DISCRIÇÃO DA TÉCNICA	VANTAGEM	DESvantAGEM
Convolução Cúbica	O nível de cinza a ser atribuído ao pixel Z é determinado a partir de cálculos realizados numa matriz de 16 pixels na sua vizinhança.	Melhoria na visualização da imagem geometricamente corrigida	Maior tempo de computação. Degradação da qualidade radiométrica dos dados.

- 3.0 Avaliação de resultados

Após a realização da análise e preparação dos dados de sensoriamento remoto (fotográficos e digitais), fez-se uma avaliação de resultados obtidos, e somente quando os mesmos encontraram-se de forma satisfatória foi dado prosseguimento à seqüência pré-estabelecida.

- 4.0 Análise e preparação dos dados temáticos (pré-processamento)

A sistemática de preparação dos dados geofísicos aplicada neste trabalho objetiva a utilização de dados aéreos (aeromagnetometria e aerogamaespectrometria) e terrestre (gravimetria). Esses dados em geral possibilitam o delineamento de traços estruturais e a delimitação de diferentes litótipos, o que permite a abordagem a nível regional e mediante um enfoque de maior detalhe, são utilizados para soluções de problemas geológicos específicos (identificação e detalhamento de domínios geofísicos existentes).

Neste trabalho, foram analisadas as características de geofísica compreendendo a geração de imagens no formato "raster" visando auxiliar no estudo tectônico/estrutural da área (magnetometria e gravimetria) e na discriminação de litotipos (gamaespectrometria). Através da análise das funções geradas de dados magnéticos, gravimétricos e radiométricos presentes nas imagens foram observadas suas correlações com os dados de sensoriamento remoto.

A geração dos mapas de contorno de geofísica é uma sistemática de processamento de dados que envolve a aplicação de "software" específico nas fitas finais dos aerolevantamentos. A partir dos dados originais, são criados

arquivos XYZ contendo coordenadas UTM e os dados dos valores geofísicos. Em seguida, são gerados "grids" de dimensões variáveis (exemplo 250 x 250 m), definindo células quadradas por toda a área. Através de interpolação longitudinal e transversal aos perfis, são calculados valores geofísicos correspondentes no cruzamento desses retículos.

O produto final do processamento é representado como mapa de contorno de cada tema. Posteriormente é possível a geração da imagem "raster" através desses dados vetoriais.

Neste trabalho, esses dados como já se encontravam no formato digital e após a geração de "grids" foram compatibilizados para os formatos dos "softwares" utilizados. A geração de "grids" que será descrito em seguida, foi obtida através de "software" específico nos equipamentos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), no escritório central do Rio de Janeiro, pelos técnicos desta empresa.

Inicialmente, foram verificados os parâmetros de levantamento adotados, principalmente espaçamento entre linhas de voo, direção das linhas, altura de voo e métodos utilizados. Também foram analisados os mapas disponíveis para verificar os parâmetros de processamento de dados aplicado e os problemas presentes no contorno dos dados. Nessa análise, foi dada especial atenção às suavizações ou filtragens impostas aos dados, bem como à dimensão adotada para a célula do grid.

A partir da análise dos dados da área referente à folha reprocessada para a estação dos "grids" dos temas básicos, e levando em consideração a escala do mapa a ser gerado, definiu-se a dimensão da célula dos grids e, em decorrência, a frequência de corte do filtro anti-aliasa-

mento, que é função da dimensão da célula do grid.

Para a geração de mapas de contorno, exige-se a transposição dos valores medidos, segundo as linhas de vôo, para uma malha regular quadrada, comumente designada de "grid".

Definiu-se a célula do "grid" com dimensão equivalente a um valor entre $1/4$ e $1/8$ do espaçamento médio (nominal) entre as linhas de vôo de produção. Considerando-se o projeto com espaçamento entre linhas de produção de 2 km, a dimensão da célula do grid ficou entre 500 m e 250 m.

Tendo-se em mente que, ao definir a célula do "grid", cuja dimensão é maior que o espaçamento entre os pontos ao longo da linha de vôo, os dados segundo as linhas de vôo foram amostrados a intervalos correspondentes à dimensão da célula e, portanto, não representaram todos os comprimentos de onda (ou frequências) que compõem a informação presente nos dados de cada linha. Este procedimento não permitirá a reprodução de anomalias (magnéticas ou radiométricas) com comprimento de onda inferior a 2 vezes a dimensão da célula (Vasconcellos, 1990). Assim, com uma célula de 250 metros, as anomalias menores que 500 metros não serão representadas no grid, ou o serão de forma distorcida. Por conseguinte, para evitar a interferência de amplitude de anomalias de comprimento de onda menor que o dobro da dimensão da célula nas de anomalias de comprimento de onda maiores, fenômeno denominado aliasamento, é necessário a aplicação de um filtro. Este filtro passa-baixa, com frequência do corte igual à correspondente ao dobro da dimensão da célula (frequência de Nyquist), irá filtrar (eliminar) anomalias com comprimento de onda menor que 500 metros, neste caso (Vasconcellos, 1990).

No levantamento aéreo os dados foram amostrados com intervalo de dois segundos, gravados na forma digital e posteriormente submetidos a um processamento que inclui as seguintes correções: redução do "background" atmosférico da radiação gama para todos os canais gamaespectrométricos, eliminação do efeito "Compton" (canal de potássio), nivelamento dos perfis magnéticos, correção da variação diurna de campo geomagnético e remoção do IGRF International Geomagnetic Reference Field (Vasconcellos, 1990).

Para a confecção dos "grids" utilizados procedeu-se à reformatação das fitas originais com os dados corrigidos, com os quais foram gerados arquivos digitais do tipo XYZ, dispostos ao longo das linhas de voo, contendo informações sobre a posição em coordenadas UTM e os valores magnéticos e gamaespectrométricos para cada ponto de medida (figura 3.6). Em adição, os dados foram interpolados longitudinal e transversalmente às linhas de voo através de "grids" como células de dimensões 250 X 250 metros, e submetidos a uma filtragem anti-aliasamento com frequência de corte 0.02 ciclo/metro. Na constatação de alinhamentos face a problemas de nivelamento ou redução de "background", aplicou-se um filtro direcional para eliminar os alinhamentos de linha de voo. Dessa forma, foram gravados os "grids" dos dados magnéticos de campo total e gama espectrométricos de Ct, Th, U, K e razões U/Th, U/K e Th/K. Entre células desse "grid" traça-se as curvas de contorno (figura 3.7).

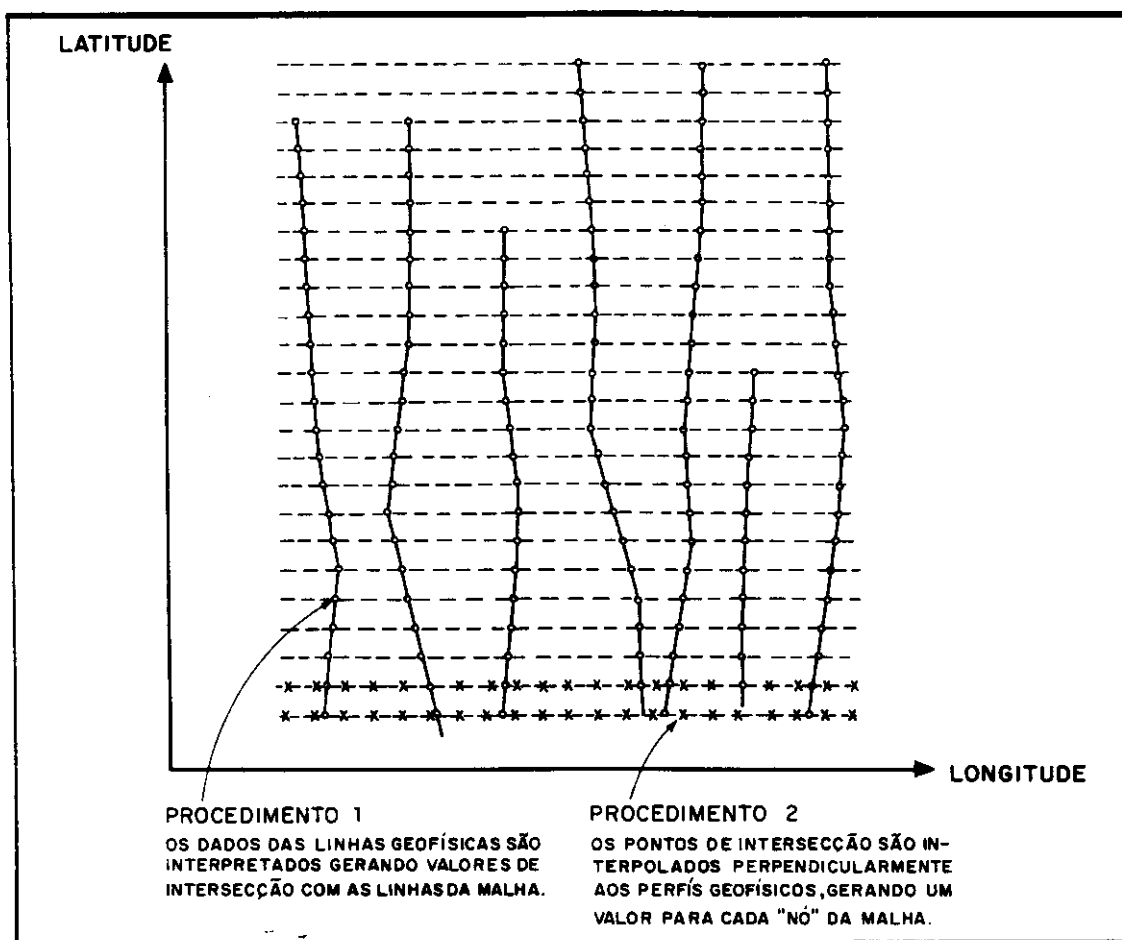


Fig. 3.6 - Etapas de geração de um "grid" - As linhas de vôo estão representadas pelos segmentos mais espessos e os "nós" do "grid" por um "x".
FONTE: Vasconcellos (1990), p. 12.2.

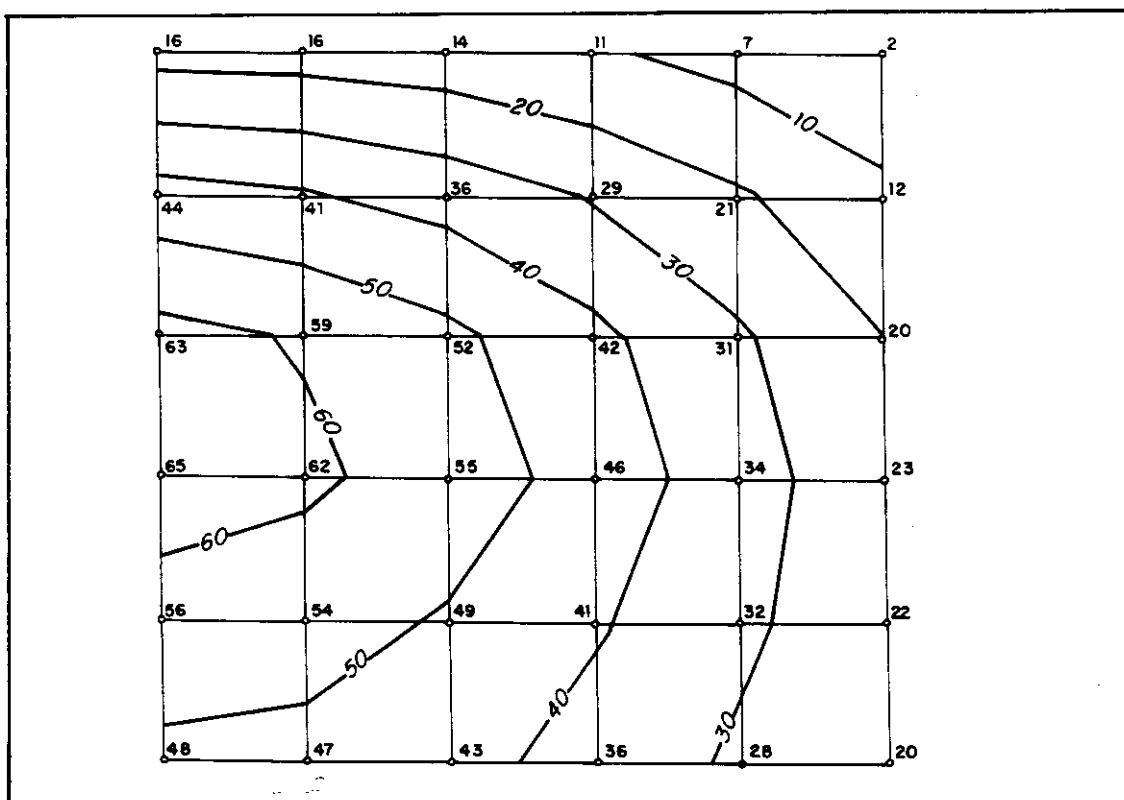


Fig. 3.7 - Procedimento de traçado de curvas de contorno entre células de um "grid" - O "grid" tem 5 x 5 células, com valores de cada "nó" assinalado. Os segmentos de maior espessura indicam as curvas de contorno, com o respectivo valor de intensidade.

FONTE: Vasconcellos (1990), p. 14.1.

No trabalho de levantamento gravimétrico foi utilizado o gravímetro La Coste and Romberg modelo G, para aferir as medidas da acumulação da gravidade, utilizando-se como base a estação de 1ª ordem nº 36659 B, com valor de $g = 978.302,60$ mal, pertencente à Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira, localizada na cidade de Pontes e Lacerda (MT), cujas medidas de "g" repetidas na estação-base normalmente diferiram em menos de 0,03 mal (Menezes et al., 1990). O levantamento topográfico executado em apoio às medidas gravimétricas tomou por base as referências de níveis do IBGE, AN - 1062F, localizada na cidade de Pontes e Lacerda e a RN - 1049X, situada na Fazenda Guapé, extremo

nordeste da área (Menezes, 1991).

Os trabalhos de redução dos dados gravimétricos foram executados através de programas para computador de grande porte, desenvolvidos pelo Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP), culminando na determinação das anomalias Ar-Livre e "Bouguer". Notadamente sobre os últimos recai a interpretação esboçada nesta pesquisa.

Com o conjunto dos dados gravimétricos reunidos, obteve-se o "grid" dos dados gravimétricos de anomalia Bouguer da folha Pontes e Lacerda.

- 4.1 Gamaespectrometria

É uma das ferramentas da geofísica que mais se assemelha com imagens obtidas por sensoriamento remoto. Essas informações possuem vários aspectos em comum que possibilitam interpretações conjuntas. Cartograficamente podem ser utilizadas e interpretadas segundo padrões texturais, ambas refletindo informações geológicas vinculadas à superfície do terreno.

O objetivo fundamental da gamaespectrometria é detectar os raios gama provenientes da porção superficial, cerca de 0,5 m de rocha e solo, liberada a partir da desintegração radioativa de alguns átomos.

A gamaespectrometria utiliza-se dos elementos naturais que possuem nuclídeos instáveis, urânio, tório e potássio. Durante o processo de desintegração, a emissão radioativa é constituída por partículas de carga positiva (alfa), negativa (beta) e radiações (gama) sob a forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas eletromagnéticas, denominadas de raios gama, representam o excesso da energia que é emitido a partir de átomos excitados e possuem curtíssimo

comprimentos de onda, inferior ao raio-x. Considerando que entre os três: alfa, beta e gama, este último possui maior poder de penetração, foi utilizado para medição de radioatividade nos levantamentos aerogeofísicos. Dessa maneira mede-se a intensidade dos raios gama emitidos.

Na série de desintegração do U 238 o próprio urânio não emite raios gama, assim para determinar o teor do urânio, utiliza-se a radiação emitida pelo elemento "filho", Bi 214; para o tório, os raios gama medidos originam-se na desintegração do Th 232 e o potássio é registrado através dos raios gama emitidos pela desintegração do isótopo K 40 (Metelo, 1990).

A radiação gama assim emanada, constitui ondas eletromagnéticas de frequências muito altas, em que um dado isótopo emissor possui energia bem definida no espectro gamaespectrométrico, definindo os raios gama através de suas energias espectrais.

As energias dos radioisótopos das séries de transformação do Th, U e K são usadas no instrumental gamaespectrométrico e na correlação geológica-geofísica porque são as mais características do espectro e por serem elementos suficientemente comuns na crosta da terra, de modo que suas variações absolutas ou relativas são usadas como indicadores de mudança no ambiente geológico.

O sistema de aquisição de dados nos aerolevantamentos obtém a informação gamaespectrométrica através de bandas distintas, ou seja captam diferentes energias oriundas do Th, U e K que são armazenadas em canais discriminados pelos diversos detetores do sistema.

No espectro gamaespectrométrico, a energia do tório é superior à do urânio e esta maior que a do potássio, com a característica de que o tório influencia muito o balanço energético total em termos de Contagem Total-CT (Vieira, 1982).

Os teores de U, Th e K das rochas ígneas são proporcionais à acidez das rochas. De acordo com o metamorfismo progressivo há um empobrecimento relativo do U, o que não se dá com K e Th. De acordo com Vieira (1982), nos climas tropicais os solos são menos radioativos do que as respectivas rochas-fonte, ao contrário dos climas temperados, onde ambos irradiam com mesma intensidade; por isso é preferível utilizar as relações U/Th; Th/K e U/K, que se mantêm relativamente constantes para cada litologia, apesar do intemperismo.

- 4.2 Magnetometria

A magnetometria trata da intensidade e da forma das anomalias magnéticas. Como o método atinge quase 19 km de profundidade (onde a magnetita atingiria seu ponto "Curie", para um grau geotérmico médio de $33\text{m}/^{\circ}\text{C}$) suas anomalias resultam de corpos tridimensionais, aflorantes ou não, sendo possível concluir a forma do corpo de acordo com o formato da anomalia que é produzida (Vieira, 1982).

De acordo com Metelo (1990), o campo geomagnético é composto de três partes:

- a) O campo principal, cuja origem está relacionada à estrutura interna da Terra e apresenta apenas uma suave variação espacial;

- b) O campo externo, que representa uma pequena fração do campo geomagnético, tem origem externa e varia rapidamente de maneira parcialmente cíclica e aleatória;
- c) Variações do campo principal, relativamente constantes no tempo e no espaço, causadas por anomalias magnéticas próximas da superfície da crosta da Terra, sendo estas as variações que constituem os objetivos das prospecções magnéticas.

Essas variações do campo principal são produzidas (em maior ou menor grau) em função da presença dos minerais magnéticos nas rochas, os quais podem ser interpretados como características do sistema FeO-TiO₂, no qual estão incluídos os óxidos minerais de interesse no magnetismo das rochas, tais como: magnetita, maghemita, hematita, ilmenita, e pseudobroquita, sendo a magnetita e as titanomagnesitas as mais importantes (Metelo, 1990).

Dessa maneira, as variações do campo geomagnético próximo da superfície da crosta terrestre, frequentemente são diagnósticos de concentrações minerais magnéticas (ou associadas), de fraturas e estruturas da crosta terrestre.

Objetivando separar regiões com anomalias magnéticas de amplitudes e características similares, fez-se neste trabalho a interpretação do mapa aeromagnético, podendo-se inferir a geologia em sub-superfície e correlacioná-la com a superfície.

- 4.3 Gravimetria

A gravimetria, através de medições relacionadas à aceleração da gravidade, fornece informações a respeito de maior ou menor densidade das litologias, indicando caráter ácido ou básico da natureza das rochas.

Todos os componentes da Terra influenciam a gravidade, porém conforme a lei do inverso da distância, as rochas que se encontram mais próximas do ponto de leitura vão influenciar muito mais do que aquelas posicionadas a distâncias maiores.

O campo gravitacional da terra é devido à enorme massa do manto e do centro da Terra e, como esta tem uma forma regular e a diferença de densidade dentro dela é gradual e suave, as variações do campo gravitacional se processam de maneira lenta e em escala regional. Ou seja, o campo gravitacional da Terra, como um todo, não tem nada a ver com as rochas da crosta (Motta e Gomes, 1990).

Somente 3% do valor da gravidade (g) se deve ao efeito das massas das partes superiores da crosta, e desse total somente 15% (0,05 de g) é devido às rochas que estão nos primeiros 5 Km da crosta. Desta maneira, corpos e estruturas geológicas participam muito pouco do campo gravitacional terrestre (Motta e Gomes, 1990). A grande importância da gravimetria é que ela pode ser medida no local desejado e gerar mapas com os valores obtidos, sendo possível concluir quanto às modificações das densidades e consequentemente, das rochas subjacentes.

Para isso são necessárias duas condições básicas: 1) aparelho com sensibilidade suficiente para medir essas pequenas influências dos corpos geológicos nos valores da gravidade (gravímetro); 2) fazer rigorosamente todas

as correções necessárias para separar as demais influências que afetam o campo gravitacional (mudança das altitudes dos locais das medidas e as variações regionais do campo gravitacional devido ao fato da crosta não ser homogênea).

O campo gravitacional tem o valor aproximado de 980 gals, sendo que a medida no equador e no polo diferem de aproximadamente 5 gals (Motta e Gomes, 1990). O gal é a unidade utilizada nas medidas, cuja dimensão equivale a aceleração de 1 cm/seg².

As leituras de campo são reduzidas para produzir perfis de gravidade "Bouguer", assumindo diversos valores de densidade para as correções "Bouguer" e correção de terreno. Isto é, antes da obtenção do valor "Bouguer" (anomalias "Bouguer"), os dados de campo são corrigidos para a obtenção do valor da gravidade de cada estação. Dessa forma, são feitas correções gravimétricas para eliminar efeitos da latitude, topografia e irregularidades profundas da Terra, consideradas em separado daquelas chamadas estruturas rasas. Efetuadas as correções, chega-se ao valor "Bouguer", ou anomalia "Bouguer", que é esta que foi analisada neste trabalho.

- 4.4 Planialtimetria

Foi incorporada ao Sistema, através de mesa digitalizadora, a base planialtimétrica da folha Pontes e Lacerda (SD.21-Y-C-II).

- 5.0 Avaliação de resultados

Após a realização do pré-processamento dos dados temáticos fêz-se uma avaliação de resultados obtidos, e somente quando os mesmos encontraram-se de forma satisfatória, deu-se continuidade ao processo.

- 6.0 Compatibilização de formatos

Após a geração dos "grids" dos dados geofísicos (magnetometria, gamaespectrometria e gravimetria), os mesmos foram incorporados aos sistemas SITIM/SGI-INPE e INTER-ACT 360 WORKSTATION-INTERGRAPH através de "software" específico para compatibilização de formatos, não sendo necessário a digitalização dos dados através de mesa digitalizadora, o que demandaria tempo exagerado. Dessa maneira, todos dados geofísicos (aeromagnetometria, aerogamaespectrometria - CT, U, Th e K e gravimetria) foram normalizados entre 0 - 255 (256 níveis de cinza), ficando aptos a serem tratados com técnicas de processamento de imagem. Desse modo, para a transformação da grade em imagem "raster", os valores reais ou pontos flutuantes do arquivo em grade foram escalados para os valores discretos de 0 a 255. Esse escalonamento pode ser feito através de funções lineares, logarítmica ou definida arbitrariamente.

A interpolação é uma técnica de ajuste de uma função matemática aos dados originais para o cálculo dos valores de variável dependente (Z) sobre nós da grade regular pré-definida (Yamamoto, 1986).

Após a aplicação do processo acima descrito, tem-se a imagem "raster" que pode ser tratada através de técnicas de processamento digital de imagens

- 7.0 Digitalização

Como não existem dados digitais da carta planialtimétrica, a mesma foi digitalizada e incorporada aos sistemas utilizados. Tal procedimento deve ser adotado com qualquer base de dados que não se encontre no formato digital.

- 8.0 Avaliação de resultados

Nesta etapa avaliou-se a qualidade dos dados obtidos, que em caso negativo repetiu-se a operação anteriormente descrita e, se positivo, seguiu-se a seqüência estabelecida.

- 9.0 Geocodificação

Para a integração de dados, nesta pesquisa, foi feito o registro das imagens LANDSAT-TM. O uso destas imagens como "Layers" no sistema requereu a correção de deslocamentos translacionais e rotacionais, bem como das distorções geométricas intrínsecas da imagem, ou seja, aplicou-se o processo conhecido como geocodificação.

Em sensoriamento remoto, uma imagem é dita geocodificada quando está registrada através de coordenadas de feições homólogas com os dados existentes, estando portanto orientada para o norte do sistema de projeção utilizado (Ii et al., 1989).

O registro da imagem baseou-se no estabelecimento de relações matemáticas entre os "pixels" da imagem e a carta SD.21-Y C-II (folha Pontes e Lacerda) geométrica-mente corrigida. Nesse processo definiu-se então os sistemas de coordenadas cartesianas no mapa (x,y) e o outro locação dos "pixels" da imagem (u,v) , sendo que os dois sistemas podem ser relacionados através de um par de funções f e g de modo que $u = f(x,y)$ e $v = g(x,y)$ (figura 3.4 e 3.5).

Nesse processo utilizou-se o método polinomial, tomando-se como coeficientes destas funções 26 pares de pontos de controle tais como: intersecção de estradas e confluência de rios, pontos estes bem definidos, assegurando uma boa retificação e registro da imagem (figuras 3.8 e 3.9).

