

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5366-TDI/465

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS EM PESQUISA  
GEOLÓGICA NA AMAZÔNIA (REGIÃO DE CARAJÁS)

João Luiz Gouvêa

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelo Dr. Edison Crepani,  
aprovada em julho de 1990

INPE  
São José dos Campos  
1992

**528.711.7:550**

GOUVÊA, J.L.

Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em pesquisa geológica na Amazônia (região de Carajás). / J.L. Gouvêa. -- São José dos Campos: INPE, 1992. 111p. (INPE-5366-TDI/465)

1. Pesquisa geológica. 2. Amazônia.  
3. Carajás. 4. Título

**INPE-5366-TDI/465**

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS EM PESQUISA  
GEOLÓGICA NA AMAZÔNIA (REGIÃO DE CARAJÁS)**

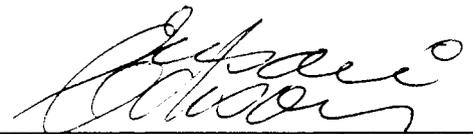
**João Luiz Gouvêa**

**INPE  
São José dos Campos  
1992**



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

Dr. Edison Crepani



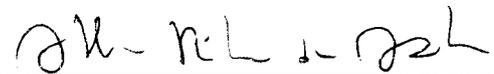
Presidente/Orientador

Dr. João Batista Sena Costa



Membro da Banca  
- convidado -

Dr. Athos Ribeiro dos Santos



Membro da Banca

Dr. Waldir Renato Paradella



Membro da Banca

Candidato: João Luiz Gouvêa

São José dos Campos, 02 de julho de 1990



Aos meus pais  
Albano e Celeste

A minha esposa Helena e meus  
filhos Rodrigo e Aline.



## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho envolveu uma série de etapas, nas quais tornou-se imprescindível a colaboração de algumas pessoas e entidades. Assim, ao finalizá-lo, gostaria de externar meus mais sinceros agradecimentos aos que decisivamente contribuíram para sua realização.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Rio Doce Geologia e Mineração S.A. (DOCEGEO), pelo apoio e oportunidade de realizar e desenvolver este trabalho.

À Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), pela concessão de seu Laboratório de Sensoriamento Remoto e seus técnicos na etapa de Processamento Digital deste trabalho.

Ao Dr. Edison Crepani, pelo incentivo, paciência e orientação durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao prof. Dr. João Batista Sena Costa pelas discussões e orientação durante a elaboração final desta dissertação.

A geóloga Denice Biagini, pela revisão realizada no texto e valiosas sugestões que muito contribuíram para a sua compreensão.

A equipe de desenhistas da DOCEGEO, Distrito Amazônia, sob orientação de Assis Amoras, pelos desenhos das figuras, e do mapa que compõem este trabalho.

A amiga Nazaré Pina, pela paciência e colaboração demonstrada na datilografia deste trabalho.

A amiga Ana Margarida responsável pela biblioteca da DOCEGEO, Distrito Amazônia e ao bibliotecário Luiz Otávio, pela revisão e organização das referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa.

Finalmente, um agradecimento especial à minha esposa, Helena, pela paciência, compreensão e incentivo durante todo o período em que estive envolvido nesta pesquisa.

## RESUMO

O mapa lito-estrutural e o arranjo geométrico-cinemático de uma fração expressiva da Região dos Carajás, situada a sudeste do Estado do Pará, apresentados nesta pesquisa, foram alcançados através da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, integrada aos modernos conceitos da geologia estrutural e informações disponíveis.

A análise visual dos elementos texturais de relevo e drenagem e dos padrões tonais, calcada nos princípios básicos do método "Lógico e Sistemático", permitiu a individualização de várias zonas fotolitológicas distintas. Foi possível também contribuir para a caracterização da geometria das estruturas relacionadas aos sistemas estruturais do Arqueano e do Proterozóico Médio.

As estruturas antigas que se destacam na área são os Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, separados por feixes de zonas de cisalhamento que compõem sistemas imbricados no âmbito dos gnaisses do Complexo Xingu. O Sistema Transcorrente Carajás é representado por uma estrutura sigmoide constituída por unidades rochosas do Grupo Grão Pará. O Sistema Transcorrente Cinzento compreende os duplexes Salobo e Cururu, formados também por rochas supracrustais. A evolução cinemática destes sistemas transcorrentes envolveu transtensão seguida de transpressão, sendo que no duplex Salobo a evolução se completa com outro pulso transtensivo. Outras estruturas associadas se referem a zonas de cisalhamento P e R'.