Após definidos os parâmetros do registro, seguiu-se uma fase de reamostragem das grades, na qual o algoritmo calculou o valor de nível de cinza que deve ter o "pixel" sobre a nova grade da imagem saída (figura 3.5). A reamostragem utilizada foi feita por interpoladores do tipo convolução cúbica.

Como a área pesquisada encontra-se próxima ao limite oeste da órbita/ponto 228/71, pequena parcela do área (norte - oeste) não dispõe de dados LANDSAT-TM (figura 3.8)

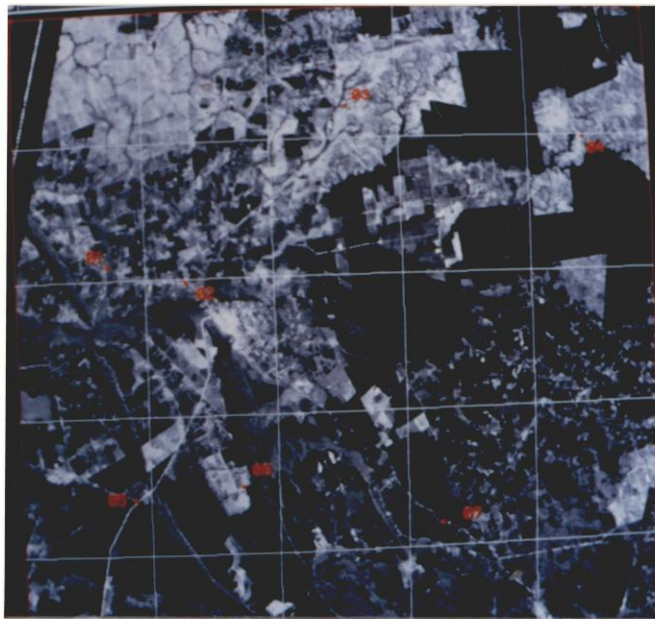


Fig. 3.8 - Alguns pares de pontos de controle seleccionados, bem definidos, para a correção geométrica e registro da imagem.

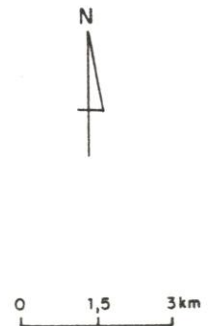
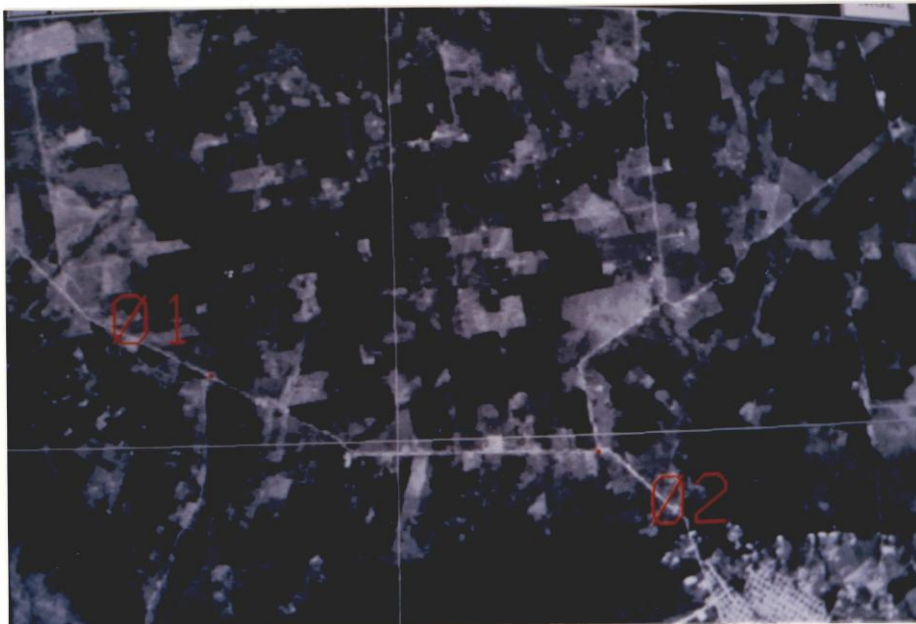


Fig. 3.9 - Detalhe de dois pares de pontos seleccionados, bem definidos (cruzamento de estradas) que foram registrados através de feições homólogas com os dados existentes (base topográfica).

- 10.0 Processamento digital de imagem

Após a aplicação de técnicas de pré-processamento segue-se o processamento digital de imagens, que compreende uma grande variedade de técnicas e ferramentas matemáticas implementadas em sistemas eletrônicos que auxiliam o elemento humano na interpretação das informações contidas em imagens digitais.

Como o processamento digital de imagens envolve uma grande variedade de técnicas, cada aplicação tem uma rotina própria ordenada em módulos, os quais requerem especificações e/ou parâmetros variados para que se obtenha os resultados desejados.

Neste trabalho essas técnicas de processamento de imagem foram utilizadas para os dados de sensoriamento remoto e a dados geofísicos, visando o realce para aspectos litológicos e estruturais.

- 11.0 Realce para aspectos litológicos e estruturais

As técnicas de realce para aspectos litológicos e estruturais (domínios espectral e espacial) visam realçar a delimitação litológica e facilitar a identificação de estruturas geológicas na área trabalhada.

Como já foi visto anteriormente (capítulo 3, materiais e métodos) todos os dados geofísicos (aeromagnetometria, aerogamaespectrometria e gravimetria), após a interpolação e geração do "grid" foram normalizados (reescalonados) para o DN (Digital Number) de intervalo 0 a 255 tons de cinza (total = 256 níveis), constituindo imagens, tornando-se aptas para tratamento digital de imagem. Ou seja, todos os dados geofísicos com dimensões variáveis, mGal, nT, cps, etc., cujo intervalo varia desde valores ne-

gativos até positivos foram reescalados apenas para valores positivos entre 0 e 255 e geocodificados dentro do SIG.

Este procedimento foi adotado neste trabalho baseado em Drury e Walker (1987) que, utilizando-se de dados aeromagnéticos, elaboraram realce de dados através de geração de imagem "raster", ampliação linear de contraste, composição colorida por fatiamento com adição de sombreamento e fusões com imagens LANDSAT - TM, obtendo como resultado novos elementos litológicos e estruturais adicionais à geologia da área, através do detalhamento surgido nas imagens processadas.

O mapa de contorno (isolinhas), tradicionalmente utilizado nas interpretações de dados geofísicos, apresenta vários problemas. Segundo Drury e Walker (1987) ele apresenta o intervalo entre as curvas de forma arbitrária, portanto não expressando toda a intensidade gradativa e atributos espaciais dos dados brutos; o sistema visual humano encontra dificuldade para examinar mapas de linhas, problema esse aumentado quando interpreta sequência de números relativa às linhas, tornando a interpretação inteiramente sujeita à regras complexas.

Com relação às imagens ("raster"), as mesmas expressam todo o dado real através de interpretações, gerando dados gradacionais, na forma para a qual o sistema da visão humana encontra-se preparado, além de preservar a informação de ambos atributos, intensidade e textura (Drury e Walker, 1987). Além da intensidade, tradicionalmente utilizando nas interpretações geofísicas, na forma de imagem tem-se a textura. Em magnetometria, por exemplo quando a textura da imagem é rugosa (acidentada) muitas vezes indica a presença do embasamento cristalino em superfície, ao passo que a textura lisa e homogênea pode indicar espessura razoável de sedimentos fracamente magnéticos (Drury e

Walker, 1987).

Outro fator preponderante que incentiva a utilização de imagens para interpretação é a possibilidade de coloração dos dados. Sabe-se que a visão humana distingue um número muito maior de cores do que tons de cinza, o que restringe sobremaneira a interpretação dos limites entre os mesmos. Ou seja, a visão humana através de cores é extremamente discriminante. A mensagem clara é que a informação sobre a intensidade dos dados geofísicos é muito melhor representada em uma imagem colorida. Por outro lado, no domínio espacial, a visão humana frequentemente tem mais possibilidades de examinar estruturas em imagens quando as mesmas encontram-se em tons de cinza. Mesmo assim Drury e Walker (1987) conseguiram resultados excelentes para análise de estrutura em imagens coloridas, optando por fatiar cores de 0 a 255 utilizando-se também de matiz e saturação.

Outro fator importante, relacionado ainda à visão humana e interpretação de dados, está relacionado à estimativa da distância ou profundidade, que se obtém através da estereoscopia, ou seja a visão humana tem facilidade para trabalhar utilizando-se da topografia. Portanto, a utilização de relevo sombreado pode expressar detalhe da topografia analisada que não seria perceptível nas isolinhas, ainda que não tão bem como a estereoscopia.

Salienta-se que todas as técnicas abaixo descritas são válidas para quaisquer produtos sob forma "raster".

- 11.1 Ampliação linear do contraste

A técnica de modificação de histogramas é a primeira atividade ou preparação a ser conduzida sobre a imagem. O seu objetivo é modificar os níveis de cinza, de tal modo que se obtenha um histograma com a forma desejada, redistribuindo os valores de nível de cinza na imagem, objetivando melhorar a qualidade da visualização da informação nela contida. Tem a finalidade de aumentar o contraste de imagem, fazendo-a ocupar o intervalo da escala de níveis de cinza (0 a 255) da unidade visualizadora. Essa transformação é chamada de ampliação linear de contraste ("linear contrast stretch").

Outros tipos de transformações podem ser efetuados sobre os histogramas, dependendo do tipo de aplicação ou problema inerente às imagens, por exemplo: equalização de histogramas (transformação não linear) e classificação por **fatiamento** ("slicing").

- 11.2 Fatiamento

O fatiamento tem por objetivo principal reduzir o número de níveis de cinza através da redistribuição dos níveis existentes, em um certo número especificado da faixa. Essas faixas podem ser:

- **normal:** todas as faixas têm a mesma largura;
- **equidistribuída:** todas as faixas tem a mesma área (mesmo número de "pixels");
- **manual:** as fronteiras entre faixas são dados por valores obtidos da própria imagem.

Essa técnica de **fatiamento** também pode ser considerada como um processo classificatório uniespectral, embora os resultados obtidos sejam de realce.

Nesta pesquisa utilizou-se a técnica de ampliação linear do contraste para os dados LANDSAT-TM e geofísicos, sendo que o fatiamento apenas foi aplicado nos dados geofísicos.

- 11.3 Composição colorida RGB

Salienta-se que qualquer que seja o tipo de realce utilizado, as imagens são sempre apresentadas em preto e branco. Através de processamento digital de imagens existem meios de se fazer combinações de imagens para a formação de composições coloridas que são consideradas também como forma de realce importante a complementação de outras técnicas. Com isso pode-se agrupar três diferentes imagens em uma única composição, reduzindo a dimensão dos dados, além de favorecer a visão humana, que é capaz de distinguir mais nuances cromáticas do que variações monocromáticas de cinza.

Esse tipo de realce espectral (composição colorida - RGB) consiste na associação de uma das cores primárias do dispositivo de apresentação da imagem (azul, verde ou vermelho) ou de suas cores complementares (amarelo, magenta ou cian) a cada uma das imagens relativas a um determinado intervalo do espectro eletromagnético por exemplo, até no máximo de três imagens. A figura 3.10 ilustra graficamente o cubo de cores RGB, com a distribuição espacial e o princípio de geração de composições coloridas RGB.

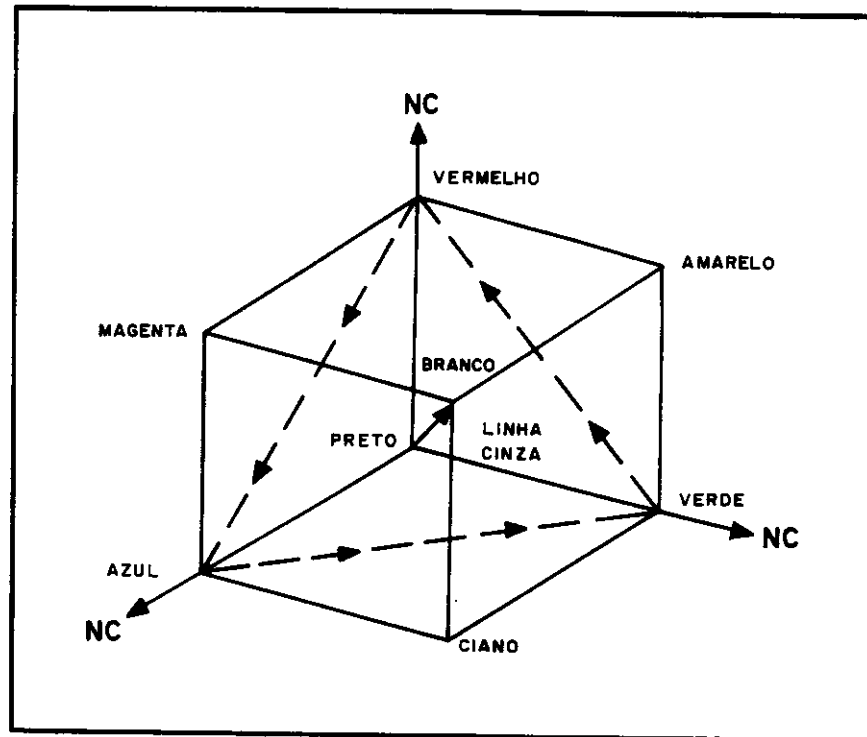


Fig. 3.10 - Cubo de cores RGB.

FONTE: Schowengerdt (1983), p.119.

A principal vantagem é que as variações devidas à cada faixa espectral serão apresentadas por cores diferentes e suas combinações e variações de nuances estarão presentes na combinação colorida.

Como não existem critérios definidos para se montar as composições coloridas RGB, o que se faz é realizar testes, permutando-se canais e cores. A escolha da(s) melhor(es) composição(ões) é baseada em algum conhecimento prévio sobre a área pesquisada, de modo a se obter composições que melhor mostrem para o intérprete as variações de alvos da imagem.

Neste trabalho foi utilizada essa técnica nos dados LANDSAT-TM e geofísicos.

- 11.4 IHS

Trata-se de uma transformação de sistema RGB para IHS, do inglês "intensity", "hue", "saturation", que descrevem as sensações subjetivas de I (intensidade ou brilho), H (matiz) e S (saturação) para cada cor. IHS é um outro sistema de definição de cores, alternativo ao RGB.

Para a aplicação dessa transformação são exigidas, além da mudança RGB para o IHS, uma outra transformação inversa para o RGB, a fim de que se possa visualizar os resultados obtidos.

São vários os modelos possíveis para a transformação de imagens RGB para o espaço perceptual IHS. Alguns são de mais simples concepção, como o modelo baseado em modelos triangulares (Haydn et al., 1982). Correia e Dutra (1989) apresentam comparações entre os seguintes métodos de transformação IHS:

- IHS de Smith: via transformações colorimétricas;
- IHS de Munsell: derivadas de coordenadas esféricas;
- IHS de Haydn: baseado em modelos triangulares.

A vantagem de se fazer o realçamento pelo IHS é que pode-se modificar as componentes: I, H ou S independentemente uma das outras, sem alterar a média de cada componente. Além disso, como esses componentes apresentam-se em cores, a interpretação visual das imagens tende a ser facilitada. O sistema visual humano processa a informação colorida de forma semelhante ao IHS, daí a grande vantagem em utilizá-lo no processamento digital de imagem. Assim a vantagem da transformação IHS é que a independência do ponto de vista de percepção do olho humano entre os compo-

nentes I, H e S, favorece a utilização sistemática do método.

Para finalizar, foi observado que essa técnica tem sido utilizada com sucesso em abordagens de integração de dados. Haydn et al. (1982) apresentaram exemplo de integração de dados LANDSAT-TM e SPOT, combinando as vantagens da resolução espacial do SPOT com os atributos espectrais do LANDSAT-TM; Fernandez - Alonso e Tahon (1991) integram dados LANDSAT-TM com dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria).

Nesta pesquisa, esta técnica foi utilizada para integração de dados de LANDSAT-TM e dados geofísicos, especialmente nos dados aerogamaespectrométricos, baseado nos resultados alcançados por Fernandez - Alonso e Tahon (1991).

- 11.5 Componente principal

Uma característica algumas vezes inconveniente de se trabalhar com muitos dados (imagens multiespectrais, aerogeofísicas, etc.) é a correlação, geralmente alta, entre as diferentes imagens de um mesmo local em diferentes bandas. Este é o caso, por exemplo, de se ter imagens em seis canais diferentes de sensor TM, e os vários "layers" da aerogamaespectrometria (Ct, U, Th, K e razões) de uma mesma área.

Considerando, portanto, a presença dessas correlações, percebe-se que existem informações redundantes, as quais por sua vez, devido à grande quantidade, ocasionam dificuldade não só na interpretação, como aumentam o custo computacional e operacional.

A transformação por componentes principais é uma das técnicas utilizadas para eliminar a redundância existente entre as várias imagens originais. Este resultado é obtido através de uma combinação linear dessas imagens, de tal maneira que as novas imagens geradas não são correlacionadas entre si (imagens das componentes principais).

Assim, a técnica de transformação por componentes principais pode ser resumida como um método que produz, a partir de combinações lineares de variáveis correlacionadas, um conjunto de novas variáveis ortogonais, não correlacionadas (figura 3.11).

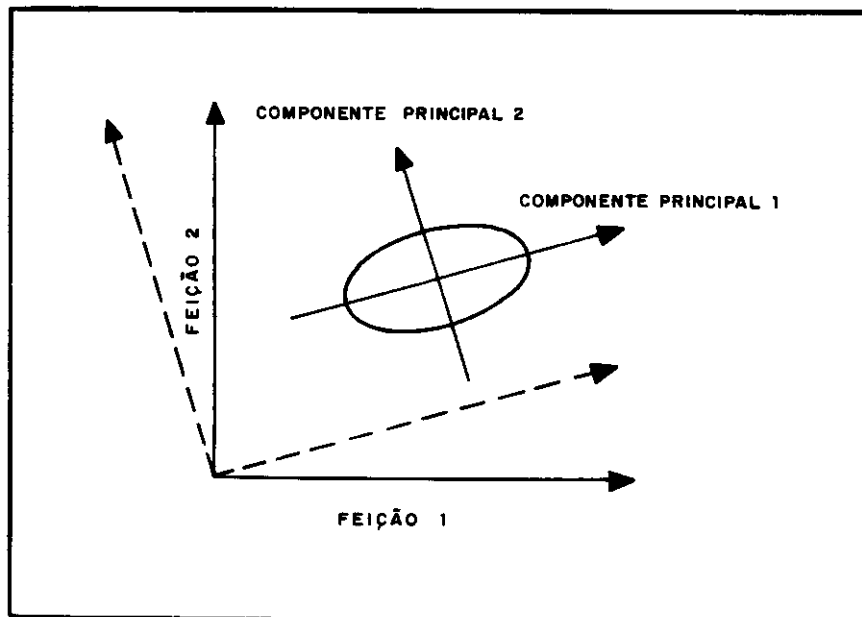


Fig. 3.11 - Representação hipotética da transformação por componentes principais.

FONTE: Schowengerdt (1983), p. 162.

Esta técnica é baseada, matematicamente, na covariância das cenas ou matriz de correlação, obtida à partir dos valores digitais da população de "pixels" de cada banda. É gerada através de rotação e transformação, em um hipotético espaço de atributos espectrais, definidos por eixos ortogonais correspondentes aos canais originais.

A vantagem dessa transformação é que as novas imagens associadas a cada um dos componentes principais tem variância ordenadas, ou seja, a variância ou quantidade de informação contida na imagem correspondente à primeira componente principal é maior do que as outras, a segunda maior que a terceira, e assim por diante. Ou seja, escolhendo-se um certo número de componentes principais, significa reduzir a dimensionalidade dos dados, sem perda significativa a nível teórico, embora dependendo do que se quer realçar esta pequena perda pode ser muito significativa.

Essa técnica oferece, portanto, a vantagem de utilizar de uma só vez a maioria dos dados da cena e, cujas imagens componentes principais resultantes podem ser analisadas individualmente ou agrupados em composições coloridas.

A avaliação dos resultados é baseada na análise dos valores estatísticos fornecidos pelo computador, portanto torna-se impossível a interação com o analista.

Nesta pesquisa utilizou-se a transformação por componentes principais, para reduzir a dimensionalidade dos dados LANDSAT-TM, e aproveitar a 1ª componente principal, que teoricamente contém a maioria dos dados de cena, para integrar com dados aerogeofísicos.

- 11.6 Filtragem digital

Também denominada algumas vezes na literatura de filtragem espacial, assim como a modificação do contraste são transformações "pixel" a "pixel". Entretanto, neste caso, a transformação considera os valores digitais da vizinhança de cada "pixel", sendo portanto uma transformação local e espacial.

Na filtragem espacial tem-se um conceito importante de frequência espacial, que é dado pela relação entre o pixel e seus vizinhos, estabelecida na transição de um padrão de comportamento na imagem, para outro.

As transições bruscas na imagem, geralmente com padrões definidos e delimitados, correspondem às altas frequências espaciais (estão associados aos contrastes tonais de uma cena, definindo os detalhes da imagem). As transições suaves, que exibem modificações dos padrões mais gradativos, formam imagens com distribuições mais uniformes, correspondem as baixas frequências.

Os filtros que diminuem os componentes de baixa frequência espacial e ressaltam as altas frequências, recebem o nome de filtros passa-alta (realça linhas e contornos). Igualmente, os filtros que diminuem os componentes da alta frequência espacial e realçam as baixas frequências recebem o nome de filtros passa-baixa (efeito de suavização).

O processo de construção e aplicação dos filtros espaciais lineares é feito através da utilização de uma matriz quadrada, de tamanho variável, (máscara ou janela) que é centrada em cada pixel da imagem e envolve a vizinhança desse "pixel" no número de pontos da matriz, resultando um novo valor para cada "pixel", que é a média ponderada dos valores de sua vizinhança. Essa matriz percorre então toda a imagem.

Existe uma série de outros filtros lineares e não lineares na literatura sobre processamento da imagem.

Os filtros passa-alta podem ser aplicados de maneira a dar realce em todas as direções igualmente (isotrópicos) ou então realçar em direções preferencialmente

especificadas (nordeste, noroeste, norte-sul, este-oeste), chamados filtros direcionais.

Neste trabalho, visando o realce de lineamentos geológicos nos dados aerogeofísicos, procurou-se aplicar os filtros passa-alta direcionais que possuem tendência a destacar feições geológicas (lineações), gerando inclusive relevo sombreado que normalmente nos dados tratados de maneira tradicional essas feições estruturais se encontram de forma mais sutil, dificultando sua identificação pelo analista.

- 11.7 Mapas de contorno

Após a geração do "grid" dos dados geofísicos foi gerado o mapa do contorno. Basicamente consiste em, dado o intervalo de contorno, pesquisar cada célula do "grid" e verificar, a partir dos valores que compõem os quatro vértices de cada célula, se existe algum valor múltiplo (positivo ou negativo) do intervalo de contorno em cada lado da célula, considerando a diferença entre os dois valores que compõem os nós correspondentes. (figura 3.7).

Esses mapas foram gerados para superposição de dados vetoriais sobre dados "raster".

- 11.8 Imagem pseudo-iluminada

Também denominada de imagem sombreada ou relevo sombreado. São imagens derivadas de pseudo-iluminação colocada em determinado azimute e ângulo de elevação (o analista escolhe o posicionamento), visando o realce estrutural na imagem analisada (geofísica, altimetria, etc). Esta técnica foi aplicada sobre os dados geofísicos.

- 11.9 MNT

Modelo Numérico do Terreno, também denominado MDT (Modelo Digital do Terreno), é um modelo matemático que representa a distribuição espacial de uma característica vinculada a uma superfície real, ou seja, representa a distribuição de uma grandeza física (altitude, teor em minerais, etc.) no espaço.

O modelo digital é gerado a partir de um conjunto de pontos $[(x_i, y_i, z_i), i=1..n]$ amostrados na superfície real. As coordenadas (x_i, y_i) desses pontos representam as posições de amostragem na superfície e as coordenadas z_i estão associadas às características da superfície que se quer modelar.

Usualmente esses modelos digitais são utilizados para se obter informações relevantes da superfície, sem a necessidade de se trabalhar diretamente na superfície real. Essas informações podem ter caráter quantitativo, que podem envolver cálculo de áreas, volumes, etc., ou qualitativo, como por exemplo, a visualização da superfície através de uma projeção geométrica planar do modelo.

Os dados do MNT (MDT) podem ainda ser combinados com imagens de satélite, cartas pontuais e dados não gráficos na forma tabular, através de Sistemas de Informações Geográficas.

Neste trabalho, o MDT foi utilizado com objetivo qualitativo, ou seja, ilustrar a visualização da superfície dos dados geofísicos, compará-los com o mapa geológico e posicionar o observador em posições mais adequadas (privilegiadas).

- 11.10 Técnicas alternativas

Conradsen e Nilsson (1984) através de técnicas de IHS integraram dados LANDSAT-TM, (banda 7), aeromagnetometria e teores de ferro contido em sedimentos de corrente visando a exploração mineral.

Harris e Murray (1990) através de técnicas de IHS elaboraram fusão de imagens de radar, LANDSAT-TM e dados geofísicos, para propiciar análises qualitativas e quantitativas.

Chavez, et al. (1991) executaram um trabalho em que compararam três diferentes métodos para a fusão de imagens que apresentaram diferentes resoluções espaciais e espectrais (LANDSAT-TM e SPOT pancromático): IHS, Principais Componentes e Filtro Passa Alta. O objetivo principal, foi avaliar quais das três técnicas seria a melhor para reunir em uma só imagem as características espectrais de um sensor (LANDSAT-TM) com as espaciais (SPOT pancromático) e que sofresse o mínimo de distorção. Optaram pelo filtro passa alta.

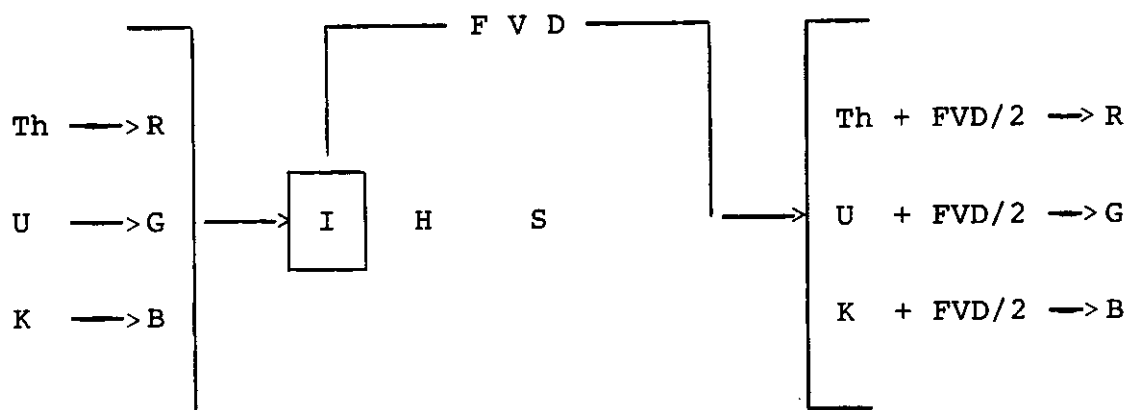
Crósta (1991) elaborou fusão de imagens através de dados LANDSAT-TM através da 4^a, 5^a e 6^a componentes principais multiplicados pela 1^a componente principal dos dados geoquímicos de solo para Ni e Cu, obtendo três imagens, compondo uma imagem colorida. O objetivo principal foi integrar informações de alta resolução (geoquímica de solo) com dados de satélite (LANDSAT-TM) na exploração mineral, chegando a resultados bastante satisfatórios.

Fernandez - Alonso e Tahon (1991) combinaram dados aerogeofísicos (gamaespectrometria) com imagem LANDSAT-TM através de técnica de adição e composição colorida (RBG) e IHS. O objetivo principal foi combinar a com-

posição colorida Th, U, K com a banda 5 LANDSAT-TM, realçando detalhes topográficos e dados estruturais.

Considerando a semelhança entre o trabalho elaborado por Fernandez - Alonso e Tahon (1991) e esta pesquisa, ou seja, discriminação litológica e estrutural para o mapeamento geológico regional, além da aplicação de todas as técnicas descritas anteriormente, optou-se pela complementação do trabalho por esta metodologia que foi aplicada sob três aspectos:

- 1) Fernandez - Alonso, e Tahon, (1991) tomaram os canais Th, U e K e fizeram uma composição colorida respectivamente vermelha, verde e azul. Em seguida para a obtenção de "relevo sombreado" aplicaram o filtro direcional (FVD) técnica essa de Mc. Garth et al. (1976), Lee et al. (1990), in: Fernandez - Alonso e Tahon, (1991). Segundo os próprios autores (Fernandez - Alonso e Tahon, 1991) embora não seja estritamente do ponto de vista matemático equivalente à iluminação artificial verdadeira produz um resultado similar de pseudo-iluminação. Posteriormente com a transformação RGB para IHS a maioria da informação foi colocada no canal da Intensidade (I). Aplicando-se o filtro direcional (FVD) para este canal realçou a variação da intensidade do "relevo sombreado". Após isso adicionou-se o arquivo filtrado dividido por dois (FVD/2) com os dados radiométricos originais, constituindo uma composição RGB, vide abaixo:



A técnica baseia-se no pressuposto de que a informação estrutural contida nos dados aerogamaespectrométricos é expressa por variações locais, às vezes abruptas, no sinal radiométrico, correspondendo a mudança locais na composição química do substrato geológico (Fernandez - Alonso e Tahon, 1991).

- 2) Seguindo o mesmo trabalho apresentado por Fernandez - Alonso e Tahon (1991) e utilizando-se de apenas uma informação (Contagem Total - CT) fez-se uma composição colorida através de imagem submetida a filtro direcional.

Através dos dados primários em tons de cinza de contagem total foi aplicado o filtro direcional, realçando as estruturas noroeste ("trend" geral da região trabalhada). Posteriormente foi gerada uma imagem artificial (sintética) cujo DN (Digital Number) com valor de 128 (50% de 256 tons de cinza). Em seguida, através de aplicação de IHS, foi posicionado respectivamente CT (FVD), CT e DN - 128, vide abaixo:

CT (FVD) - Contag. total filtrada ==> I
 CT - Contag. total original ==> H
 DN - 128 - Imagem sintética gerada ==> S

3) Fernandez - Alonso e Tahon (1991) tomaram a composição colorida Th, U e K e combinaram com a banda 5, LANDSAT-TM visando o realce estrutural e a percepção topográfica. Esta banda foi selecionada, porque de acordo com os histogramas de todas as bandas, a mesma é que teoricamente detinha o maior número de informações. Dessa maneira a fusão dos dados gamaespectrométricos e a banda 5 (LANDSAT-TM) foi elaborada adicionando-se metade do valor "DN" (Digital Number) da banda 5 para cada canal radiométrico da seguinte maneira:

(TM banda 5 / 2) + Th --> R

(TM banda 5 / 2) + U --> G

(TM banda 5 / 2) + K --> B

- 12.0 Avaliação de resultados

Após a elaboração de cada técnica utilizada para realçar os aspectos litológico e estruturais fez-se uma avaliação da qualidade dos dados obtidos, que em caso negativo repetiu-se as técnicas empregadas e se positivo deu-se continuidade ao processo.

- 13.0 Integração de dados (combinação de imagem)

A integração pode ser entendida como o processo de combinar diferentes tipos de dados espacialmente distribuídos, e de prepará-los para armazenamento, recuperação, análise e representação. Através de sistema computacional para aplicação gráfica torna-se possível a automação de tarefas realizadas manualmente e facilitada a realização de análises complexas, pela possibilidade de integração de dados de diversas fontes, através da criação de um banco de dados geocodificados.

Dessa maneira, após a análise e interpretação dos dados individualmente, foi realizado nessa pesquisa a integração em uma única imagem dos diversos dados espaciais, combinando imagens de satélite (LANDSAT - TM) com os dados geofísicos, através de técnicas de processamento de imagem (IHS, adição, composição colorida).

- 14.0 Análise de agrupamento - ISODATA (classificação digital)

A classificação digital pode ser entendida como o processo de posicionar um determinado indivíduo ("pixel") dentro de uma das possíveis classes ou categorias. A classificação é dita **supervisionada** quando essas classes ou categorias já estão previamente determinadas, e **não supervisionada** quando as classes são determinadas a partir do próprio conjunto de dados.

Assim, as técnicas de classificação digital viabilizam o processo de decisão para que o sistema computacional possa atribuir um dado conjunto de pontos de imagem (pixels) a uma determinada classe, tornando o processo de mapeamento ou reconhecimento de características analisadas (por exemplo, litologia) menos subjetivo, o que aumenta o potencial de repetição em situações sequenciais.

As técnicas de classificação podem ser divididas em dois grupos: unidimensional, quando é aplicado apenas a uma banda espectral; e multiespectral, quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em várias bandas espectrais.

O fatiamento (slicing) representa a técnica mais simples de classificação unidimensional. A partir de uma faixa espectral, faz-se a divisão do intervalo total de níveis de cinza, obtendo-se um certo número de classes.

Aos "pixels" pertencentes a um determinado intervalo de nível de cinza atribui-se uma cor ou símbolo que corresponderá a uma dada classe temática.

Assim, existem várias possibilidades de se estabelecer os critérios de determinação dos intervalos de níveis de cinza: **constantes**, quando é tomado o maior e o menor nível de cinza da imagem e dividido o intervalo em partes iguais; **equidistribuição**, quando as classes são estabelecidas com o mesmo número de pontos (constante); **análise do histograma e de sua forma**, quando se baseia em conhecimento sobre a resposta espectral de alvos naturais; **análise de agrupamento (clustering)**, que através de estatística permite a separação e o agrupamento de um conjunto de dados segundo sub-conjuntos ou grupos com características similares, homogêneas.

As técnicas de classificação multiespectral podem ser agrupadas em três grandes conjuntos: **supervisionada**, quando as classes são separadas a partir de comparações com padrões pré-selecionados, estabelecidas pelo analista em função do conhecimento prévios das respostas espectrais na área selecionada. Ou seja, o analista dispondo de informações sobre a cena indica as "amostras de treinamento" (preocupando-se com a homogeneidade das amostras) que vão representar o comportamento médio das classes que automaticamente serão mapeados; **não supervisionada**, nessa classificação os "pixels" nas áreas de treinamento são submetidos a algoritmos de agrupamento ("clustering") que, considerando sua distribuição em um espaço de N dimensões (bandas), determina o agrupamento natural dos dados, constituindo grupos que representam a distribuição de probabilidade. O analista tem pouco controle sobre a separação entre as classes, portanto não se preocupa com a homogeneidade das amostras, sendo maior a certeza de que to-

das as classes estarão representadas; **híbridos**, quando o analista primeiramente executa uma classificação não supervisionada que fornece subsídios para a seleção de amostras de treinamento para elaborar uma classificação supervisionada.

Este tipo de técnica (classificação digital), às vezes bem sucedida em agricultura, uso e ocupação da terra e estudos ambientais, apresenta ainda limitações e pouco uso em geologia e pesquisa mineral, quando se utiliza apenas a imagem de satélite (Siegal e Abrams, 1976). As razões incluem uma somatória de fatores, tais como: as rochas nem sempre estão aflorantes e quando expostas estão na maior parte alteradas; o relevo causa sombreamento, dificultando a caracterização espectral de rochas; as imagens registram informações de natureza superficial, as quais incluem a influência da vegetação, do solo, da atividade humana, que mascaram variações nas repostas espectrais causadas pela litologia; os métodos de classificação automática até o momento só levam em conta um dos fatores da foto análise, isto é, a tonalidade, deixando a exclusividade do estudo das variações texturais ao âmbito da análise visual (fotointérprete).

Howard et al. (1978) realizaram a classificação digital através de análise de agrupamento em dados aerogamaespectrométricos (contagem total e Potássio) e encontraram boa correlação geológica entre a classificação e os limites litológicos. Vasconcellos et al. (1990) aplicaram o algoritmo ISODATA (análise de agrupamento) em uma área compreendendo a folha Piratini (RS), com dados oriundos do projeto aerogeofísico Camaquã e obtiveram resultados animadores, motivando a sua aplicação sistemática em trabalhos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.

Howard et al. (1978) em uma de suas conclusões afirmam. "A automação dessa técnica (análise de agrupamento) permite uma ampla utilização dos dados gamaespectrométricos não só para trabalhos de detalhes, mas também para integrar em pequena escala vários dados originados de ondas eletromagnéticas, como radar, LANDSAT e termografia, apresentando um retrato mais complexo da superfície investigada".

Baseando-se nesses autores acima citados (Howard et al., 1978) e considerando que a classificação digital para obtenção de dados geológicos foi utilizada isoladamente sobre imagens de satélite (não bem sucedida) e dados geofísicos (boa correlação geológica), este trabalho além das interpretações dos dados analisados individualmente e combinados, testou a aplicabilidade da classificação digital através da análise de agrupamento (ISODATA) sobre as imagens integradas (geofísica e LANDSAT - TM), técnica essa que será descrita em seguida.

Dentre os vários métodos de classificação digital por análise de agrupamentos tem-se o algoritmo ISODATA desenvolvido por Hall e Khanna (1977) que através de interações sucessivas tentam atingir a uniformidade possível, segundo critérios estipulados.

Os conceitos matemáticos do algoritmo ISODATA necessitam apenas do cálculo de uma tendência central, um coeficiente da variação e a Distância Euclidiana entre o centro de gravidade das classes dos dados.

Por exemplo, toma-se um conjunto de dados definidos por duas variáveis, como Contagem Total e banda 5 (LANDSAT - TM), formando um espaço bidimensional, sendo que cada um das variáveis encontra-se posicionada em um dos eixos ortogonais. O objetivo é determinar, i , pares ordenados

que indiquem o centro das classes procuradas. Assim o algoritmo inicialmente considera que todas as observações pertencem a uma classe única, calculando-se as médias e desvios padrão das variáveis que determinam o marco decisório para o seccionamento do conjunto, quando comparado com um parâmetro denominado dispersão de seccionamento, que nada mais é que a média ponderada dos desvios das novas classes geradas a cada interação (Howard et al., 1978)

Partindo-se do princípio que a classe gerada é muito grande, o conjunto é subdividido em mais de uma nuvem, utilizando-se como candidata à variável prioritária a que possui maior desvio padrão. Dessa maneira, os valores que anteriormente foram calculados como abaixo da média constituirão um novo sub-grupo e os restantes outro. Ou seja, a dimensão que apresentar maior desvio padrão é aquela que exibe menor homogeneidade, portanto aparece como candidata natural ao seccionamento.

As duas novas classes surgidas terão todos os seus parâmetros recalculados, observando-se que, a cada nova partição, os desvios padrões das classes e, consequentemente, a dispersão total tendem a diminuir.

Teoricamente sendo este procedimento indefinidamente aplicado conduziria a solução óbvia de que cada ponto ("pixel") determinaria uma classe, portanto, sendo necessário restringir a dicotomia até um certo número de subconjuntos. Assim de acordo com o número de classes que se espera encontrar nos dados tratados restringe-se o processo.

Comparando a dispersão total com a dispersão de seccionamento, o algoritmo tentará agrupar as observações, convergindo para o mesmo valor.

Portanto o número de classes, fornecidas inicialmente chamados de "seeds" (sementes), serve apenas para inicializar o processo, podendo eventualmente o número de classes final ser diferente.

- 15.0 Avaliação de resultados

Nesta etapa avaliou-se a qualidade dos dados obtidos, que em caso negativo repetiu-se a operação anteriormente descrita, e se positivo seguiu-se a seqüência estabelecida.

- 16.0 Saída de dados e relatório final

Existem várias possibilidades para se obter a saída dos dados processados.

Os plotters são utilizados para reproduzir em papel imagens, gráficos e podem se de vários tipos: pen plotter, plotter eletrostático, plotter laser, fotoplotter, etc.

Os monitores de vídeo tem a finalidade de mostrar uma imagem na tela, os quais exibem os dados tanto de maneira alfanumérica (caracteres) quanto gráfica (pictórica). A utilização básica deste dispositivo em sistemas de geoprocessamento é gráfica. O usuário utiliza a tela para visualizações e manipulação e obtenção de fotos de cena. Dessa maneira os resultados obtidos, gravados em fitas ou disquetes, podem ser documentados através de uma câmara fotográfica acoplada ao sistema (por exemplo REMBRANDT) ou ainda através de qualquer câmara fotográfica, posicionada sobre tripé que registra diretamente a própria tela.

O equipamento ideal para registrar a saída de dados dos resultados deste trabalho são os plotter a laser ou eletrostático, já que como poderá ser visto no próximo capítulo (resultados) basicamente obtém-se imagens no formato "raster" que exigem alta resolução (pontos/polegadas) para serem impressas.

Como não se dispunha desses plotters em nenhum dos equipamentos utilizados, os resultados obtidos foram gravados em fitas e foram documentados através de uma câmara fotográfica posicionada sobre tripé.

Posteriormente à obtenção desses resultados, foi elaborado esta dissertação.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os objetivos, produtos, técnicas e equipamentos utilizados neste trabalho, obteve-se resultados relativos às seguintes etapas:

- a) Interpretação da imagem LANDSAT -TM;
- b) Interpretação de dados geofísicos através de técnicas de processamento de imagem (magnetometria, gravimetria e gamaespectrometria);
- c) Interpretação de dados integrados, LANDSAT-TM e geofísica (fusão de imagens);
- d) Aplicação de análise de agrupamento (isodata).

4.1 - INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM LANDSAT - TM

A figura 4.1 é uma fotografia da imagem de satélite (LANDSAT-TM), banda 4 originalmente em papel (P/B) e na escala 1:250.000.

A figura 4.2 ilustra um detalhe da imagem LANDSAT-TM, banda 4, corrigida geométricamente e geocodificada que abrange a área estudada (folha Pontes e Lacerda).

Sobre a imagem 1:250.000 foram extraídos as feições lineares de relevo e drenagem (foliações/acamamento ou zonas de concentração de fraturas) e alinhamentos de relevo e drenagem (falhamentos ou descontinuidades geológicas) que pode ser observado na figura 4.3.



Fig. 4.1 - Imagem LANDSAT-TM, banda 4, que foi utilizada para o posicionamento tectônico das rochas que abrangem a Folha Pontes e Lacerda (delimitada).

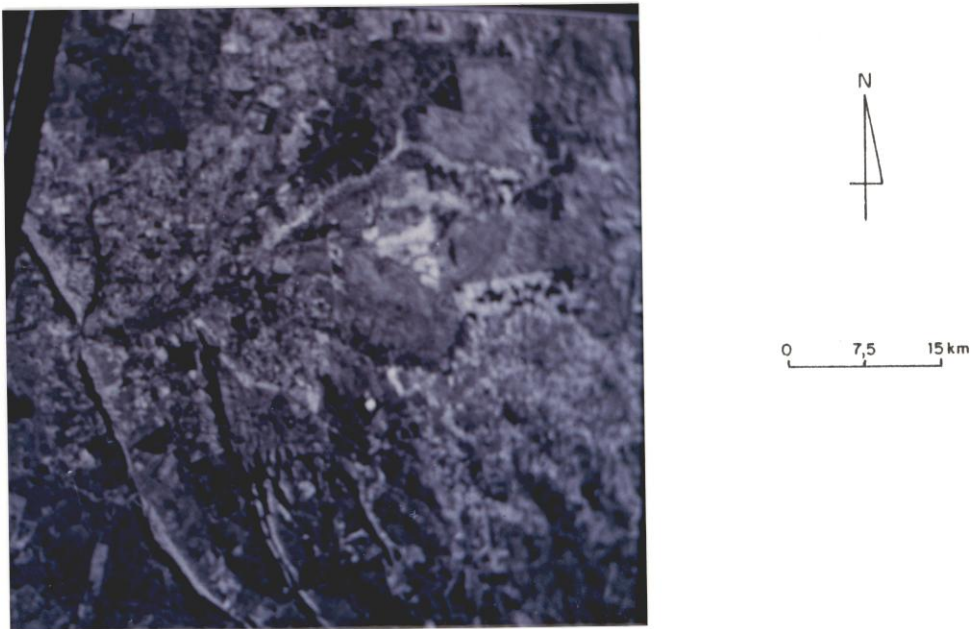


Fig. 4.2 - Detalhe da imagem LANDSAT-TM, banda 4, corrigida geomêtricamente e geocodificada, abrangendo a Folha Pontes e Lacerda.

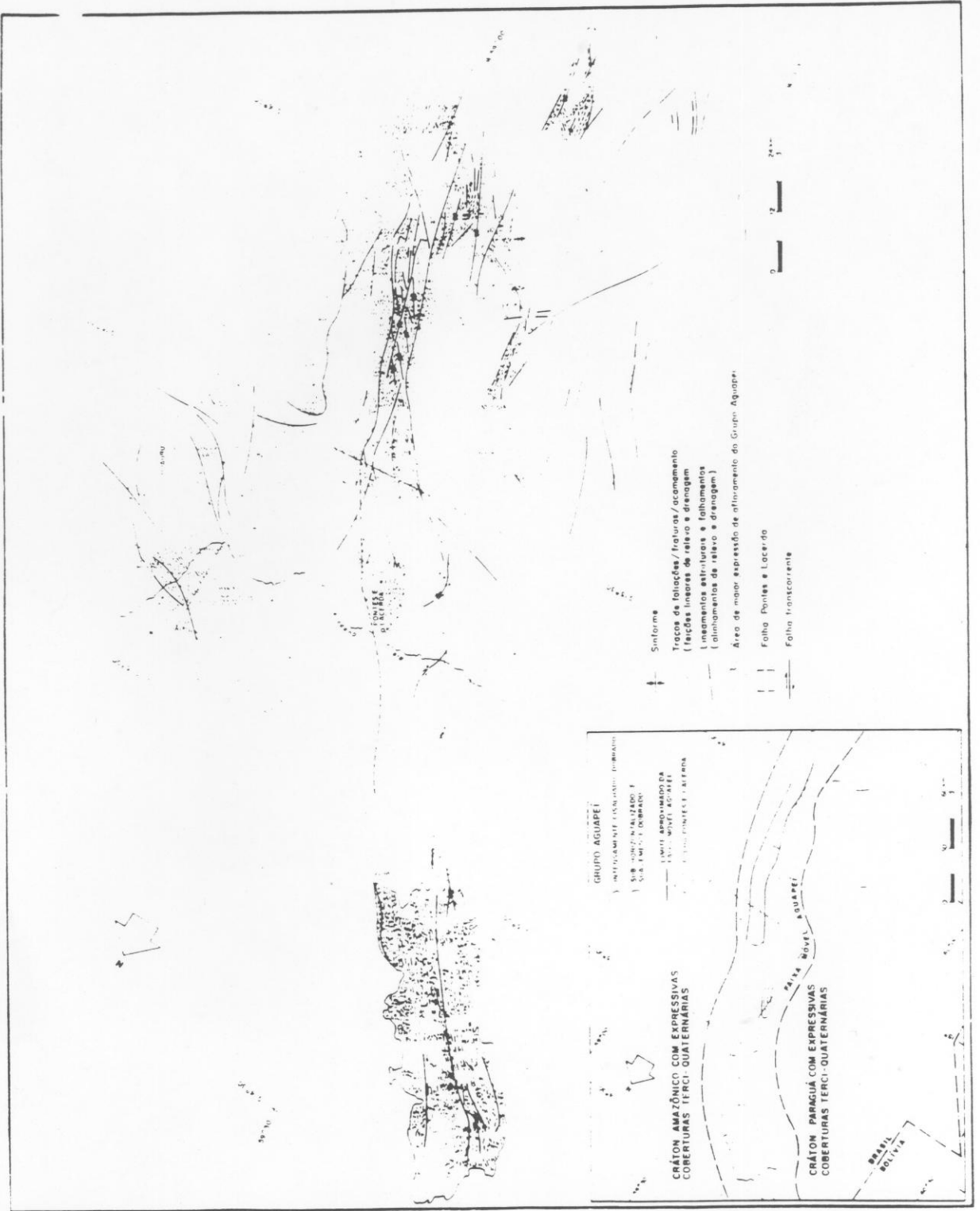


Fig. 4.3 - Mapa de feições estruturais

Baseadas nos elementos ou associação de elementos texturais de relevo e drenagem e trabalho de campo foi possível elaborar a interpretação das estruturas e deformações da área de estudo. Desse modo foi possível caracterizar uma faixa de cisalhamento (dextral) de alto ângulo, com direção N20-40W e estabelecer seu limite aproximado (Faixa Móvel Aguapeí), vide figura 4.3.

Pode-se verificar, através da análise de imagem de satélite e trabalho de campo, que a área foi submetida a evento cisalhante provocando em sua estruturação deformações com intensidade (grau de deformação) e alcance (posicionamento geográfico) bastante diferenciados.

Na porção central da imagem analisada, foi caracterizado a presença de faixas de cisalhamento transcorrente de alto ângulo, caráter dextral e direção norte-noroeste, onde se encontra posicionado parte do Grupo Aguapeí Formação Fortuna, Faixa Móvel Sunsas - Aguapeí (Litherland et al., 1986; Menezes et al., 1991), cujo limite aproximado desta faixa encontra-se marcado no detalhe da figura 4.3.

Nesta mesma região, onde se encontra a zona de cisalhamento de alto ângulo na folha Pontes e Lacerda, pode-se verificar uma tendência de vergência de suas estruturas para sudoeste, compondo estruturas dobradas. Isto faria supor que houve um transporte tectônico de nordeste para sudoeste que se manifestou em regiões de transcorrência na área.

Na porção sul dessa faixa, abaixo da folha estudada, pôde-se verificar o aspecto anastomosado sugerindo a presença do estiramento das foliações miloníticas, exibindo planos estruturais paralelizados e subverticalizados, apresentando caráter dextral. Já na porção

em que se enquadra a folha Pontes e Lacerda verificou-se sua inflexão pouco mais para noroeste, desaparecendo o caráter anastomosado e sugerindo feições que exibem características ligadas aos dobramentos, notavelmente preservados na Formação Fortuna. Tais dobramento devem estar relacionados com a fase final do cisalhamento.

Na porção noroeste desta faixa observou-se também faixas de cisalhamento delimitando zonas de "strain" (tensão) com maior expressão superficial, embora os dobramentos desenvolvidos sejam visualmente menos marcantes que aqueles reproduzidos na folha Pontes e Lacerda.

Na porção sul-sudoeste, fora desta faixa, (Cráton Paraguá) vide figura 4.3, pode-se verificar a presença do Grupo Aguapeí, que se encontra sub-horizontado em que aparentemente praticamente não foi afetado, pelo intenso grau de cisalhamento que atingiu a faixa acima citada, ou o foi com pequena intensidade.