A falha Carajás, caracterizada por dois segmentos retos sinistrais separados por um segmento compressivo, e várias descontinuidades NE-SW seccionam a estrutura sigmoide Carajás deslocando estruturas antigas.



## ABSTRACT

The application of remote sensing techniques integrated with modern concepts of structural geology and other available information has led in this research to the elaboration of a lithostructural map and to the knowledge of the kinematic-geometric pattern of a large part of the Carajás Region, southeast of Pará state.

Several photogeological zones were mapped by visual analysis of textural elements related to drainage and relief using the basic principles of the "logic and systematic" method. Also, a contribution to the characterization of structures related to Archaean and Mid-Proterozoic Structural Systems was achieved.

The most important old structures in the área are the Carajás and Cinzento strike-slip Systems, which are separated by shear zones forming imbricated systems in the gneisses of the Xingu Complex. The Carajás strike-slip System is represented by a sigmoid structure of rocks of Grão Pará Group, while the Cinzento strike-slip System is formed by the Salobo and Cururu Duplexes, also of supracrustal rocks. The kinematic evolution of these systems involved transtension followed by transpressure, but in the Salobo Duplex there are structures related to a final transtension phase. Other associated structures are P and R' zones.

The Carajás fault, characterized by two straight sinistral segments separated by a compressive segment together with several NE-SW discontinuities, cross the Carajás sigmoid structure displacing old structures.



## SUMÁRIO

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS.....   | xv        |
| <br>  |           |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>   | <u>1</u>  |
| 1.1 - Localização e acesso.....   | 1         |
| 1.2 - Objetivos do trabalho.....  | 3         |
| 1.3 - Materiais e métodos.....  | 4         |
| 1.3.1 - Materiais.....  | 4         |
| 1.3.1.1 - Imagens Landsat.....  | 4         |
| 1.3.1.2 - Imagens de Radar.....   | 5         |
| 1.3.1.3 - Cartas topográficas.....  | 6         |
| 1.3.1.4 - Mapas.....  | 7         |
| 1.3.1.5 - Características das imagens.....  | 7         |
| 1.3.2 - Métodos.....  | 11        |
| 1.3.2.1 - Mapa fotolitológico obtido a partir de técnicas de fotointerpretação de imagens TM-Landsat..... | 11        |
| 1.3.2.2 -Estudo estrutural em imagens de baixa resolução com base no traçado dos lineamentos              | 14        |
| <br>  |           |
| <u>CAPÍTULO 2 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....</u>   | <u>19</u> |
| 2.1 - Geomorfologia.....  | 19        |
| 2.1.1 - Planalto dissecado do sul do Pará.....  | 19        |
| 2.1.2 - Depressão periférica do sul do Pará.....  | 20        |
| 2.2 - Clima.....  | 20        |
| 2.3 - Vegetação.....  | 21        |
| 2.3.1 - Sub-região da Serra Norte.....  | 22        |
| 2.3.2 - Sub-região da superfície arrasada da Serra dos Carajás .....                                      | 24        |
| 2.4 - Hidrografia.....  | 24        |

|   | Pág. |
|---|------|
| <u>CAPÍTULO 3 -COMENTÁRIO SOBRE OS TRABALHOS DESENVOLVIDOS NA REGIÃO DA SERRA DOS CARAJÁS</u>         | 27   |
| <u>CAPÍTULO 4 - DESCRIÇÃO DAS ZONAS FOTOLITOLÓGICAS...</u>  | 33   |
| <u>CAPÍTULO 5 - DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS.....</u>   | 39   |
| 5.1 - Introdução.....   | 39   |
| 5.2 - Descrição dos sistemas estruturais.....   | 41   |
| 5.2.1 - Sistema Transcorrente Carajás.....  | 43   |
| 5.2.2 - Sistema Transcorrente Cinzento.....   | 49   |
| 5.2.2.1 - Duplex Salobo.....  | 51   |
| 5.2.2.2 - Duplex Cururu.....  | 53   |
| 5.2.2.3 - Outras estruturas.....  | 55   |
| 5.2.3 - Sistema imbricado.....  | 56   |
| 5.2.4 - Falha Carajás.....  | 56   |
| <u>CAPÍTULO 6 -EVOLUÇÃO CINEMÁTICA DOS SISTEMAS TRANSCORRENTES E IMPLICAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS.....</u> | 59   |
| 6.1 - Introdução.....   | 59   |
| 6.1.1 - Primeiro evento.....  | 59   |
| 6.1.2 - Segundo evento.....   | 62   |
| <u>CAPÍTULO 7 -DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES METALOGENÉTICAS.....</u>                      | 65   |
| 7.1 - Discussão dos resultados.....   | 65   |
| 7.1.1 - Unidades fotolitológicas.....   | 65   |
| 7.1.2 - Estruturas.....   | 71   |
| 7.2 - Considerações metalogenéticas.....  | 75   |