Esta faixa de cisalhamento de alto ângulo foi caracterizada no campo rúptil - dúctil com o julgamento do estilo e grau de deformação imposta às rochas.

Para Litherland et al. (1986) esse cinturão delimitaria o Cráton Paraguá da Porção sul do Cráton Amazônico (Brasil), vide figura 4.3.

A leste dessa faixa de cisalhamento de alto ângulo (Cráton Amazônico), verificou-se que essa região também foi afetada por evento cisalhante, onde se observou que as foliações miloníticas de maneira geral possuem características de ângulo inferior (baixo ângulo) às apresentadas na faixa descrita anteriormente (Faixa Móvel Aguapeí). Ou seja, a própria direção, embora predominantemente N30-40W, exhibe variações até para E - W, evidenciando maior

irregularidade também no mergulho destes planos. Ainda nessa mesma região foi possível destacar feições caracterizadas como estruturas circulares em forma de domos que se destacam principalmente na área aflorante do Granito - Gnaiss Santa Helena e a sul deste corpo. Podem indicar o caráter intrusivo desse granito, cujas relações de contato estaria mascarada pelo cisalhamento de baixo ângulo. Esse cisalhamento que afetou esta parte da área exhibe características de natureza dúctil.

Na área estudada, a nível da imagem analisada, embora se tenha duas regiões bastante distintas com relação ao ângulo de mergulho das foliações provocadas por cisalhamento e características dúctil/rúptil diferenciadas, pode-se explicar sua extruturação através de apenas um evento cisalhante progressivo e com intensidade e alcance diferenciado geograficamente e a nível de profundidade (características dúctil e rúptil de acordo com o posicionamento do nível de profundidade estrutural). Porém Menezes et al. (1991) relacionaram a presença de dois eventos distintos de deformação, não progressivo, um de caráter regional, dúctil de baixo ângulo que afetariam as rochas anteriores ao Granito São Domingos e outro posterior, constituindo a Faixa Móvel Aguapeí, de alto ângulo e caráter rúptil-dúctil. Tal afirmação é baseada em análise estrutural de campo, transporte tectônico e reforçada pelo estudo de fácies metamórficas dos litotipos da região.

4.2 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM

4.2.1 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS AEROMAGNÉTICOS

A interpretação aeromagnética qualitativa da área baseou-se nos dados de campo total (figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7) identificando unidades magnéticas diferenciadas e lineamentos, procurando correlacionar dados magnetométricos com a geologia.

Neste trabalho a delimitação das unidades magnéticas foi feita baseando-se na variação de "relevo" magnético (rugosidade), nas mudanças de ruptura de declive do "relevo" magnético e intensidade magnética (níveis de cinza). Portanto as "inflexões" negativas constituem os contatos entre áreas com diferentes contrastes magnéticos. As descontinuidades ou "inflexões" bruscas dos dados magnéticos constituem os lineamentos. Maiores informações sobre interpretações de dados aeromagnéticos podem ser encontrados em Vasconcellos et al. (1990).

A figura 2.6 mostra o mapa geológico utilizado como padrão de comparação na área. Em função de processamentos aplicados aos dados aeromagnéticos (figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7) observa-se que dependendo da imagem gerada, alguns parâmetros geológicos são correlacionados com dados aeromagnéticos, outros não.

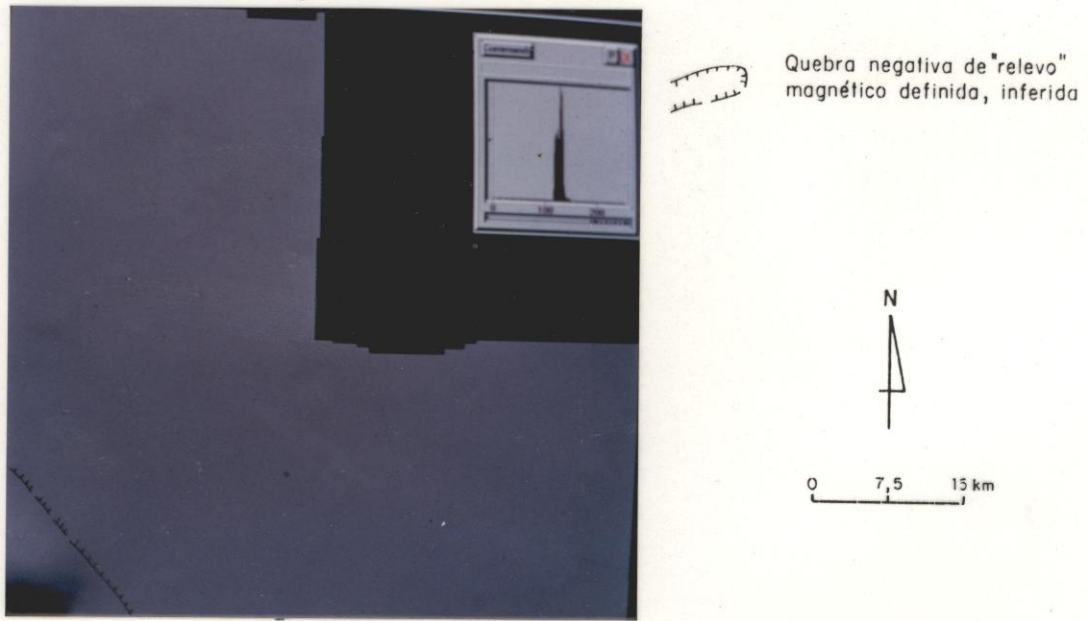


Fig. 4.4 - Imagem gerada em tons de cinza, obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectivo mapa de interpretação.



Fig. 4.5 - Imagem colorida obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectivo mapa de interpretação.

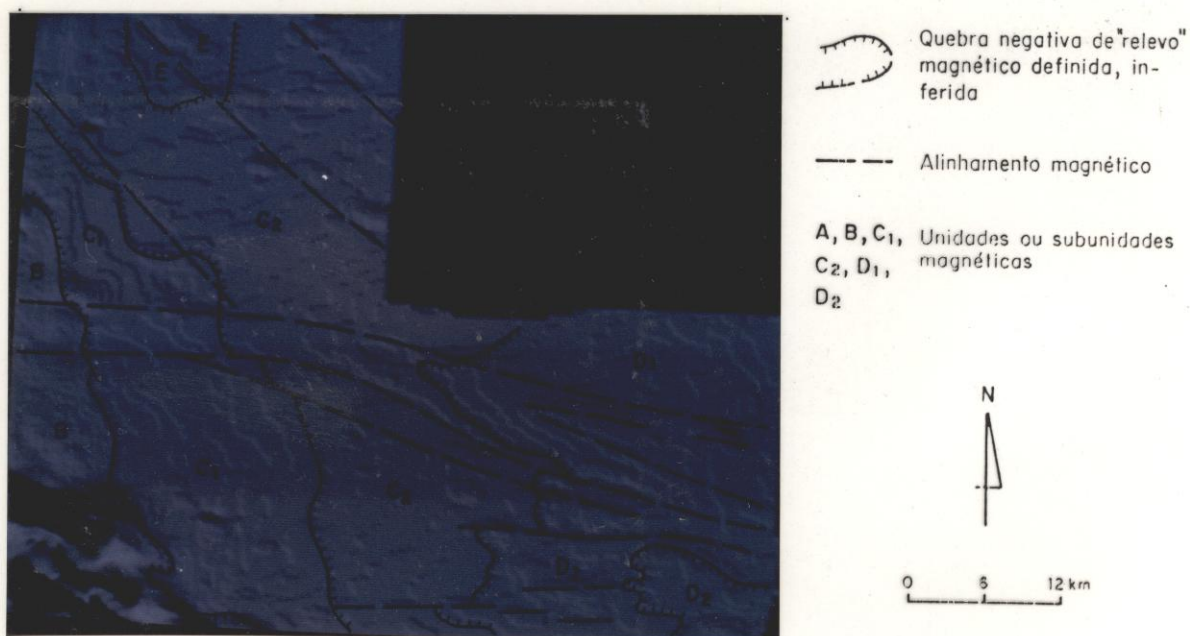


Fig. 4.6 - Imagem do relevo sombreado gerada em níveis de cinza, obtida através de dados aeromagnéticos (campo total) e respectiva interpretação.

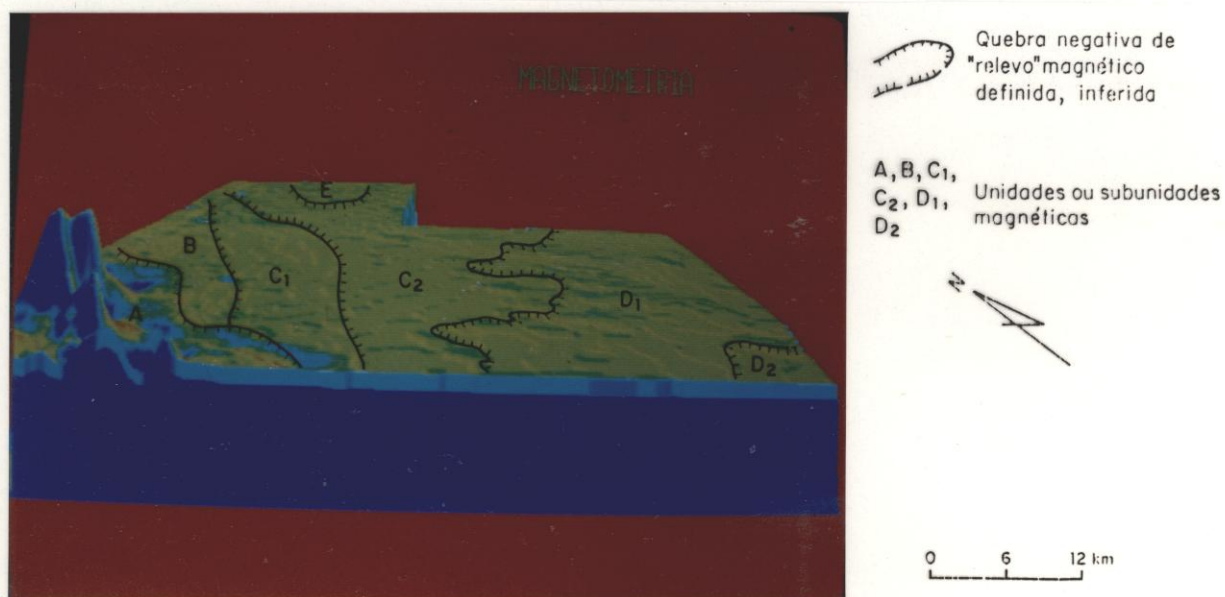


Fig. 4.7 - Imagem gerada através de MDT (colorida) a partir de relevo sombreado e respectiva interpretação.

As figuras 4.4 e 4.5 mostram que à excessão de um grande dipolo positivo e negativo posicionado no extremo sudoeste da área, a aeromagnetometria é extremamente monótona exibindo uma graduação muito suave de este (valores mais baixos-preto) para oeste (valores mais elevados-branco). Observa-se que a imagem gerada em tons de cinza (figura 4.4) praticamente só reflete a grande anomalia verificada no quadrante sudoeste da área, ao passo que a imagem colorida (figura 4.5), já é possível perceber com maior clareza, a graduação tonal de este para oeste. Ou seja a anomalia aeromagnética encontra-se sobre os granulitos e anfibolitos pertencentes ao Complexo Granulítico - Anfibolítico de Santa Bárbara e os valores menores (porção sudoeste da área) representam os biotita - granitos do Granito-Gnaiss Santa Helena.

Nesta mesma figura 4.5, evidencia-se com bastante nitidez (extremo sudoeste da área) a feição magnética mais proeminente da área, constituindo um dipolo, de eixo E-W, com máximo de intensidade de valor magnético a sul (vermelho) e o mínimo de intensidade de valor magnético a norte (azul), cuja disposição dos polos caracteriza um dipolo com polaridade invertida, indicando que as rochas responsáveis por essa anomalia magnética foram formadas quando o polo magnético encontrava-se em posição diferente do atual.

Nas figuras 4.6 e 4.7, foram geradas imagens de relevo sombreado (pseudo-iluminação posicionada a N45E, com ângulo de elevação 45º a partir do eixo X, Y) objetivando realçar o "trend" regional da área (N40W). Pode-se verificar que além da anomalia encontrada no extremo sudoeste da área, torna-se muito mais evidente a graduação dos valores magnéticos de leste para oeste. Somando-se a isso, através desse processamento de imagem, foi acrescentado a textura de "relevo magnético", onde foi possível identifi-

car cinco unidades e duas sub-unidades magnéticas, além de possíveis alinhamentos magnéticos.

A Unidade A caracteriza-se por anomalias de elevada intensidade, cujo "relevo magnético" encontra-se muito movimentado, constituindo-se no domínio magnético mais expressivo, contrastando das demais características magnéticas no restante da área.

Esta unidade integra um "trend" noroeste-sudeste de anomalias aeromagnéticas de dimensões regionais, que vai da Serra Aguapeí à Serra Ricardo Franco (noroeste da área) atingindo cerca de 300 km (observado no Projeto Aerogeofísico Cabeceiras do Rio Guaporé), sendo que os sedimentos Cenozóicos da Formação Guaporé recobrem as litologias causadoras das anomalias (figura 4.8).

A Unidade B foi caracterizada segundo uma faixa de direção noroeste, ocupando a porção oeste da área. A delimitação desta unidade ocorreu em função do "relevo" magnético ser relativamente movimentado. Com exceção da unidade A, representa valores mais elevados da área, cuja intensidade magnética aumenta rapidamente em pequeno espaço, embora não se destaque proeminentemente do padrão do restante da região. Pode indicar o limite dos metassedimentos do Grupo Aguapeí (Unidade C) com litotipos pouco mais magnéticos. Na superfície a unidade B encontra-se coberto pelos sedimentos da formação Guaporé.

A Unidade C subdividida em C1 e C2 exibem "relêvo" magnético suave.

Foi inferida em duas subunidades C1 e C2 porque C1 além de apresentar valores de intensidade magnética pouco mais elevados, a textura das formas de relevo magnético sombreado dessa sub-unidade (C1) exhibe continuidade

para noroeste, ao passo que a subunidade C2 (valores de intensidade magnética mais baixos) possui formas mais "flexionadas" não exibindo direção preferencial do "relevo" magnético sombreado. As subunidades C1 e C2 correlacionam-se aos metassedimentos da faixa Aguapeí (C1) e ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda (C2). Ambas as sequências ostentam padrões magnéticos a nível textural e tons de cinza bastante semelhante, dificultando sobremaneira o posicionamento do limite litológico.

A Unidade D ocupa a maior parte do quadrante sudeste, constituindo-se dos valores mais baixos observados na área, encontra-se bastante perturbada pelos alinhamentos magnéticos e também foi subdividida em D1 e D2 (menores valores). Está diretamente correlacionável ao Granito-Gnaiss Santa Helena. O padrão de textura ("relevo" magnético) exhibe feições texturais bastante proeminentes, caracterizando "inflexões" bruscas dos dados magnéticos constituindo os lineamentos magnéticos alinhados segundo a direção WNW - ESE. Tal constatação pode ser verificada em superfície, através da análise das feições de alinhamentos de relevo e drenagem obtidos através da imagem LANDSAT-TM.

Os lineamentos magnéticos podem caracterizar grandes transcorrências implementadas após o evento de cisalhamento regional de baixo ângulo de caráter dúctil. Este fato também encontra concordância com a análise estrutural elaborada por Menezes et al. (1991) em que caracterizaram o evento de cisalhamento regional, de caráter dúctil, de baixo ângulo, cortado por falhas transcorrentes basicamente ESE- WNW.

A existência de forma diferenciada de "inflexão" de "relevo" magnético, na região em que se posicionam o denominado Granito-Gnaiss Santa Helena e os mais baixos valores de intensidade magnética indicam zonas mag-

néticamente diferenciadas, sendo por isso diferenciada como unidade D2.

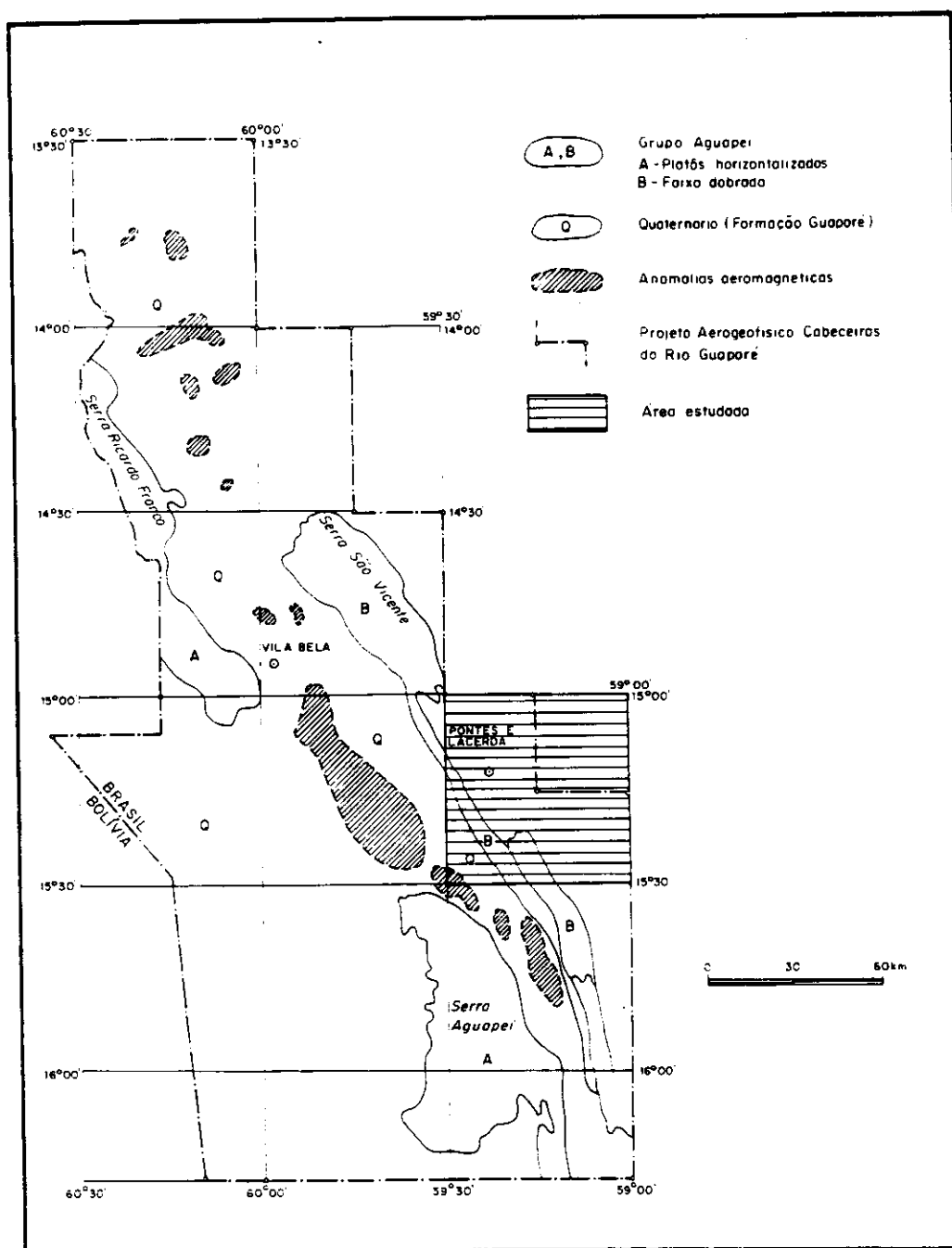


Fig. 4.8 - Distribuição geográfica dos limites * do Grupo Aguapeí e sua correlação às anomalias aeromagnéticas **.

* Extraídas da imagem LANDSAT - TM
 ** Extraídas da aeromagnetometria

No quadrante noroeste, através de formas semi-circulares foi delimitada a **unidade E**, que aparentemente indica a presença de algum corpo circular com maior intensidade magnética, sob os metassedimentos do Grupo Aguapeí e/ou Complexo Metamórfico Pontes e Lacerda.

Nas porções centro-sudeste da área foi evidenciada uma faixa de direção WNW - ESE que exhibe padrão textural de "inflexões" de relevo magnético que permite caracterizar lineamentos magnéticos presentes predominantemente em uma zona específica. Isto poderia explicar a movimentação de possíveis falhas WNW, citada anteriormente, e a presença de uma zona de falhas em que se colocaria lado a lado metassedimentos do Grupo Aguapeí (1.140 M.a) e os litotipos do Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda (1.350Ma). Portanto essa faixa mapeada por Menezes et al. (1991) como sendo pertencente apenas ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda, pode conter metassedimentos do Grupo Aguapeí, como observados em alguns pontos no campo, através de zonas de contato entre os dois litotipos.

Salienta-se que no quadrante noroeste os lineamentos adquirem o direcionamento mais para NNW e não percebe-se a mesma intensidade verificada no quadrante sudeste.

A figura 4.7, que é obtida através da pseudo-iluminação (figura 4.6) ilustra em três dimensões, parte do que foi descrito anteriormente.

4.2.2 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

Com dados gravimétricos, anomalia "Bouguer", (figura 4.9) foram gerados através de processamento de imagens as figuras 4.10, 4.11 e 4.12. Sobre as quais foi pos-

sível delimitar dois grandes domínios bastante diferenciados entre si. Também foi permitido a individualização de alguns sub-domínios dentro desses dois acima citados, além de anomalias "Bouguer" isoladas e zonas de "inflexão" gravimétrica.

A delimitação desses domínios e sub-domínios foram definidos basicamente em função da intensidade dos valores "Bouguer" obtidos (figura 4.9), formas de texturas da imagem gerada e lineamentos ou descontinuidades gravimétricas caracterizadas pelas quebras negativas de "relevo" ou pelas "inflexões" bruscas dos dados gravimétricos. Maiores informações sobre a interpretação dos dados gravimétricos podem ser encontrados em Vasconcellos et al. (1990).

Na figura 4.11 foi gerada uma imagem colorida, gradando do azul (valores baixo) para o vermelho (valores alto), com a aplicação do fatiamento (intervalo de 15 mGal) que proporcionou visualizar mais claramente a individualização de vários subdomínio (A1, A2, B1 e B2) dentro dos domínios maiores (A,B) que encontram-se ilustrados na figura 4.12.

O domínio A, posiciona-se a oeste do lineamento que define o limite principal (figura 4.9), sendo constituídos pelos sub-domínios A1 e A2 (figuras 4.11 e 4.12).

O padrão gravimétrico deste domínio, (A) é caracterizado predominantemente por formas de isovalores "Bouguer" linearmente alongadas e paralelas (figura 4.9). A intensidade dos valores obtidos crescem de nordeste para sudoeste, variando de -60 mGal a +5mGal, definindo altos gradientes gravimétricos posicionados na faixa A2 (figuras 4.11 e 4.12)

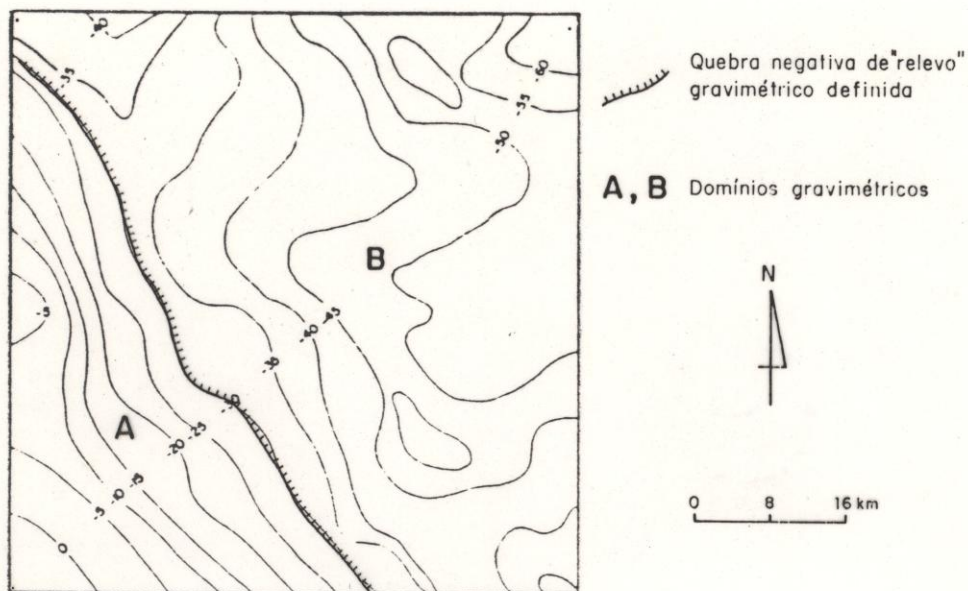


Fig. 4.9 - Mapa de contorno de dados gravimétricos Bouguer, Folha Pontes e Lacerda (tem-se os isovalores em mGal) e respectiva interpretação.

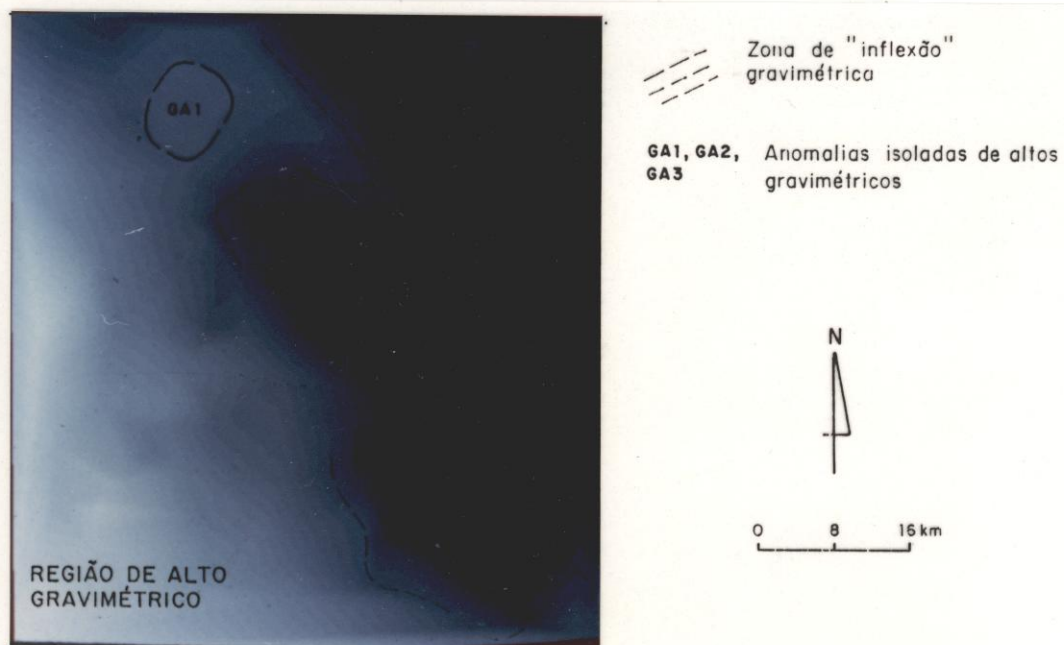


Fig. 4.10 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados gravimétricos (anomalia Bouguer) e respectiva interpretação.

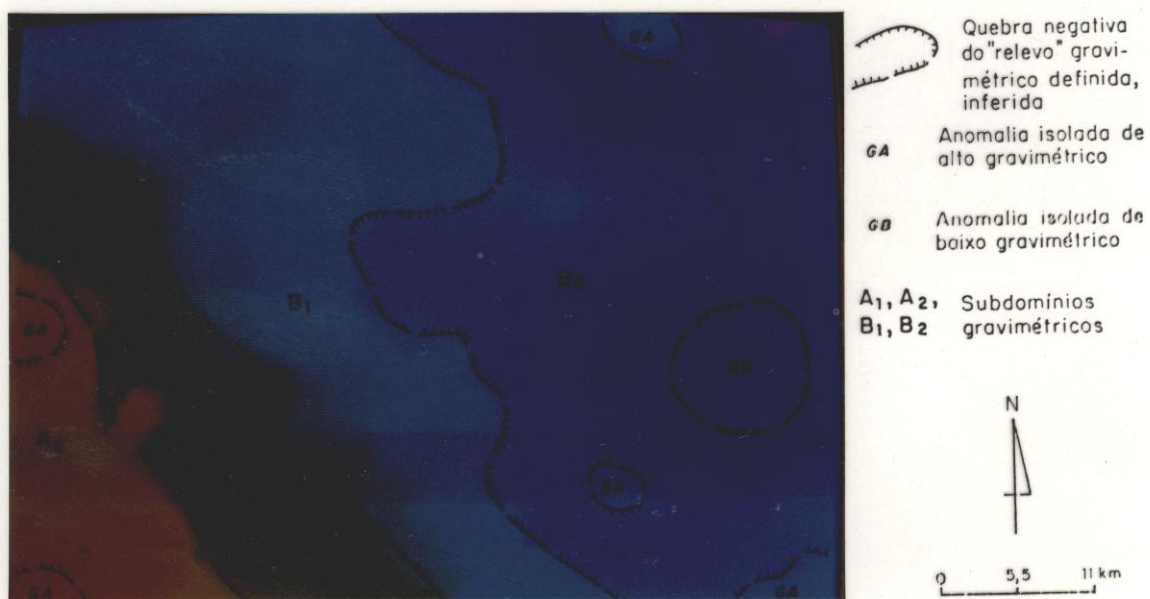


Fig. 4.11 - Imagem colorida obtida através de dados gravimétricos (anomalia Bouguer) com a aplicação de fatiamento (slice) de 15 mGal e respectiva interpretação.

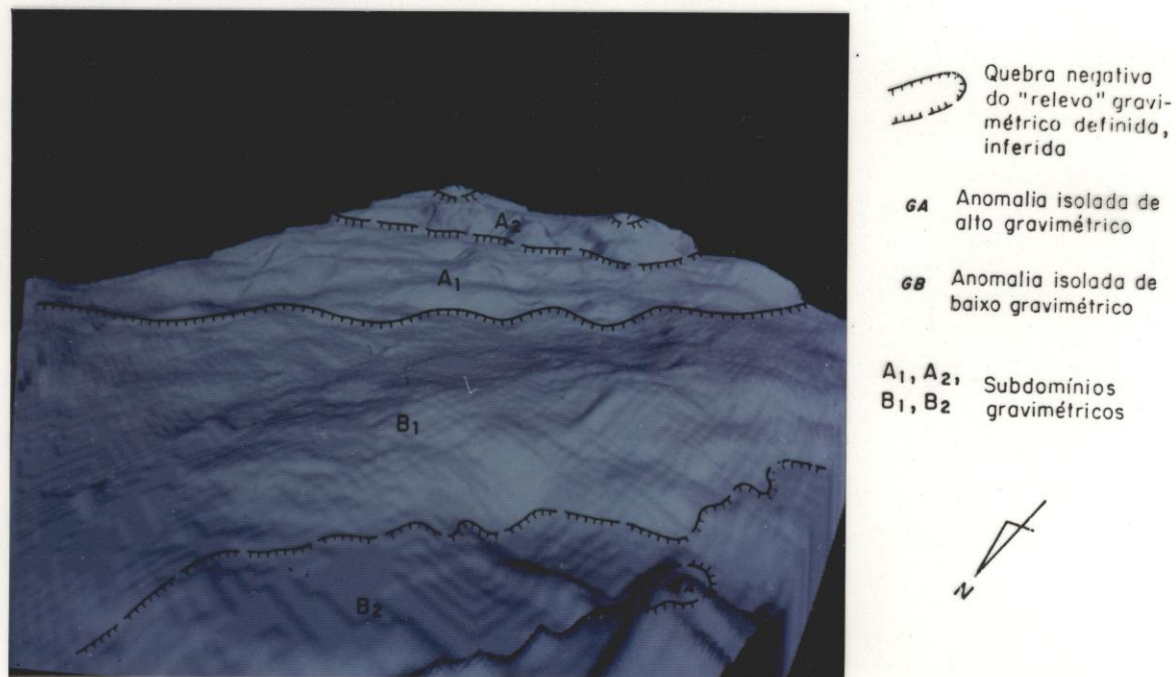


Fig. 4.12 - Imagem gerada através de MDT de dados gravimétricos, em níveis de cinza, a partir de relevo sombreado e respectiva interpretação.

Os sub-domínios A_1 e A_2 (figuras 4.11 e 4.12) são as principais feições gravimétricas do domínio A, diferenciando-se do restante da área (domínio B) pela intensidade de valores obtidos e formas de "relevo" gravimétrico. O limite principal entre as duas unidades (A e B) representa uma variação de intensidade "Bouguer" (densidade), cujos valores ("Bouguer") são significativamente maiores em direção a sudeste. Isto indica a presença de uma estrutura crustal mais densa e espessura crustal mais fina na região onde afloram os litotipos do Grupo Aguapeí e Formação Guaporé, posicionados a oeste do limite principal, subdomínios A_1 e A_2 (figuras 4.11 e 4.12).

No contexto do Domínio A encontram-se cartografadas predominantemente os litotipos pertencentes ao Grupo Aguapeí e Formação Guaporé e subordinadamente pelo Complexo Granulítico-Anfibolítico de Santa Bárbara e a Suite Intrusiva Rio do Cágado (figura 2.6). Verifica-se, portanto, que o limite principal que secciona os dois domínios (A e B) está evidenciado exatamente quando a zona de gradiente gravimétrico passa a incorporar valores "Bouguer" progressivamente maiores, aproximadamente maior que -30mGal (figura 4.9). Nessa região também tem início os afloramentos das rochas dobradas do Grupo Aguapeí, que sobrepõem o embasamento dos Crátons Amazônicos e Paraguá, oeste do Brasil e leste da Bolívia (figura 2.4). Como foi verificado na análise da imagem LANDSAT-TM (figura 4.3) este grupo (Aguapeí) apresenta elevações em formas de platôs onde a sequência não está deformada, e serras alongadas compondo estruturas sinformal e antiformal, submetidas a intenso grau de cisalhamento de alto ângulo.

Assim pode-se verificar a alta correlação do Grupo Aguapeí dobrado e cisalhado com os dados gravimétricos que indicam modificação da estrutura crustal (Domínio A_1).

O padrão de feições gravimétricas (intensidade e textura) do Domínio A que mantém notável paralelismo com a faixa cisalhada do Grupo Aguapeí, possivelmente indica vinculação dos metassedimentos do Grupo Aguapeí (cisalhado) ao mesmo evento tectônico de cisalhamento de alto ângulo, que caracteriza a Faixa Móvel Sunsas - Aguapeí.

O sub-domínio A_2 é identificado pelos maiores valores "Bouguer" encontrados na área. Embora esse sub-domínio A_2 encontra-se recoberto pela Formação Guaporé, mantém o mesmo paralelismo com o sub-domínio A_1 e, como visto anteriormente (aeromagnetometria), é notavelmente marcado também por uma cadeia de anomalias aeromagnéticas de maior intensidade (figuras 4.8 e 4.11). Assim os maiores valores "Bouguer" que ocorrem no extremo sudoeste da área, indicam que as rochas do manto encontram-se mais próximos da superfície e estão provavelmente também associadas à existência de corpos magnéticos em sub-superfície, ou seja, a anomalia magnética observada nas figuras 4.5 e 4.6 está estreitamente correlacionada à anomalia gravimétrica observada na figura 4.11.

Salienta-se que existe alto grau de correlação entre os dados gravimétricos e magnetométricos no extremo sudoeste da área, embora sobre as feições magneticamente anômalas, as mesmas refletem informações das estruturas geológicas mais superficiais que a gravimetria.

Já no Sub-domínio A_1 os dados gravimétricos e magnetométricos não apresentam correlação, sendo que o primeiro apresenta altas variações, pois o contraste de densidade, aumenta para oeste (valores "Bouguer"), enquanto que o segundo apresenta-se com variação muito suave. Este fato se deve provavelmente à ausência de rochas magneticamente anômalas nessa faixa, embora continue a indicar o adelgaça-

mento da crosta nessa região.

Considerando que a Suíte Intrusiva Rio do Cágado possui pequena área de exposição na área, mas está condicionada à faixa Aguapeí, possivelmente os altos valores gravimétrico ("Bouguer") encontrados no sub-domínio A1 podem estar refletindo o posicionamento dessas rochas mais densas e possivelmente mais expressivas ao longo da zona de cisalhamento. De maneira semelhante o mesmo pode estar ocorrendo com relação aos litotipos granulíticos e anfibolíticos pertencentes ao Complexo Granulítico - Anfibolítico de Santa Bárbara. Ou seja, certamente rochas densas da base da crosta devem pertencer ao embasamento posicionado ao Domínio A1, respondendo pelos altos valores gravimétricos aí encontrados.

O Domínio B, posiciona-se a leste do lineamento que define o limite principal, sendo constituído pelos sub-domínios B1 e B2 (figura 4.11 e 4.12).

Na figura 4.10 pode-se verificar apenas a predominância de altos e baixos gravimétricos e zonas de "inflexão" de valores gravimétricos ("Bouguer") não sendo muito evidente a separação entre os domínios A e B, embora fica bastante evidenciado a presença de pequenas anomalias isoladas, representada por altos e baixos gravimétricos em relação às áreas adjacentes (GA1, GA2, GA3).

O domínio B engloba feições gravimétricas constituindo uma faixa alongada de direção gerada NW - SE, exibindo curvas mais espaçadas e formas mais "inflexionadas" (figura 4.9), o qual exhibe altos e baixos gravimétricos, sendo que via de regra, os valores menores da intensidade gravimétrica ("Bouguer") azul escuro (figura 4.11) caracterizam o domínio B2, e os valores pouco mais acentuados azul claro (figura 4.11) encontram-se posicionados no Domí-

nio B₁.

A zona de gradiente no interior do Domínio B1 abrange parcela dos metassedimentos do Grupo Aguapeí e os litotipos metavulcanossedimentar do complexo Pontes e Lacerda, demonstrando aparentemente haver possivelmente condicionamento tectônico similar entre as infraestruturas basais da faixa de cisalhamento Aguapeí e os litotipos pertencentes ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda.

Na porção noroeste da folha Pontes e Lacerda, dentro do Sub-domínio "B1" verifica-se, que as curvas de isovalores sofrem bruscas infleções para leste e constituem uma estrutura de contorno aproximadamente circular, na qual as anomalias "Bouguer" mostram certa homogeneidade, sugerindo a existência de um alto gravimétrico, GA1 (figura 4.10).

É interessante salientar que aproximadamente nesta mesma região, foi caracterizada uma pequena anomalia magnética, unidade E (figura 4.6), cuja geologia de superfície encontra-se representada pela Cobertura Detrítica-Laterítica (figura 2.6). Da mesma maneira que anteriormente, supõe-se que embora os dados magnéticos estejam refletindo estruturas posicionadas mais superficial que os dados gravimétricos, pode estar ocorrendo indicações da presença de uma estrutura geológica de caráter intrusivo, tipo domo, com litotipos pouco mais densos a nível crustal. Provavelmente vinculando a presença de estruturas geológicas preservadas mais profundas, associadas a corpos magneticamente anômalos em nível superior.

Este mesmo alto gravimétrico (de acordo com sua forma textural) pode também indicar uma possível movimentação dextral (figura 4.10) de rochas mantélicas, na

borda da Faixa Móvel Aguapeí, assim como foi caracterizado, a sul da área, nas rochas supracrustais do Grupo Aguapeí, a partir de feições lineares de relevo e drenagem extraídas da imagem de satélite LANDSAT-TM (figura 4.3).

O sub-domínio "B2" é representado pelos valores "Bouguer" de menor intensidade da área, evidenciando um espessamento crustal a medida que se dirige para leste.

Este Sub-domínio ("B₂") embora também abrange diversos litotipos mapeados e estruturados segundo "trends" de direção noroeste, (Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda e Complexo Metamórfico Alto Guaporé), exhibe feições gravimétricas de formato circular representadas por pequenas estruturas de alto gravimétricos e uma grande estrutura de baixo gravimétrico localizada a leste da área, GB (figura 4.11), indicando a existência de pequenas variações de espessura crustal onde se posiciona o Granito-Gnaisse Santa Helena.

Na interface entre os subdomínios B1 e B2, em termos de valores gravimétricos ("Bouguer"), a passagem entre o Granito Gnaisse Santa Helena e os litotipos pertencentes ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda ocorre sem contraste de densidade, apenas com uma gradação de valores menores à medida que se caminha para oeste.

O extremo nordeste da folha Pontes e Lacerda (sub-domínio B2), onde se posiciona o Complexo Metamórfico Alto Guaporé e tem início os sedimentos do Grupo Parecis, corresponde à expressão física de fragmento crustal siálico, portanto menos denso e certamente mais espesso, com o qual é estabelecido a real grandeza do contraste de densidade das rochas em relação às porções crustais mais densas situadas a sudoeste da área.

Considerando estas informações anteriormente descritas pode-se colocar as seguintes considerações:

- 1) A modificação das formas de isolinhas (figura 4.9) do Domínio A para o Domínio B, associado ao aumento das intensidades das anomalias "Bouguer" a partir do limite principal para oeste, conferem características indicativas da existência de uma crosta mais densa ocorrendo na porção oeste (Domínio A)
- 2) A coincidência entre as anomalias gravimétricas e magnéticas no extremo sudoeste da área, ocorre provavelmente porque tanto as rochas do manto e os corpos magnéticos anômalos situam-se em nível crustal mais elevados.
- 3) A ocorrência de rochas granulíticas (Complexo Granulítico - Anfibolítico de Santa Bárbara) posicionada na mesma região (sudoeste da área) onde se tem os maiores valores "Bouguer", indica a correlação dos dados gravimétricos com essas rochas granulíticas.
- 4) Nas unidades de embasamento Pré-Cambriano mapeados no Leste boliviano, na divisa com o Brasil, são descritas a presença de grande quantidade de rochas granulíticas, (Litherland et al. 1986), o que não ocorre na porção sul do Cráton Amazônico, o que indica que certamente os terrenos de alto grau metamórfico posicionados na porção sudoeste da folha, podem indicar que são na verdade extensão da faixas Bolivianas (figura 4.3).

Dessa maneira, pode-se interpretar que devido ao aumento da intensidade dos valores gravimétricos ("Bouguer") para oeste, tem-se um fragmento crustal de

maior densidade (Bloco Crustal A). Assim esses dados quando utilizados em tectônica de placas pode-se aventar que a variação da profundidade das unidades basais podem estar associadas à existência de uma rampa de sub-ducção, que provocou movimento descendente de sudoeste para nordeste, constituindo uma zona colisional reativada posteriormente, indicada nos metapelitos do Grupo Aguapeí cisalhados (figura 4.3). Esta subducção envolveria as seguintes unidades geotectônicas: Cráton Paraguá (Bloco Crustal A) definido na Bolívia (Litherland e Blomfield, 1986) caracterizando uma crosta oceânica (tipicamente mais densa) sub-ductada sob a porção sul do Cráton Amazônico (Bloco Crustal B) definido por Almeida et al., (1967), que exhibe características litológicas e gravimétrica de crosta continental. Esta subducção afetaria os metassedimentos do Grupo Aguapeí que foram cisalhados e dobrados (zona colisional reativada) posicionados na Faixa Móvel Aguapeí (Menezes et al., 1991). Esses metassedimentos encontram-se posicionados a oeste do limite entre os domínios A e B, predominantemente correspondendo ao sub domínio A1. Acrescente-se a esses dados que esses três compartimentos (Cráton Paraguá, Cráton Amazônico e Faixa Móvel Aguapeí) também foram observados em superfície através da interpretação da imagem LANDSAT-TM (figura 4.3) e dados de campo, onde foi identificada uma zona de cisalhamento de alto ângulo, que afetou parte dos litotipos pertencentes ao Grupo Aguapeí e também pode-se verificar o caráter dextral e tendência de vergência de suas estruturas dobradas para sudoeste.

4.2.3 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS

Antes de discutir a interpretação dos resultados obtidos é importante salientar que, embora seja possível transformar os dados gamaespectrométricos em termos quantitativos através da transformação para unidades ppm e com isso trabalhar com a composição química dos litotipos

aflorantes, isto não foi o objetivo dessa interpretação realizada nesse trabalho. Nesta primeira abordagem objetivou-se trabalhar com enfoque qualitativo, utilizando-se de alguns critérios, que serão descritos a seguir para separar as unidades gamaespectrométricas.

A delimitação das unidades gamaespectrométricas obedeceu à diferenciação da intensidade dos valores obtidos de gamaespectrometria (níveis de cinza), em função do "relevo" gamaespectrométrico ser mais ou menos "movimentado" (rugosidade), e às diferentes formas de "relevo" sombreado gamaespectrométrico.

Maiores informações a respeito sobre a interpretação de dados aerogamaespectrométricos podem ser encontrados em Vasconcellos et al., 1990.

Os dados aerogamaespectrométricos foram interpretados a partir das principais feições anômalas contidas em cada tema da série de mapas (CT,U,Th,K,U/Th,U/K,Th/K). Através do canal específico de contagem total (CT), de acordo com a distribuição da radiação gama, pode-se constatar várias unidades na área, aqui associadas às possíveis litologias existentes distintas (figuras 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16). No extremo sudeste da área onde se posiciona o Granito-Gnaiss Santa Helena, verifica-se os maiores níveis de radiação, sendo possível sua delimitação dentro da unidade gamaespectrométrica A (figuras 4.14 e 4.15).

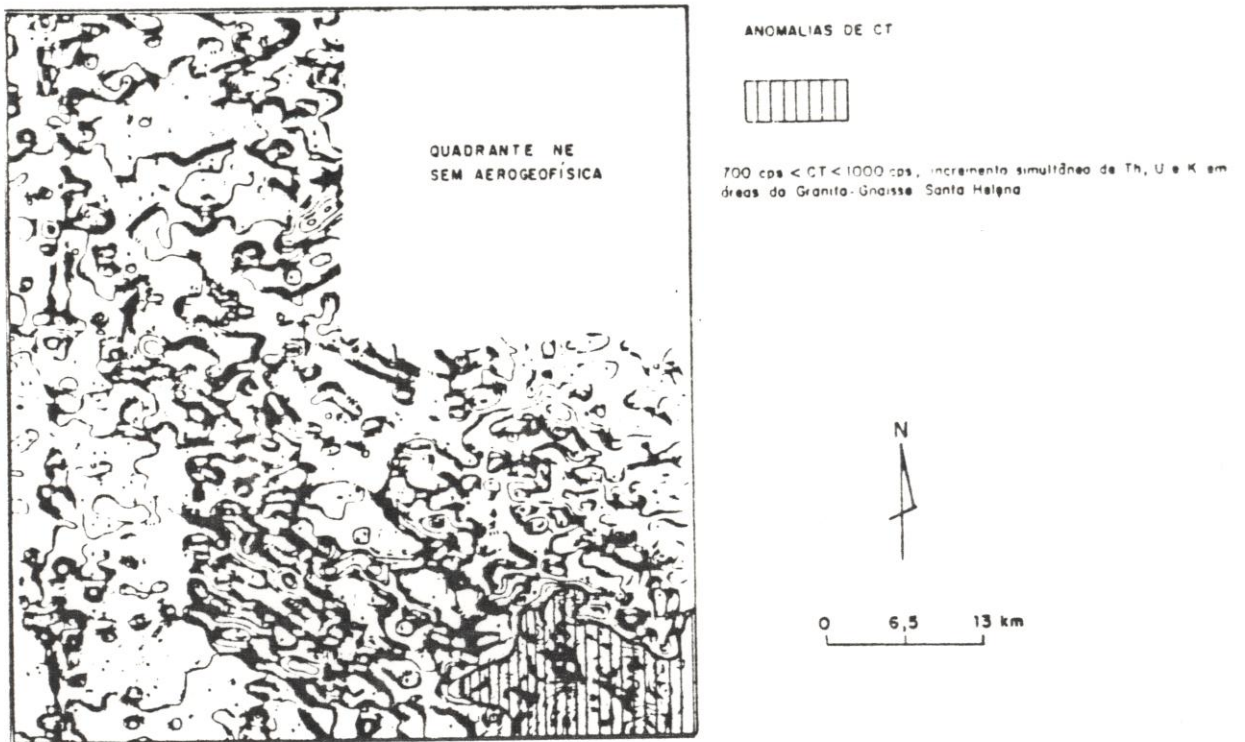


Fig. 4.13 - Mapa aerogamaespectrométrico de contagem total (extraído de Menezes et al., 1991). *pg 92*

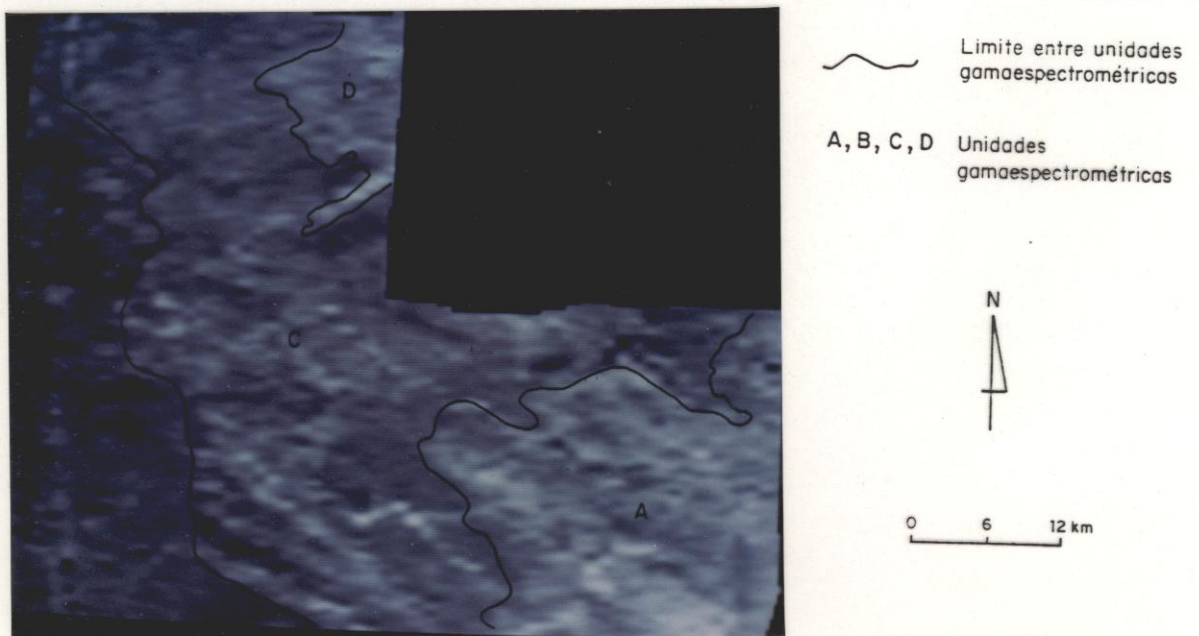


Fig. 4.14 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos, Contagem Total - CT e respectiva interpretação.