|   | Pág. |
|---|------|
| <u>CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</u> | 77   |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                     | 81   |
| APÊNDICE A - MAPA LITO-ESTRUTURAL                   |      |



LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| 1.1 -Mapa de localização .....   | 2    |
| 1.2 -Mapa índice das imagens TM LANDSAT-5.....   | 5    |
| 1.3 -Mapa índice dos mosaicos semi-controlados de<br>SLAR.....   | 6    |
| 1.4 -Mapa índice das cartas topográficas.....  | 6    |
| 1.5 -Parâmetros orbitais do LANDSAT-5.....   | 8    |
| 1.6 -Módulos para processamento digital.....   | 15   |
| 2.1 -Rede hidrográfica da área de trabalho.....  | 26   |
| 5.1 -Estruturas que configuram a geometria de uma<br>porção expressiva dos Sistemas Estruturais da<br>Região dos Carajás.....  | 40   |
| 5.2 -Imagem realçada IHS, mostrando o padrão anas-<br>tomótico, típico de zonas de cisalhamento, que<br>ocorre na aba norte do Sistema Transcorrente<br>Carajás.....   | 45   |
| 5.3 -Imagem realçada IHS, mostrando as formas lenti-<br>culares das zonas fotolitológicas que ocorrem<br>na aba sul do Sistema Transcorrente Carajás...  | 46   |
| 5.4 -Reprodução fotográfica da imagem TM LANDSAT-5,<br>224/64, banda 4, mostrando o fechamento a oes-<br>te e leste da sigmoide Carajás e o deslocamen-<br>to de uma fração de rocha ao longo da Falha<br>Transcorrente Carajás..... | 48   |
| 5.5 -Composição colorida RGB, com ALC, mostrando de<br>talhes das estruturas próximas ao depósito de<br>ferro de N4.....   | 50   |
| 5.6 -Composição colorida RGB, com ALC, mostrando o<br>Duplex Salobo.....   | 52   |
| 5.7 -Composição colorida RGB, com ALC, mostrando o<br>Duplex Cururu.....   | 54   |

|  | Pág. |
|--|------|
| 7.1 -Composição colorida RGB, com ALC. A imagem mostra pontos correspondentes as unidades fotolitológicas. (Módulo-A).....   | 67   |
| 7.2 -Composição colorida RGB, com ALC, utilizada na definição de unidades fotológicas.(Módulos-B).   | 68   |
| 7.3 -Imagem realçada por transformação IHS. As componentes I e S foram ampliadas linearmente. Imagem utilizada na definição de unidades fotolitológicas. (Módulo-A)..... | 69   |
| 7.4 -Imagem IHS utilizada na definição de unidades fotolitológicas. (Módulo-B).....  | 70   |
| 7.5 -Imagem realçada por Decorrelação utilizada na definição de unidades fotolitológicas. (Módulo-A).....  | 72   |
| 7.6 -Imagem realçada por Decorrelação utilizada na definição de unidades fotológicas. (Módulo-B).  | 73   |

CAPÍTULO 1INTRODUÇÃO1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área selecionada para estudo localiza-se no sudeste do Estado do Pará, na Serra dos Carajás, entre os paralelos  $05^{\circ} 37'30''$  e  $06^{\circ} 26'45''$  de latitude sul e meridianos  $50^{\circ} 15'$  e  $50^{\circ} 45'$  de longitude oeste, distando em linha reta cerca de 145 km a SW da cidade de Marabá e cerca de 540 km da cidade de Belém (figura 1.1).

Linhas regulares de transporte intermunicipal fazem a ligação de Carajás a Marabá e a outros núcleos urbanos, através das rodovias PA-275 e PA-150, ambas pavimentadas. O núcleo urbano de Carajás possui um moderno aeroporto que permite o pouso e decolagem de aeronaves de grande porte, durante o dia e a noite; vôos diários ligam Carajás a Marabá, Belém e Brasília.