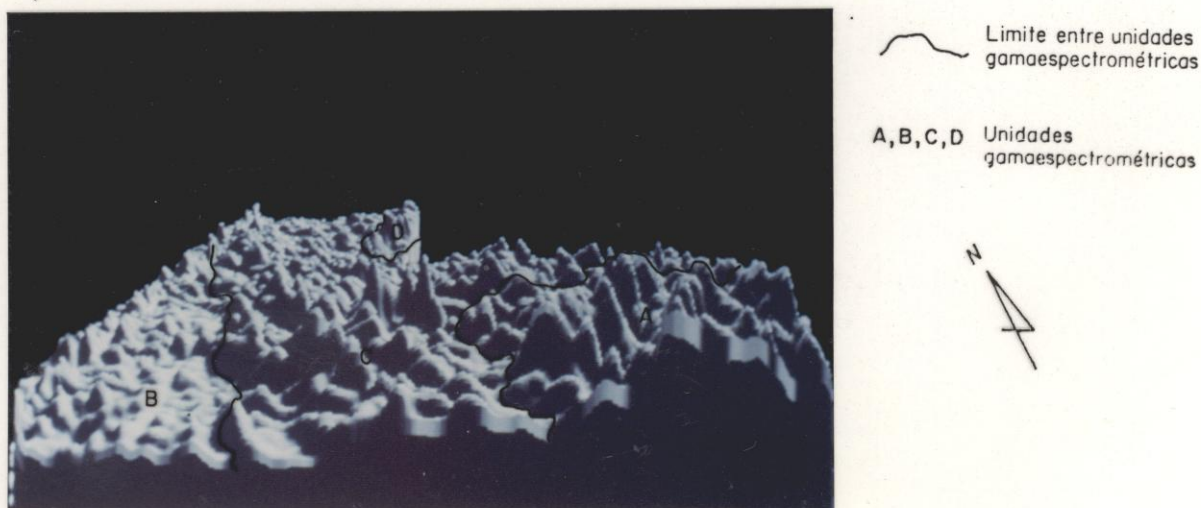


Fig. 4.15 - Imagem gerada através de MDT de dados aerogamaespectrométricos (CT), em níveis de cinza, com relevo sombreado e respectiva interpretação.

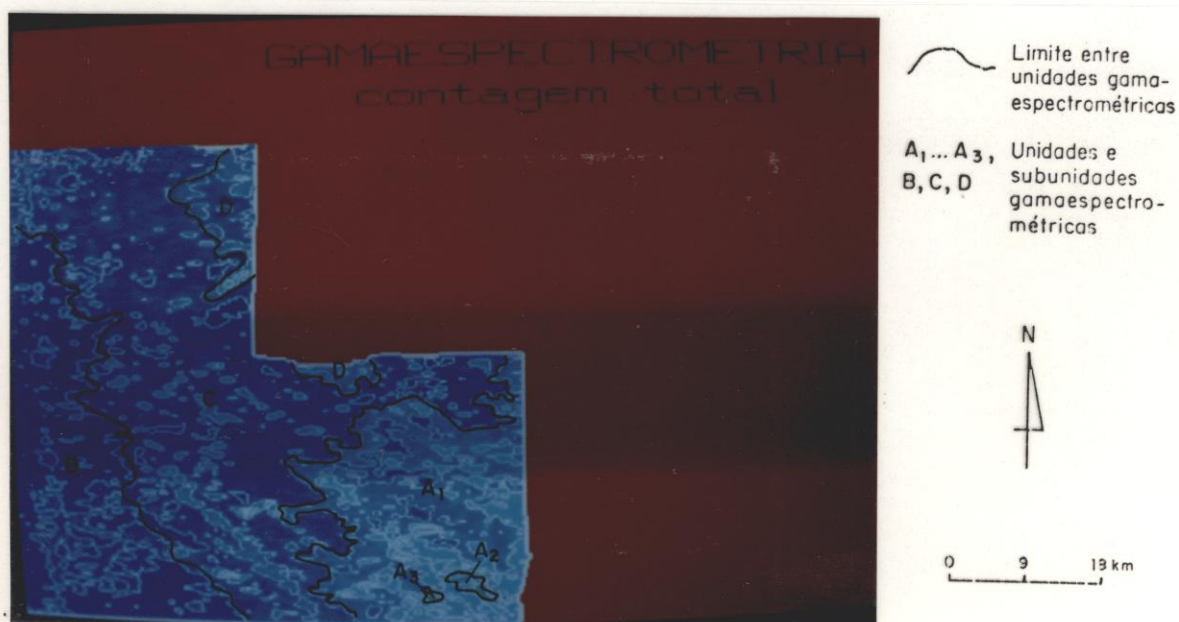


Fig. 4.16 - Imagem colorida obtida através de dados aerogamaespectrométricos (CT) superposta por curvas de isovalores e respectiva interpretação.

Em contrapartida, na porção oeste-sudoeste tem-se os menores valores da radiação gama, que estão associados aos sedimentos da Formação Guaporé, caracterizados como unidade gamaespectrométrica B (figuras 4.14, 4.15 e 4.16).

A unidade gamaespectrométrica C foi caracterizada na porção central e noroeste da área. Atinge os valores da radiação gama entre os domínios A e B, e abrangem os metassedimentos do Grupo Aguapeí, o Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda e as Coberturas Detríticas - Lateríticas de maneira indiferenciada.

Foi ainda, caracterizado o Domínio D na porção norte da área, que exhibe valores radiométricos ligeiramente superiores ao Domínio C. Podem estar representando os litotipos pertencentes a unidade geológica Triângulo do Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda (figura 2.6 e 4.14).

Assim, foi possível verificar que as imagens geradas a partir de "grids" gamaespectrométricos (figura 4.14, 4.15 e 4.16) através de tons de cinza, relevo sombreado e imagem colorida com superposição de isolinhas, fornecem melhores condições para a interpretação dos dados do que o mapa de envoltória (figura 4.13). Além disso a superposição do mapa de envoltória (figura 4.16) pode facilitar a identificação do limite entre os vários domínios e subsidiar o analista caso queira trabalhar quantitativamente, desde que os dados gamaespectrométricos sejam preparados para ppm, como colocado no início deste item.

Ao se trabalhar com os canais específicos (U,Th,K) e razões (U/Th, U/K e Th/K) pôde-se verificar que as áreas de exposição do Granito - Gnaiss Santa Helena encontram-se bem representadas principalmente nos canais de

potássio (figura 4.17) e subordinadamente no Tório.

O canal do U exibe grande dispersão e quase não evidenciou correlação geológica com a área mapeada.

Isto posto, pode-se entender porque, de todas as razões (U/Th, U/K e Th/K), a Th/K foi a que mais evidenciou correlação com a geologia da área (figura 4.18). Através dessa razão pode-se destacar a parte superficial central aflorante do Granito - Gnaiss - Santa Helena, que apresenta valores menores e maiores, compondo núcleos anômalos discretos, indicando a possível presença de litotipos diferenciados ou variações faciológicas: A1, A2, e A3 (figura 4.18).

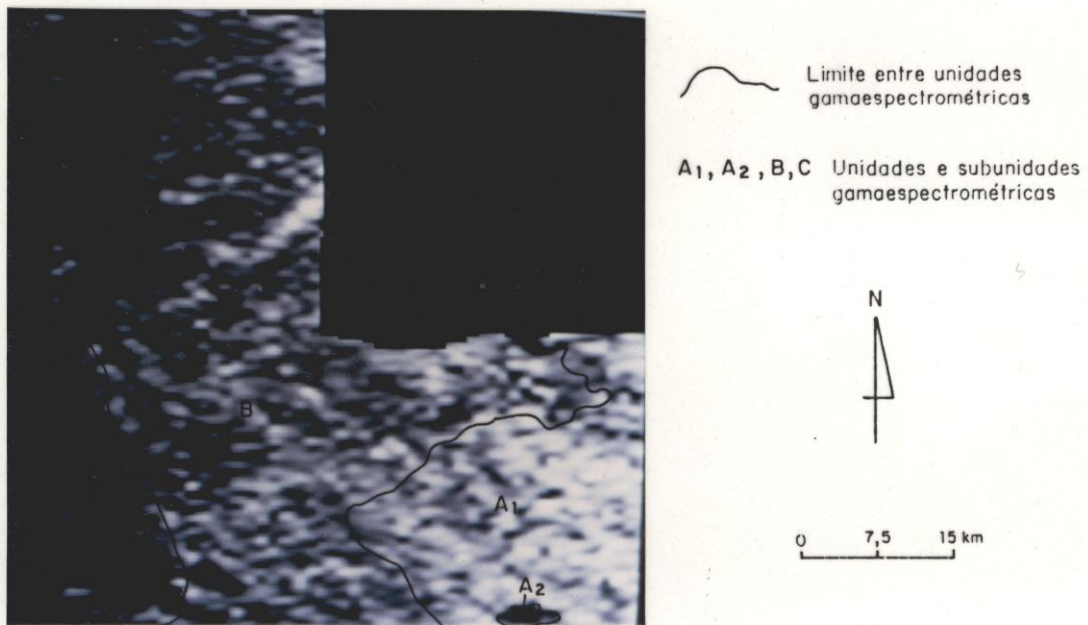


Fig. 4.17 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos (canal específico - K) com a respectiva interpretação.

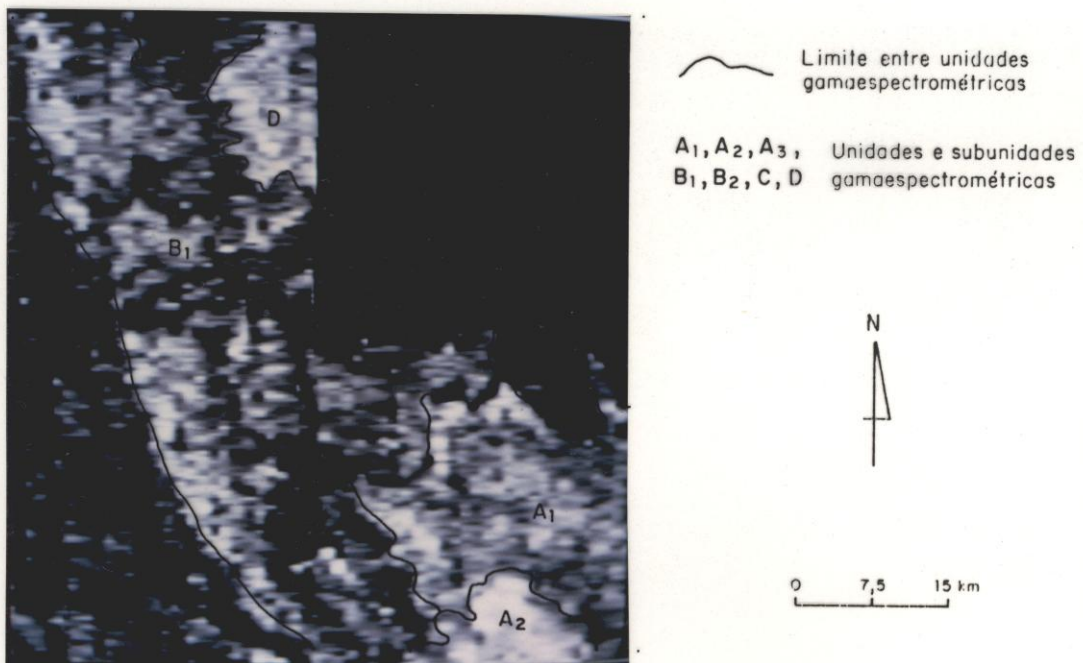


Fig. 4.18 - Imagem gerada em níveis de cinza obtida através de dados aerogamaespectrométricos (razão Th/K) com a respectiva interpretação.

O canal específico de K (figura 4.17), entre os três canais (U, Th, K), possui maior representatividade e correlação com a geologia da área, mostrando valores de intensidade gamaespectrométricas contrastantes de altos e baixos. Na porção sudeste da área tem-se pequena região de baixos valores gamaespectrométricos, A2 (figura 4.17) a qual representa a ocorrência de crosta laterítica desenvolvida no Granito - Gnaiss Santa Helena (figura 2.6) que indica elevada perda de potássio, conseqüentemente define expressivos núcleos anômalos na razão Th/K (figura 4.18).

A razão U/Th não mostrou feições notáveis, no Granito - Gnaiss Santa Helena, pois o mesmo manteve suas proporções relativas, portanto não ocorrendo implementação de um radioelemento sobre o outro. Já a sul do granito São Domingos a razão U/Th destaca valor alto, provavelmente devido a presença de zonas pegmatóides ou continuidade desse granito. A mesma área é identificada na razão Th/K, porém indica valores extremamente baixos, caracterizado como A3 na figura 4.18, ou seja tem-se nessa região baixos valores gamaespectrométricos de tório e elevado valores de potássio.

Portanto, é importante a utilização de canais específicos e razões para a complementação da interpretação realizada apenas sobre os dados de contagem total.

Após a análise de contagem total, canal específico e razão utilizou-se de outras técnicas de processamento de imagens cujos resultados serão descritos a seguir:

A figura 4.19 mostra uma composição colorida (RGB) entre os canais específicos; U, Th e K respectivamente nas cores vermelho, verde e azul, após a aplicação do contraste linear. Pode-se verificar que com a utilização dos

três componentes (U, Th e K), consegue-se distinguir vários limites entre unidades gamaespectrométricas através de tonalidades distintas, o que provavelmente caracteriza algumas distribuições litológicas predominantes na área.

Como foram estabelecidas as cores vermelha, verde e azul respectivamente para U, Th, e K, tem-se que além das cores específicas para cada elemento (U, Th, e K) obtém-se as cores intermediárias amarela, ciano e magenta. Essas cores correspondem a participações em proporções relativamente próximas respectivamente nos seguintes elementos U e Th (amarelo); Th e K (ciano); K e U (magenta). A cor branca indica a participação dos três elementos (U, Th, e K).

Pôde-se verificar que esta composição colorida (figura 4.19) não apresenta uma matiz dominante mas sim diversos níveis de saturação, ou seja, existem diferentes proporções na concentração dos radioelementos (U, Th, e K) na superfície, conseqüentemente sendo possível delimitar várias unidades e subunidades gamaespectrométricas.

As subunidades A1, A3 e A4 encontram-se posicionadas sobre rochas granitóides cartografadas conjuntamente como unidade geológica única, denominada Granito - Gnaiss Santa Helena (figuras 2.6 e 4.19). Verifica-se que a maior parte desse granito possui equilíbrio nas concentrações de tório e potássio fornecendo a coloração ciano que foi delimitado como subunidade gamaespectrométrica A1. A subunidade A3 possui coloração esbranquiçada diferenciando-se das subunidades A1, A2 e A4 por ser mais clara (valores de níveis de cinza mais altos) indicando maior equilíbrio nas concentrações do urânio, tório e potássio. Esta subunidade (A3) pode estar correlacionada à rochas granitóides diferenciadas do Granito - Gnaiss Santa Helena.

A subunidade A₂ dominada pela matiz do vermelho, indica a predominância do urânio, contrastando com as outras subunidades A₁, A₃, e A₄ caracterizadas. Tal subunidade no campo (A₂) pode estar representando a continuidade do Granito São Domingos, posicionado a norte deste subdomínio (A₂) não cartografado nessa região.

A subunidade A₄ é dominada pela matiz do amarelo, o que indica a predominância de urânio e tório. Nessa região encontram-se cartografados sedimentos das coberturas detríticas - lateríticas, (figura 2.6 e 4.19).

A subunidade B₁ dominada pela matiz do vermelho indica a presença predominante do radioelemento urânio (embora em menor proporção que a subunidade A₃) e possui participação mais restrita de tório e potássio, assemelhando-se bastante com a subunidade D₁. Nesta região (B₁) encontram-se cartografados os sedimentos quartenários do Rio Guaporé. Isto é explicado pela grande mobilidade do radioelemento urânio que é carregado e depositado nos sedimentos quartenários posicionados ao longo do rio Guaporé, que tem sua cabeceira (nascente) posicionada sobre rochas granitóides (Suíte Intrusiva Guapé e Granito São Domingos).

A subunidade B₂, embora próxima a B₁, exhibe uma graduação para matiz tendendo ao ciano, (tório e potássio) já não apresentado a tendência avermelhada (urânio) contida na subunidade B₁. Nessa região (B₂) já não se tem a influência dos sedimentos do rio Guaporé que possui alto teor do rádioelemento urânio, o que pode indicar a possível presença de rochas de caráter granitóide.

A subunidade C apresenta boa diferenciação de matiz em relação à suas subunidades vizinhas D₁ e B₂. Nessa região (C) tem-se posicionados os xistos a biotita-musco-

vita e subordinadamente anfibolitos, quartzitos e metaultrabásicas da Unidade geológica Triângulo pertencente ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda.

As subunidades D_1 e D_2 exibem os mesmos matizes e relação de proximidade quanto as subunidades B_1 e B_2 , ou seja, na subunidade D_1 tem-se a presença de sedimentos quaternários que possuem concentração do radioelemento urânio que fornece a matiz avermelhada, sendo que a subunidade D_2 , embora não tão bem definida como B_2 , pode também indicar a possível presença de rochas granitóides (presença de tório e potássio).

A unidade E, embora delimitada, mostrou-se de difícil caracterização, já que a mesma apresenta gradativamente pequenas diferença de matizes entre as unidades e subunidades vizinhas, A_1 , B_1 , G_2 e G_1 . Nessa região (E) tem-se cartografado filitos e quartzitos, e suposta metavulcânicas ácidas filitizadas, sendo esses últimos litotipos possivelmente responsáveis pela pequena diferenciação da matiz dessa unidade E.

A unidade F que exhibe predominantemente o matiz amarelado, semelhante a subunidade A_4 embora com menor intensidade, provavelmente deve caracterizar as coberturas detríticas - lateríticas, já que nessa região (F) foi delimitada a maior expressão desses litotipos aflorantes na área.

As subunidade G_1 , G_2 e J apresentam matizes azulados (predominância de potássio) embora não mais com a intensidade de outras unidades e subunidades gamaespectrométricas descritas anteriormente. Na região mapeada, correspondente a essas subunidades G_1 , G_2 e J, encontram-se cartografados os metarenitos e metaconglomerados da Formação Fortuna do Grupo Aguapeí, o que justifica os baixos va-

lores encontrados, diferenciando-se muito do que ocorre com as rochas granitoides que possuem altos valores de U, Th e K.

As unidades I e H embora muito semelhantes em seus matizes encontram-se posicionadas sobre os metapelitos da Formação Vale da Promissão do Grupo Aguapeí (I) e os depósitos Quaternários elúvio - coluvionares (H). Esta semelhança pode indicar a presença de afloramentos de metapelitos da Formação Vale da Promissão dentro da calha anticlinal da Formação Fortuna do Grupo Aguapeí, vide figura 2.6.

As unidades K, L, M e N posicionadas na região sudoeste da área representam os menores valores gamaespectrométricos obtidos, daí a matiz obtida tendendo ao preto (pequena participação de U, Th e K). Nessa região (K, L, M e N) encontram-se cartografados grande parte de sedimentos arenosos com lentes de silte e argila parcialmente laterizados da Formação Guaporé. Nesses sedimentos praticamente os radioelementos U, Th e K foram lixiviados, restando pequenas parcelas dos mesmos. As pequenas variações de matiz pode corresponder a maior ou menor laterização encontrados nesses sedimentos.

Assim pode-se verificar que as imagens geradas através da composição colorida R,G,B para U, Th e K respectivamente, mostram na figura 4.19, que os limites das unidades gamaespectrométricas se aproximam do mapa geológico da área (figura 2.6), além de destacar outras possíveis unidades, não identificadas na região.

A figura 4.20 mostra uma imagem colorida gerada através de IHS dos dados U, Th, e K respectivamente. Sobre a mesma foi colocada os contatos litológicos da área (forma vetorial sobre "raster").

Esta composição embora exibe muita mudança na geração de cores, a mesma provoca excesso de gradação de cores não sendo nítido os possíveis contatos litológicos.

Utilizando-se ainda dos dados aerogaespectrométricos e dessa maneira seguindo-se a metodologia aplicada por Fernandez - Alonso e Tahon (1991), anteriormente descrita, seguiu-se a metodologia definida (vide figura 4.21).

A imagem resultante (figura 4.21), mostra a variação dos dados gamaespectrométricos através das várias tonalidades que podem representar a diversificação litológica da área.

Verifica-se que os resultados obtidos por esta técnica não difere em muito da composição colorida gerada através de U (vermelho) Th (verde) e K (azul) vide figura 4.19. A não ser as pequenas diferenças nos contatos das unidades e subunidades identificadas e maiores variações de matizes na porção noroeste da área, a imagem na figura 4.21 é muito semelhante à obtida na figura 4.19. Nessa porção noroeste da área encontram-se cartografadas predominantemente as coberturas detríticas lateríticas, que provavelmente fornecem essas variações de matizes através da maior ou menor participação dos radioelementos U, Th, e K.

A figura 4.22 mostra o resultado de outra técnica aplicada por Fernandez - Alonso e Tahon (1991).

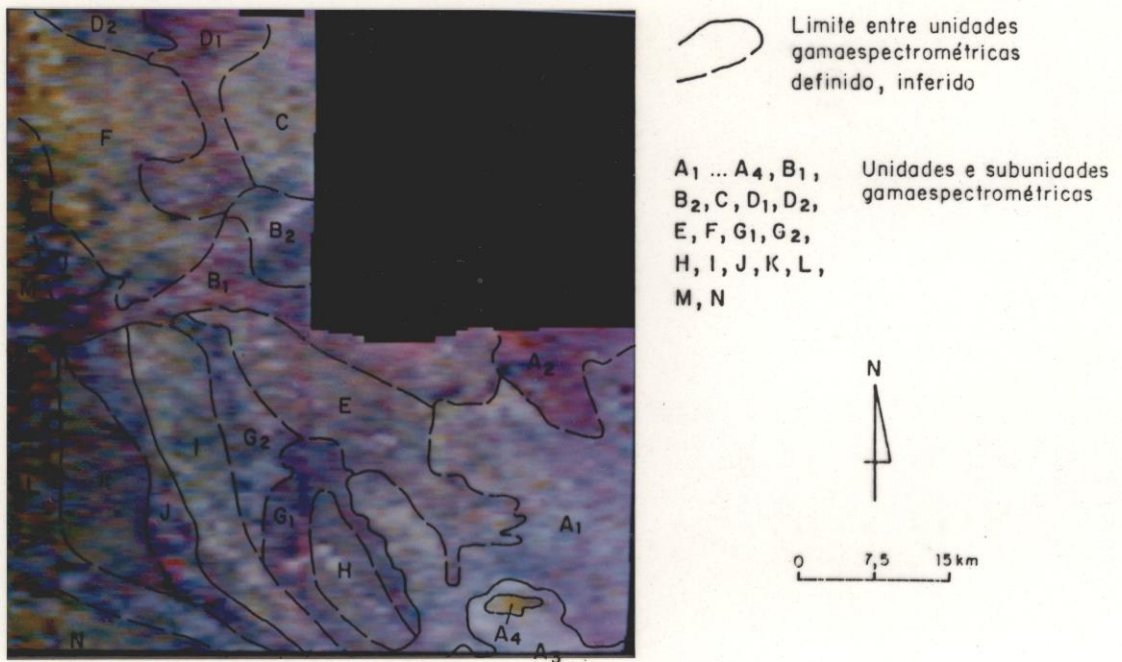


Fig. 4.19 - Imagem colorida RGB, gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos U (R), Th (G), K (B) e respectiva interpretação.

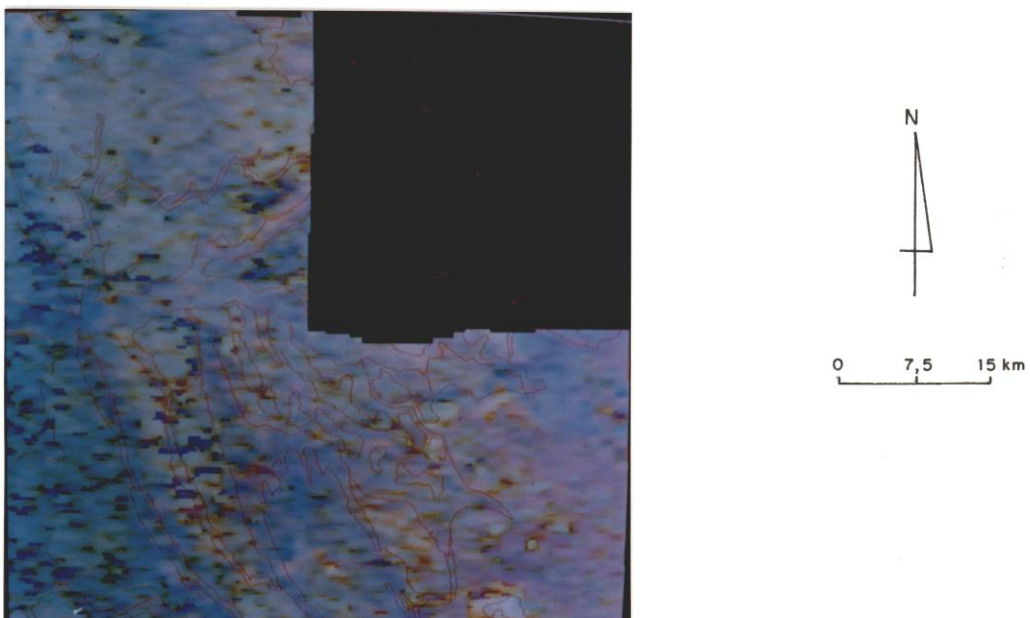


Fig. 4.20 - Imagem colorida IHS gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos U, Th e K sobreposta por contatos litológicos do mapa geológico da área (forma vetorial sobre raster).

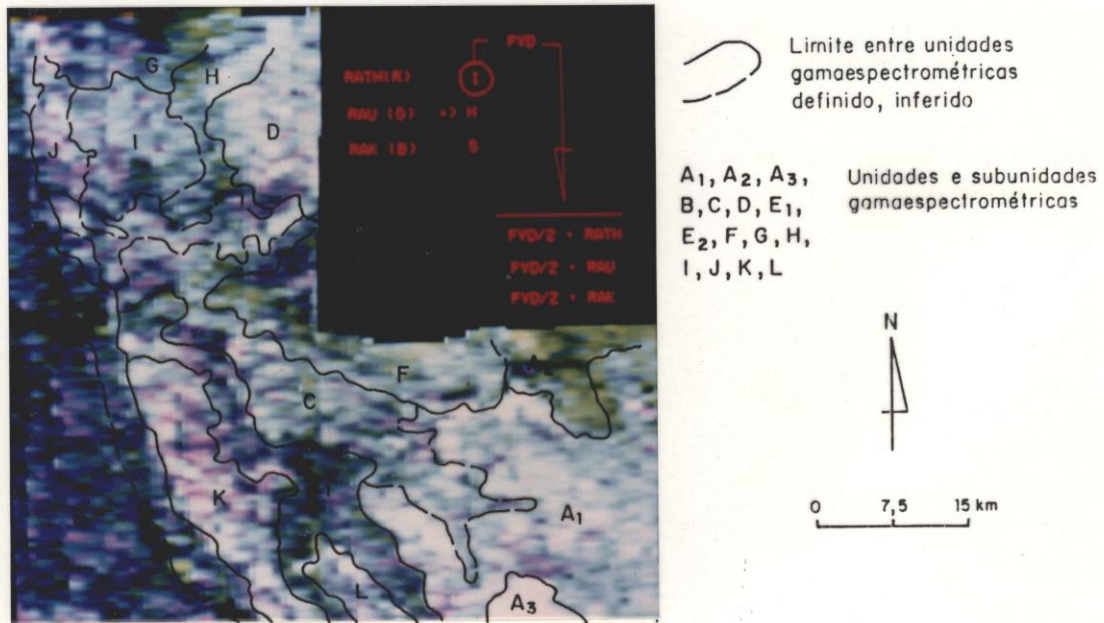


Fig. 4.21 - Imagem colorida gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos Th, U e K, seguida de IHS e posterior adição com dados filtrados direcionalmente e respectiva interpretação.

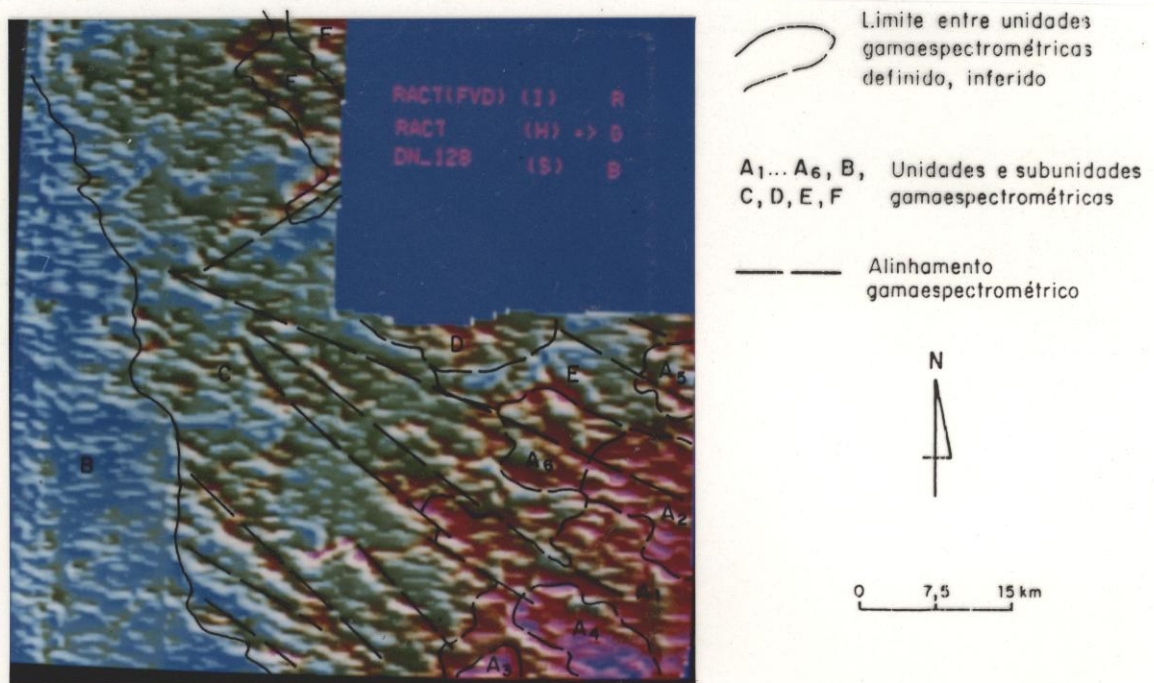


Fig. 4.22 - Imagem colorida gerada a partir de dados aerogamaespectrométricos, contagem total (CT) com aplicação de filtragem direcional e técnica de IHS, e respectiva interpretação.

Esta técnica mostrou ótimo resultado, já que foi possível a delimitação litológica de possíveis novas unidades (na região do Granito - Gnaiss Santa Helena) além de destacar lineamentos noroeste, semelhantemente aos que foram encontrados na aeromagnetometria. Portanto os resultados obtidos nesta imagem mostraram o relevo sombreado de nordeste para sudoeste e cores entre cian (baixa intensidade de valores gamaespectrométricos - CT) e magenta dirigindo-se para púrpura (alta intensidade de valores gamaespectrométricos - CT), figura 4.22.

Os expressivos lineamentos de direção N-S, posicionados principalmente na porção oeste da área, presentes nas figuras 4.21 e principalmente 4.22, estão relacionados à linha de voo na obtenção de dados, e não foi possível eliminá-la no pré-processamento dos dados aerogeofísicos.

Dessa maneira pode-se verificar que a interpretação de dados aerogamaespectrométricos, através não só dos dados de Contagem Total (CT), mas também de canais específicos (U, Th, e K) e razões, principalmente Th/K (na forma "raster"), e aplicando técnicas de processamento de imagem, possibilita a confirmação de grande parte das litologias e lineamentos estruturais presentes na folha Pontes e Lacerda, podendo aventar a presença de outros litotipos na área trabalhada. As regiões onde foram acrescentadas as possíveis novas litologias encontram-se predominantemente posicionadas em zonas arrasadas o que dificulta sobremaneira sua caracterização no campo.

Na porção sudeste aventa-se a possibilidade de variações faciológicas do Granito-Gnaiss Santa Helena, presença de regiões pegmatóides, ou mesmo a possibilidade da continuação para sul do Granito São Domingos.

A porção noroeste, percebe-se que a unidade TQDL é muito pouco espessa, devendo aflorar em algumas regiões litotipos pertencentes à formação Vale da Promissão (Grupo Aguapeí) ou ao Complexo Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda, além de possíveis granitóides localizados.

4.3 - INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS LANDSAT-TM E DADOS GEOFÍSICOS ATRAVÉS DE TÉCNICA DE FUSÃO ("MERGE")

A fusão ("merge") de imagem gerada por vários sensores (multisensores) tem sido um procedimento para a complementação natural de uma série de dados. Dessa maneira foram elaboradas algumas fusões que serão descritas a seguir.

Primeiramente utilizou-se da técnica desenvolvida por Fernandez - Alonso e Tahon (1991), vide figuras 4.23 e 4.24.

Com a utilização dos dados LANDSAT-TM além do posicionamento exato do dados radiométricos no campo, tem-se a visualização do relevo topográfico obtido através da imagem LANDSAT-TM (figuras 4.23 e 4.24).

Dessa maneira foi elaborada a fusão dos dados gamaespectrométricos e a banda 5 (LANDSAT-TM) adicionando-se metade do valor de "DN" (Digital Number) da banda 5 para cada canal radiométrico (figura 4.23), e em seguida foi produzido a composição colorida RGB (figura 4.24).

Assim a composição colorida dos canais de U, Th e K foi modulada pela banda 5, LANDSAT-TM, o que constituiu uma imagem com o detalhe topográfico. Nesta imagem gerada foi possível delimitar várias possíveis unidades litológicas e observar a localização no campo das feições radiométricas (figura 4.24).

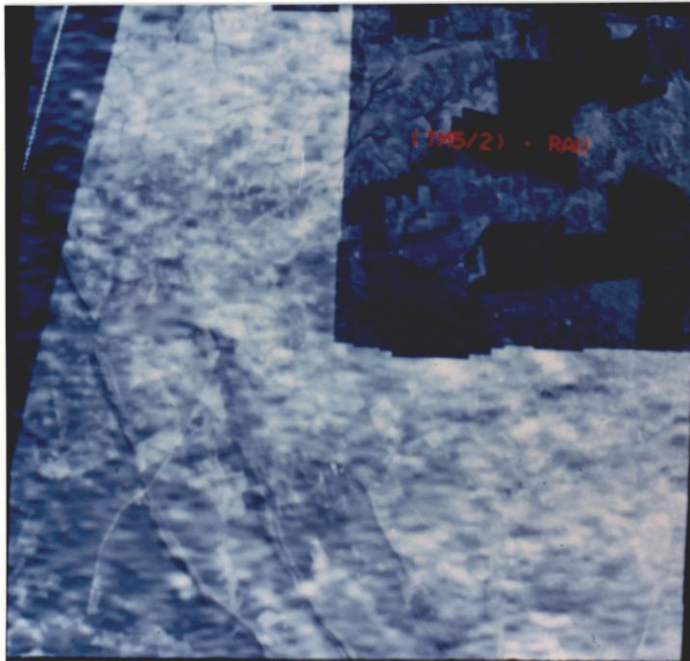
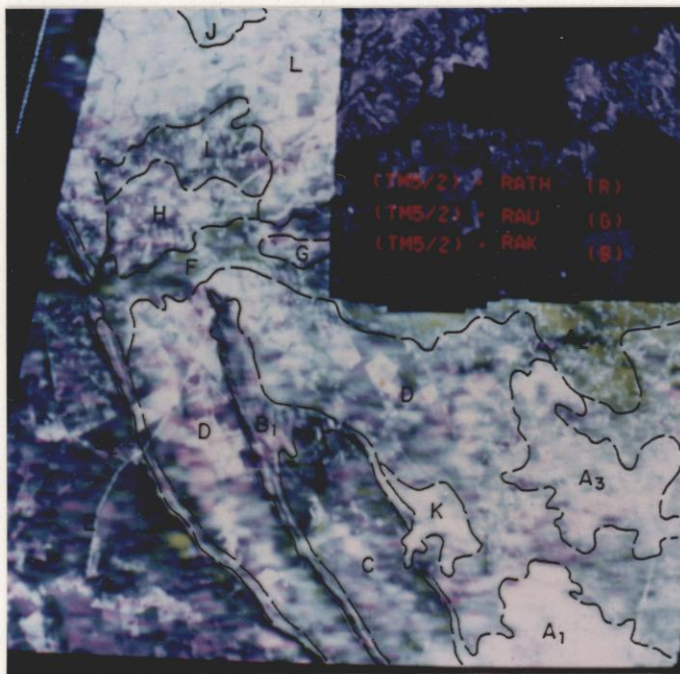



Fig. 4.23 - Imagem LANDSAT-TM, banda 5, cujo DN (Digital Number) foi reduzido pela metade e adicionou-se o canal de Urânio.



 Limite entre possíveis unidades litológicas inferido

A₁... A₃, Possíveis unidades e
 B₁, B₂, C, subunidades litológicas
 D, E, F, G,
 H, I, J, K, L

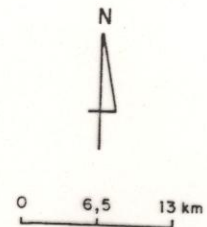


Fig. 4.24 - Imagem LANDSAT-TM, banda 5, cujo DN (Digital Number) foi reduzido pela metade e adicionou-se os canais Th, U e K, constituindo uma imagem colorida.

Neste tipo de fusão além da vantagem acima descrita, pode-se definir mais precisamente os limites da Formação Fortuna (Grupo Aguapeí) normalmente não identificada pelos dados geofísicos, e delimitar valores gamaespectrométricos diferenciados sobre o denominado Granito-Gnaiss Santa Helena, que podem corresponder a diferenciação litológica, que não foi possível observar na imagem LANDSAT-TM.

Com esse mesmo enfoque (fusão de imagens) e visando selecionar os dados aerogamaespectrométricos que mostraram melhores correlações com a geologia da área fez-se uma fusão de imagens através da técnica de IHS da seguinte maneira:

PC 1	-->	R	I	R
CT	-->	G ==>	H ==>	G
TH	-->	B	S	B

O resultado, evidenciado na figura 4.25, mostrou conjuntamente os dados, morfológicos e gamaespectrométricos os quais possibilitaram a caracterização dos litotipos da Formação Fortuna (Grupo Aguapeí) os aluviões quaternários do Rio Guaporé, diferenciações na unidade TQDL e individualização de várias unidades onde encontra-se posicionado o Granito-Gnaiss Santa Helena (comparar figuras 2.6 e 4.25).

Assim observou-se em ambas as fusões de imagens realizadas, figuras 4.24 e 4.25, foi possível delimitar com maior precisão os limites dos metarenitos da Formação Fortuna do Grupo Aguapeí além de indentificar valores gamaespectrométricos, diferenciados sobre os granitóides posicionados na porção sudeste da área e identificar possíveis novas unidades litológicas não cartografadas na porção noroeste da área trabalhada.

Embora tenha sido observado a importância da localização das anomalias radiométricas com maior precisão no terreno, através dos dados fornecidos pela imagem LANDSAT-TM, os possíveis contatos litológicos foram melhor observados quando tratados individualmente sobre os dados radiométricos e sobre a imagem LANDSAT-TM.

4.4 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (ISODATA)

Com a finalidade de avaliar os resultados obtidos através da aplicação de análise de agrupamento não supervisionada de forma qualitativa utilizou-se o ISODATA (Hall e Khanna 1977), baseado sob dois pontos de vista. Primeiramente, considerando o trabalho de Vasconcellos et al., 1990, que utilizaram-se de dados aerogeofísicos mostraram que 90% da constituição do agrupamento foram respondidos pelos dados aerogamaespectrométricos. Assim constituiu-se um conjunto de dados aerogamaespectrométricos (CT,U,Th e K) obtendo-se os resultados evidenciados as figuras 4.26 e 4.27.

Posteriormente, baseando-se na sugestão de Howard et al. (1978) em que sugerem a utilização da ISODATA em dados aerogeofísicos e imagens LANDSAT, elaborou-se outro conjunto de dados constituído por aeromagnetometria, aerogamaespectrometria (CT) e 1ª componente principal da imagem LANDSAT-TM (figura 4.28)

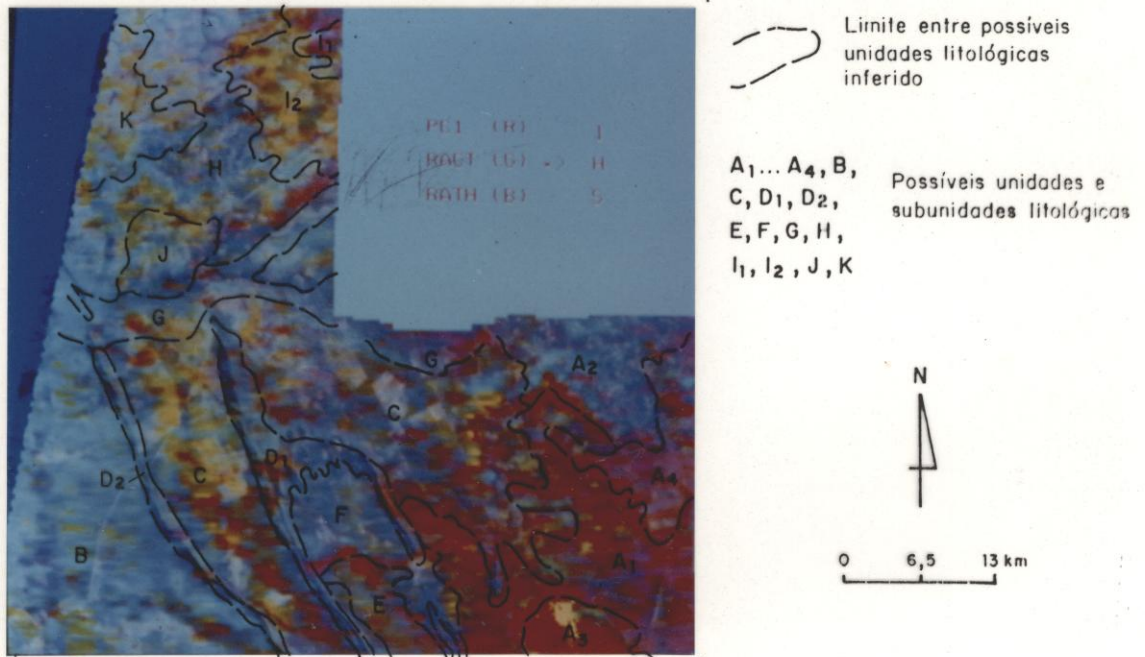


Fig. 4.25 - Imagem colorida obtida através de técnica RGB/1 (1a. CP), H (CT), S (Th).

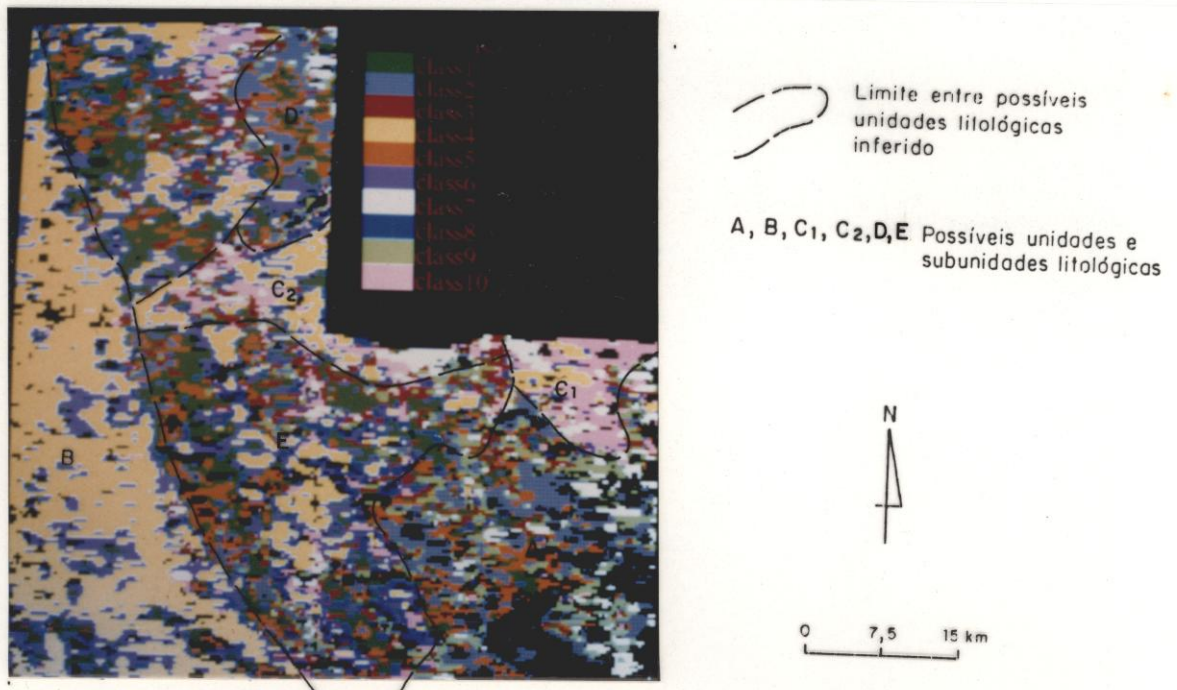


Fig. 4.26 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamento (ISODATA) sobre os dados aerogamaespectrométricos (CT, U, Th e K).

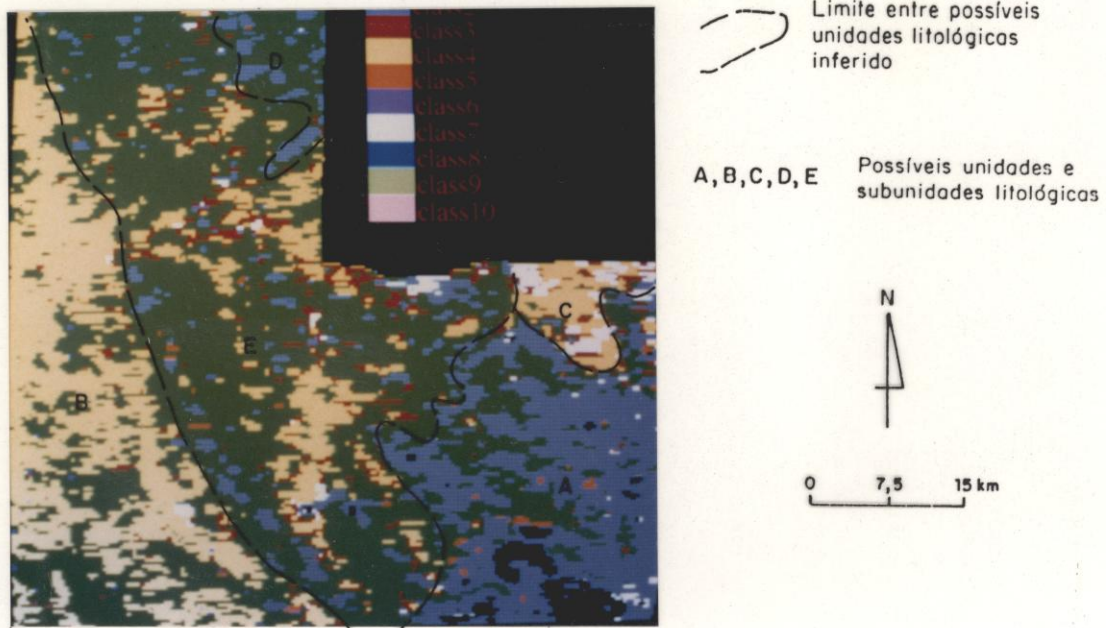


Fig. 4.27 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamento (ISODATA) sobre os dados aerogamaespectrométricos (CT, U, Th e K) com o aumento do desvio padrão.

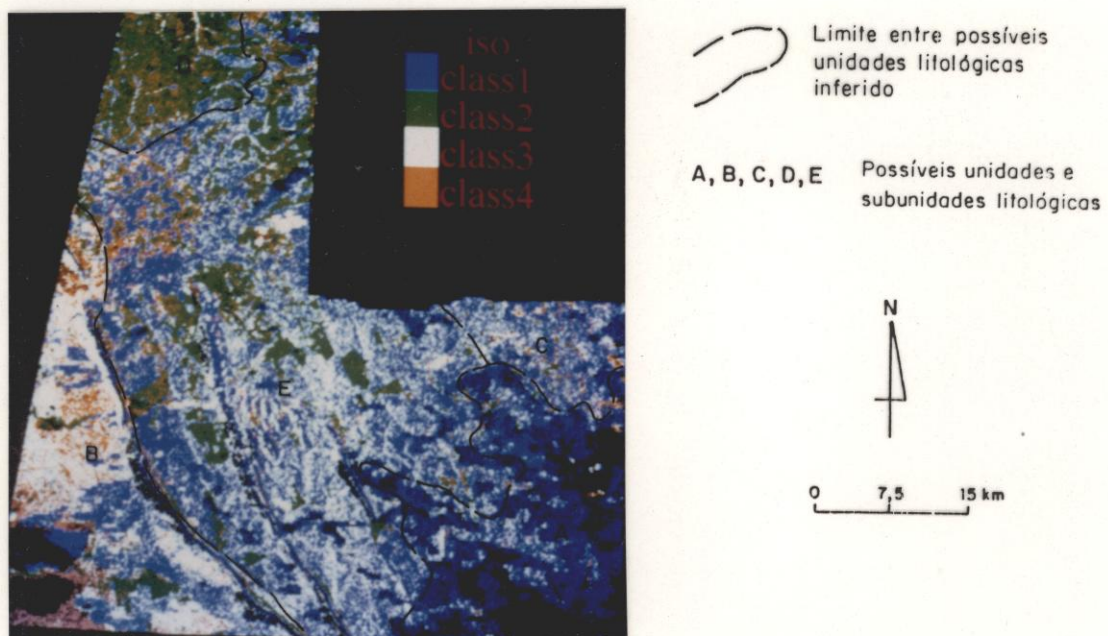


Fig. 4.28 - Imagem gerada a partir de análise de agrupamento (ISODATA) sobre os dados aeromagnéticos (Campo Total) aerogamaespectrométricos (CT) e LANDSAT-TM (1ª Componente Principal).

Considerando que o número de classes, fornecidos inicialmente serve apenas para inicializar o processo e que na área em que se aplicou o ISODATA existem treze unidades litológicas, partiu-se desse número em primeira instância obtendo-se dez classes (figura 4.26). À medida que se aumenta o desvio padrão, as classes predominantes incorporam parte de outras categorias, assemelhando-se mais às unidades geológicas predominantes na região (figura 4.27), e diminuindo pequenas parcelas (em preto) que não foram classificadas em nenhum agrupamento.

Através dos resultados preliminares obtidos pode-se verificar a existência de muitas classes que não representam efetivamente a geologia da área. Porém as litologias predominantes da área encontram-se identificadas, havendo uma correlação geológica relativamente aproximada.

São os seguintes casos:

- 1) o Granito - Gnaisse Santa Helena encontra-se representado, principalmente pela classe 2 (unidade A) na figura 4.27 e relativamente identificada por uma mistura das classes 2 e 5 na figura 4.26 (unidade A);
- 2) A classe 10 identifica com bastante clareza a variação do Granito - Gnaisse Santa Helena, na região este da área trabalhada, unidade C1 (figura 4.26). Esta delimitação corresponde aproximadamente à possível unidade litológica A2 delimitada na figura 4.25;
- 3) Os metassedimentos do Grupo Aguapeí e o Complexo Metamórfico Pontes e Lacerda encontram-se de forma indiferenciada, relativamente representados por uma associação das classes 1,5,8, unidade E (figura

4.26);

- 4) Na porção norte da área, que corresponde a possível unidade litológica I2 da figura 4.25 tem-se aproximadamente a representação da mesma unidade, através da interação das classes 1, 2 e 5 na figura 4.26, unidade D;
- 5) a Formação Guaporé encontra-se representada pela classe 4, unidade B (figuras 4.26 e 4.27).

A utilização dos dados aerogeofísicos com imagem LANDSAT, mostrou que as classes definidas mostram certa correlação geológica, principalmente através de combinações de agrupamentos (aglutinações de duas ou mais classes), sendo visível com o estabelecimento de pequeno número de classes combinadas (figura 4.28). Verifica-se que o efeito de uso e ocupação do solo e sombreamento de relevo existente na imagem de satélite dificulta a classificação. Mesmo assim foram caracterizados os principais litotipos existentes na área:

- 1) a formação Guaporé encontra-se representada pela interação da classe 3, 4 e 1 unidade B (figura 4.28);
- 2) o grupo Aguapeí e o Complexo Metamórfico Pontes e Lacerda, de forma indiferenciada pela combinação da classe 1 e 3 unidade E;
- 3) o Granito - Gnaisse Santa Helena encontra-se representado pela classe 1, unidade A;
- 4) e sua possível variação faciológica pelas combinações das classes 1, 3 e 4, unidade C;

- 5) a classe 2 encontra-se correspondência geológica com unidade laterítica, posicionado a norte da área, unidade D.

Assim pode-se verificar que, embora seja possível identificar detalhadamente algumas unidades geológicas a grande vantagem está em detectar os grandes "trends" regionais, caracterizando os principais corpos existentes na região. Dessa maneira a automação dessa técnica permite a aplicação da análise de agrupamento em grande quantidade de dados e extensa cobertura regional, identificando as principais unidades litológicas existentes, fornecendo uma visão preliminar da geologia regional em curto espaço de tempo.

Salienta-se que é indispensável um certo conhecimento geológico prévio da área trabalhada.

A aplicação desta técnica (ISODATA) neste trabalho obteve apenas resultados preliminares, sendo de fundamental importância o aprofundamento dos estudos sobre a mesma.

CAPÍTULO 5CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista que o mapeamento geológico e a pesquisa mineral envolvem grandes investimentos, as entidades envolvidas em tais empreendimentos necessitam absorver novas tecnologias que possam adicionar aos métodos convencionais, de maneira que seja possível agilizar o tratamento de dados e minimizar os custos.

Para o reconhecimento geológico de grandes territórios de maneira rápida e eficiente utiliza-se de forma integrada imagens de satélite e dados aerogeofísicos. O potencial de integrar esses dados (geofísicos, LANDSAT-TM), através de técnicas de processamento de imagem dentro de um Sistema de Informações Geográficas mostrou ser uma ferramenta favorável e promissora, uma vez que permitiu agilizar o tratamento de dados e foi possível gerar parâmetros adicionais aos métodos já convencionais de pesquisa.

A multivariância dos aspectos e fenômenos geológicos desaconselha o uso de regras gerais e interpretações genéricas, fazendo-se de cada caso um problema particular. Levando isso em consideração, e apesar dos resultados geológicos obtidos neste trabalho, através de técnicas de processamento de imagem e Sistema de Informações Geográficas serem válidos apenas para a área objeto, a utilização dessas técnicas é válida também para outras regiões, tendendo a avançar e melhorar os trabalhos de mapeamento geológico. Os trabalhos de investigação no terreno são altamente onerosos e, embora essas técnicas tenham sido aplicadas nesta pesquisa em uma área em que já se estava realizando os trabalhos de campo, recomenda-se que toda a metodologia aqui aplicada seja feita previamente aos mesmos, cujos resultados possam dirigir as observações de

afloramentos e otimizar a etapa de campo, conseqüentemente diminuindo custos e facilitando a obtenção de resultados dentro de um programa de levantamento geológico.

Foi de fundamental importância a inicialização dos trabalhos através da interpretação da imagem LANDSAT-TM a nível regional, cujo resultado forneceu subsídios ao posicionamento tectônico da área trabalhada, o que facilitou a interpretação e correlação com os dados geofísicos locais, principalmente a gravimetria e aeromagnetometria. Embora não tenha sido utilizado neste trabalho, recomenda-se inicialmente também a utilização dos dados aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) a nível regional, pois só assim determinadas anomalias, em princípio discrepantes localmente, podem ser explicadas a nível de grandes "trends" regionais, caso da aeromagnetometria neste trabalho. Ou seja, deve-se ter inicialmente uma visão do geral (regional) para posteriormente interpretar os dados particulares (local).

A grande quantidade de dados utilizados e manuseados neste trabalho, realizado em grande área (folha 1:100.000), torna-se operacionalmente inviável em sistemas desenvolvidos em microcomputadores, podendo ser elaborado (a nível operacional) somente em estações de trabalho ou equipamento de maior porte, que tenham grande capacidade de memória e processadores poderosos o suficiente para a realização de processamento de imagem. Embora graças a evolução de "hardware" nos últimos anos, hoje pode-se comprar sistema PDI/SIG baseada em estação de trabalho relativamente mais barato do que a anos atrás. Devem ser considerados ainda o custo inicial na aquisição do sistema, pois a relação custo/benefício pode ser muito alta em várias áreas de aplicação tornando, o investimento inviável. Salienta-se que neste trabalho defrontou-se com vários problemas técnicos relativos à entrada de dados associados a conversão dos

registros geográficos existentes em arquivos automatizados e georeferenciados (digitalização, compatibilização de formatos e sistemas), sendo requerido muito esforço técnico e treinamento para tornar os arquivos digitais. Além disso a utilização de dois sistemas extremamente diferentes e incompatíveis entre si (SITIM/SGI - INPE e INTERACT/INTERGRAPH) exigiu neste trabalho treinamento duplo para operação de inúmeros comandos dos mesmos. Recomenda-se, havendo possibilidade de concentrar as atividades em apenas um equipamento, evitando transferências de arquivos e principalmente evitar gastos e tempo com treinamento de vários "softwares" e adaptações com estações de trabalho.

As técnicas computacionais de processamento de imagem (ampliação de contraste, composição colorida, IHS, "relevo" sombreado, MNT, etc.) possibilitaram uma multiplicidade de maneiras de se tratar e apresentar os dados utilizados (geofísicos e imagens LANDSAT-TM), possibilitando melhor a utilização dos mesmos. Assim os dados geofísicos gerados no formato "raster" mostraram características (níveis de cinza, gradação de cores, textura de relevo, etc.) amplamente superiores ao mapa de contorno tradicionalmente utilizado, permitindo maiores possibilidades de identificação de estruturas geológicas e refinamento de possíveis contatos litológicos, além de favorecer mais facilmente a correlação dos diferentes dados utilizados. É importante salientar que as possibilidades de manusear dados através de SIG são imensas e que, neste trabalho, foram utilizados apenas algumas técnicas das inúmeras disponíveis dentro de um SIG e que podem ser implementadas de acordo com a necessidade do usuário.

Todos os dados geofísicos utilizados (aeromagnetometria, aerogamaespectrometria e gravimetria) foram abordados apenas dando enfoque qualitativo. É importante salientar que é possível trabalhar com esses dados

acima citados também com enfoque quantitativo, como por exemplo através da transformação das unidades aerogamaespectrométricas em ppm, modelamentos dos dados gravimétricos e magnetométricos, etc., o que pode ser proposto para futuros trabalhos complementares.

A avaliação e análise dos dados utilizados (aeromagnetometria, gravimetria, aerogamaespectrometria e Imagem LANDSAT-TM) foram superiores quando tratados individualmente. Quando elaborada a fusão ("merge") dos dados geofísicos com as imagens LANDSAT-TM acrescentou-se aos dados geofísicos um referencial geográfico, o que pode facilitar a definição e o posicionamento de trabalhos de detalhamento de campo, locação de malhas de vôos de aerolevamentos geofísicos, prospecções geoquímicas, etc. Portanto, para interpretação geológica, recomenda-se primeiro o tratamento de todos os dados individualmente e apenas em seguida a realização da integração e/ou fusão, e tratamento estatístico dos mesmos.

Apesar de neste trabalho ter sido aplicado o ISODATA apenas nos dados de aerogamaespectrometria e Imagem LANDSAT-TM, os resultados preliminares mostraram razoável correlação geológica, sendo que as discrepâncias verificadas entre as classes e o mapeamento geológico poderiam ser possivelmente amenizadas com a utilização de outros parâmetros, como magnetometria, gravimetria e radar. A homogenização das combinações de várias classes (aglutinação de duas ou mais classes) possivelmente permitiria a caracterização melhor das unidades litológicas. Para isso recomenda-se a utilização da classificação híbrida, ou seja, após a classificação não supervisionada (ISODATA), que fornece subsídios para a seleção de amostras de treinamento, aplica-se posteriormente uma classificação supervisionada. Acrescenta-se ainda que neste trabalho obteve-se apenas resultados preliminares da técnica de classificação não

supervisionada ISODATA, sendo que testes com maior ou menor desvio padrão, nº de classes iniciais, variações nas Distâncias Euclidianas, etc. poderiam melhorar os resultados obtidos.

A nível operacional, a saída de dados é de fundamental importância, e, de forma como foi realizada neste trabalho (fotos da tela) apenas serve para ilustrar a metodologia desenvolvida. Para utilização plena dos dados em caráter operacional, deve-se dispor de "plotters" eletrostático ou a laser para impressões de imagens raster na escala do trabalho a ser realizado, ou caso não seja possível, dispor do equipamento fotográfico acoplado ao sistema (ex. REMBRANDT) e fazer a ampliação da foto na escala desejada.

Em síntese, deve-se considerar que todas as informações geológicas disponíveis em uma área de trabalho devem ser utilizadas, pois além das mesmas se complementarem verificou-se que quanto mais estreitas foram as relações entre os dados utilizados, maior foi a segurança da interpretação dos mesmos. Mostrou-se neste trabalho que uma das formas de integrar as informações disponíveis é através de técnicas de processamento de imagem e Sistema de Informações Geográficas, no qual foi feita uma integração coordenada e sistemática de uma gama de grande quantidade de dados, sendo possível sugerir novos problemas e somar várias informações ao conhecimento geológico da área trabalhada. Assim pode-se verificar que além da confirmação de grande parte das litologias e lineamentos estruturais presentes pôde-se aventar a presença de outros possíveis litotipos não cartografados na folha Pontes e Lacerda, o que teria maior importância se aplicada esta metodologia previamente à etapa de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. de Geologia do sudoeste Mato-Grossense. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1964a. 118p. (Boletim,116)
- Geologia do centro-oeste Matogrossense. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1964b. 137p. (Boletim 215).
- Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 1967. (Boletim 241).
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blucher, 1984.
- Almeida, F.F.M. de; Hasui, Y; Neves, B.B. de B.; Fuck, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8., Campina Grande, 1977. Atas. Campina Grande, SBG, 1977, p.363-391.
- Alves, D.S. Sistemas de Informação Geográfica In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 23-25 maio, 1990. Anais São Paulo, USP. Escola Politécnica, 1990, p. 66-77
- Amaral, D.L.; Fonzar, B.C. Vegetação. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982. p. 401-452. (Levantamento de Recursos Naturais, 26)
- Amaral, G. Geologia pré Cambriana da região Amazônica. (Tese) - Instituto de Geociências Universidade São Paulo, São Paulo, 1974.
- Andrade Figueiredo, A.J. de; Olivatti, O. Projeto Alto Guaporé: relatório final integrado. Goiânia, DNPM/CPRM, 1974. 173p.

- Arnoff, S. Image processing for data integration in mineral exploration. In: Canada Symposium on Remote Sensing, 9., New Foundland, Aug. 14-17, 1984, Proceedings. p. 423-432.
- Barros, A.M.; Simões, M.A. Geologia In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982. p.25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).
- Barros, A.M. et al. Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, 1982. p.25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).
- Bellizia, C.M. Paleotectônica del escudo de Guyana. In: Conference Geology International, 9., Guianas, Caracas, Memoria. p.251-305.
- Berry, J.K. Basic concepts concerning the use of geographic information systems. In: Pecora Symposium, 7., South Dakota, 1987. Proceedings, Dakota, 1987, p.15-21.
- Bloomfield, K.; Litherland, M. Proyecto de Exploracion Mineral DEL Orinete Boliviano: Proyecto Precámbrico; fase 1 - 1976 - 1979. Resumen de La Geologia y Potencial de Minerales Del Área Del Proyecto, Zona Sul. Tradução de Gustavo Donoso. Santa Cruz, Serviço Geológico de Bolívia, 1979. 56p. (Informe número 1).
- Burroughs, P.A. Principles of geographycal information systems for land resources assessment. Oxford, Claredon, 1986.

- Cardoso, O.R.F.A.; Del'Arco, J.O.; Souza, E.P. de
Reconhecimento geológico em parte das folhas SD. 20-Z-D.
SD.21-Y-A- e SD.21-Y-C. Goiânia, Projeto RADAMBRASIL,
1980. 62p. Relatório Técnico de viagem inédito.
- Chavez Jr., P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J. A. Comparison
of three different methods to merge multiresolution and
multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,
57(3):295-303 Mar. 1991.
- Conradsen, K.; Nilsson G. Application of integrated
Landsat, geochemical and geophysical data in mineral
exploration. In: International Symposium on Remote
Sensing of Environment, 3., Thematic Conference "Remote
Sensing for Exploration Geology", Colorado Springs, CO.
Apr. 16-19, 1984. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM,
1984, p.499 -551.
- Cordani, V.G. et al. Evolução tectônica da Amazônia com
base em dados geocronológicos. In: Congresso de Geologia
Chileno, 2., Arica, 1979. Anais. p. 137-148.
- Correia, V.R.M.; Dutra, L.V. Comparação de métodos de
transformações no espaço de cores para realce de imagens
coloridas. In: Latin American Symposium on Remote
Sensing, 4., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989.
Proceedings. San Carlos de Bariloche, 1989, p.1072-1080.
- Crósta, A.P. High resolution geochemistry and satellite
data integration: application to mineral exploration in a
tropical environment. In: International Symposium on
Remote Sensing of Environment, 18., Thematic Conference
"Remote Sensing for Exploration Geology", Denver, CO.
Apr. 29 - May 2, 1991. Proceedings. Ann Arbor, MI,
ERIM, 1991, p.820-835.

Curram, P.J. Principles of remote sensing. London, Longman, 1985.

Departamento Nacional de Pesquisas Minerais/Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/PROSPEC - Geologia, Prospecção, Aerofotogrametria S/A (DNPM/CPRM/PROSPEC) Projeto Aerogeofísico Cabeceiras do Rio Guaporé, convênio DNPM/CPRM/ENCAL. Rio de Janeiro, CPRM, 1978.

Drury, S.A.; Walker, A.S.D. Display and enhancement of gridded aeromagnetic data of the Solway Basin. International Journal of Remote Sensing, 8(10):1433-1444, 1987.

Dutra, L.V.; et al. Análise automática de imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, ago. 1981. 40p. (INPE-2212-MD/009).

ENGENHARIA E PROSPECÇÕES (LASA) Levantamento fotogeológico e geoquímico, região centro-oeste de Mato Grosso, Vale do Rio Jauru e adjacências. Rio de Janeiro, DNPM, 1968a. 77p.

_____ Prospecções geoquímica e geofísica, no município de Cáceres, no Estado de Mato Grosso. Rio de Janeiro, DNPM, 1968b. 7p.

ENGESPAÇO. Manual do usuário do sistema de tratamento de imagens, SITIM - 150. São José dos Campos, 1997a.

_____ Manual do usuário do Sistema de Informações Geográficas São José dos Campos, 1987b.

Estes, J.E.; Jensen, J.R.; Simonetti, D.S. Impact of remote sensing on US. Geography. In: Remote sensing of environment. Holand, Elsevier, 1980. p. 43-80.

Fernandez - Alonso, M e Tahon - Lithological Discrimination and Structural Trend in W. Rwanda (Africa) on Images of Airborne Radiometric and Aeromagnetic Surveys, Coregistered to a Landsat TM Scene. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 18., Thematic Conference "Remote Sensing for Exploration Geology", Denver, CO, Apr. 29 - May 2, 1991. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1991, p.1485-1498.

Ferreira Filho, C.F ; Bizzi, L.A. Caracterização de cumulos máficos granulitizados no Rio Alegre - MT. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 2., Goiânia, 1985. Goiânia, SBG, p.239-245.

Ferreira, J.C.G.; Menezes, R.G. de; Takahashi, A.T. Projeto Rio Alegre ("Projeto Conceitual"), Folha SD 21-Y-C-II, Pontes e Lacerda. escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM. São Paulo, 1987, 154p. Relatório Inédito do Programa de Levantamentos Geológico Básicos do Brasil, 1987, 2v.

Figueiredo, A.J. de A. et al. Projeto Alto Guaporé: relatório final integrado. Goiânia, DNPM/CPRM, 1974. 1lv.

Hall, D.J.; Khanna, D.K. The ISODATA method computation for the relative percption of similarities and differences in complex and real data. In: Statistical methods for digital computers. New York, NY, John Wiley, 1977. v.3, p.340-373.

Harris J.R.; Murray, R. IHS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data. Photogrametric Engineering e Remote Sensing, 56(12):1631-1641, Dec. 1990.

- Haydn, R.; Dalke, G.; Henkel, J. Application of the IHS Color Transform to the Processing of Multisensor Data and Image Enhancement. In: International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi - Arid Lands, Cairo, Egypt. Jan. 1982. Proceedings. Cairo, 1982, p.599-616.
- Howard, S.H.D.; Vinha, C.A.G. da; Torres, M.M. Análise de Agrupamento em dados aerogamaespectrométricos In: Congresso Brasileiro de Geologia; 30., Recife, 1978. Resumos das comunicações. SBG - Núcleo Nordeste, 1978, (Boletim 01), Trabalho Inédito.
- Ii, F.A.M.; D'Alge, J.C.L.; Ii, S.S.; Castellari, S.P.; Correia, V.R.M. Geocodificação de imagens orbitais para utilização em Sistemas de Informações Geográficas. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 14., Gramado, 21-26 maio 1989. Anais. Gramado, 1982. v.2, p.285-288.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Novas paisagens do Brasil. Rio de Janeiro, 1977. 286 p.
- Intergraph Corporation MGE Imager "User's Guide" USA, Mar. 1991.
- Isotta, C.A.L.; Carneiro, J.M.; Kato, H.T.; Barros, R.J.
Projeto Província Estanífera de Rondônia, Relatório final. Convênio CPRM/DNPM, Manaus, 1978. Inédito.
- Leite, J.A.D.; Saes, G.S.; Weska, R.K. A suite intrusiva Rio Branco e o Grupo Aguapeí na Serra de Rio Branco, Mato Grosso, In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 2., Goiânia, 1985. Anais. SBG, 1985, p.247-255.

Litherland, M. et al. The geology and mineral resources of the Bolivian precambrian shield. London, British Geological Survey, 1986. 153p. (Natural Environment Research Council)

Marble, D.A. Geographic information system: an overview. In: Pecora Symposium on Spatial Information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow, Sioux Falls, SD, Oct. 2-4, 1984. Proceedings. Silver Spring, MD, IEEE Computer Society, 1984, p. 18-24.

Meneses, P.R. Avaliação e seleção de bandas do sensor " Thematic Mapper " do LANDSAT-5 para discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. (Tese de Doutorado em Geologia) - USP. Instituto de Geociencias, São Paulo, 1986. 233p.

Menezes, R.G. de et al. Programa de levantamentos geológicos básico do Brasil, folha SD 21-Y-C-II Pontes e Lacerda. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM. São Paulo, CPRM, 1991. Relatório em andamento.

Metelo, M.J. Geofísica em levantamentos geológicos - magnetometria, gamaespectrometria, Rio de Janeiro, CPRM, DIGEOF, 1990. Inédito.

Monteiro, et al. O Grenstone Belt do Alto Jauru. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34., Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG, 1986, p.630-647. v.2.

Motta, A.C.; Gomes, R.D. Geofísica em levantamentos geológicos - gravimetria. Rio de Janeiro, CPRM, DIGEOF, 1990. Inédito.

- Oliveira, A.I. de; Leonardos, O.H. Geologia do Brasil. 20 ed. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, 1943. 813p. (série didática, 2.)
- Oliveira, E.P. de Geologia. Reconhecimento geológico do nordeste de Mato Grosso, Expedição científica Roosevelt - Rondon. Rio de Janeiro, 1915. Anexo 1, 82p. Brasil Comissão de Linhas Telegráficas e Estratégicas de Mato Grosso ao Amazonas.
- Oliveira, M.O.B. de. Aquisição de tratamento de dados para um sistema geográfico de informações. (Tese de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. INPE, fev. 1986, 77 p. (INPE 4172 - TDL/272).
- Oliveira, V.A. de; Amaral Filho, Z.P. do; Iiera, P.C. Pedologia. In: PROJETO RADAMBRASIL Folha SD.21 Cuiabá Rio de Janeiro, 1982. p.257-400. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).
- PROJETO Cabeceiras do Rio Guaporé Levantamentos aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos, Mato Grosso: relatório final. Rio de Janeiro, PROSPEC /CPRM/DNPM, 1978. v.1, mapas.
- Quintanilha, J.A. Processamento de Imagens Digitais In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 23 - 25 maio, 1990. Anais. São Paulo, USP Escola Politécnica, 1990, p.37-48.
- Richards, J. A Remote Sensing digital analysis and introduction. Berlim, Spring-Verlag, 1986. 281 p.

- Rodrigues, A.P. et al. Projeto Alto Guaporé: relatório final, Folha Mato Grosso - SD. 21-Y-C. Goiânia, DNPM/CPRM, 1974. v.4, 35p.
- Rodrigues, M. Introdução ao geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 23-25 maio, 1990. Anais. São Paulo, USP. Escola Politécnica, 1990, p 1-26.
- Ross, J.L.S.; Santos, L.M. dos Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD 21 Mato Grosso. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1982. p.193256. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).
- Saes G.S. et al. Geologia da Folha Jauru (SD.21-Y-C-III): uma síntese dos conhecimentos geológicos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro, SBG, 1984, p. 2193-2204.
- Santos, J.O.S.; Loguercio, S.O.C., Ramalho, R. A parte meridional (Escudo Brasil Central) e as Bacias do Alto Tapajós e Parecis - Alto Xingú. Texto explicativo In: Schobbenhaus Filho, C., ed. Mapa geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, 1981.
- Santos, R.O.B. dos et al. Geologia Folha SD 20 Guaporé Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 1979. p.21-123. (Levantamento de Recursos Naturais, 19).
- Schowengerdt, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. New York, N.Y., Academic, 1983. 249p.

- Siegal, B.S.; Abrams, M.J. Geologic Mapping using Landsat data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42(3):325-337, 1976.
- Silva, G.G. da et al. Geologia das folhas SB.22 Araguaia e parte de SC.22 Tocantins. p.I/3-I/143. In: PROJETO RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- Souza, E.P. de; Hildred, P.R. Contribuição ao Estudo da Geologia do Grupo Aguapeí, oeste de Mato Grosso. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31., Camboriú, 1980, Anais. São Paulo, SBG, 1980, v.2, p. 813-820.
- Tassinari, C.C.G. et al. Geological Evolution and Evaluation of Recent Geochronological data in Amazonian craton. In: Precambrian Evolution of the Amazonian Region, Final Meeting of the Working group. Carajás, Pará, 1987. UNESCO/IUGS, 1987, p.20-31.
- Vasconcellos, R.M. de et al. Geofísica em levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, CPRM, DIGEOF, 1990. inédito.
- Vieira, A.B. Notas sobre interpretação qualitativa de mapas aerogeofísicos. Rio de Janeiro, 1982. 16 p. Relatório interno CPRM, inédito.
- Yamamoto, J.K. Representações gráficas espaciais em geologia aplicações no Complexo Alcalino de Anitápolis. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.