Encontra-se em operação, desde 1984, a estrada de ferro que liga Carajás ao porto de Itaqui, em São Luis do Maranhão, transportando além de minério de ferro e manganês, passageiros e cargas diversas.

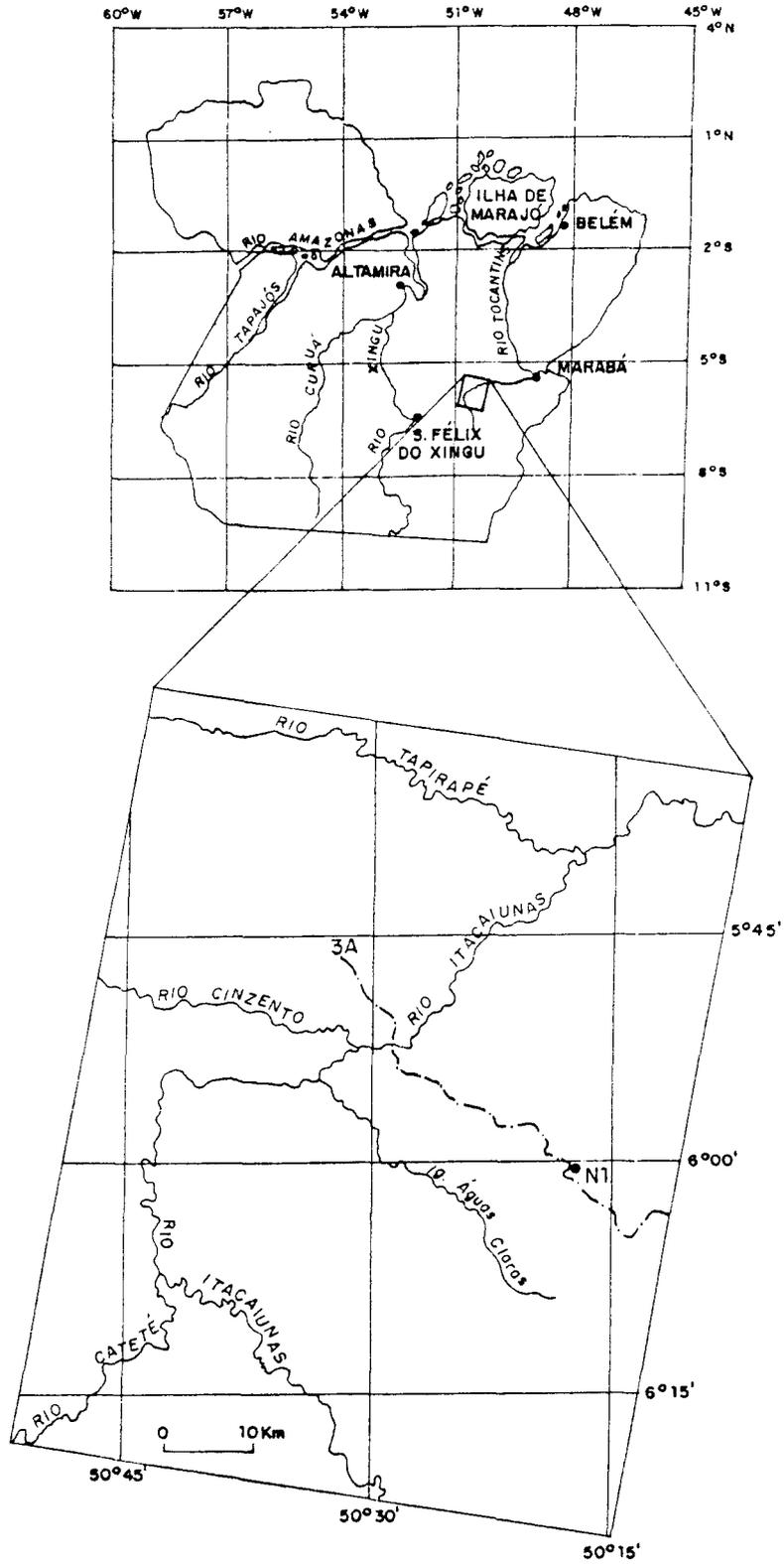


Fig. 1.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO

## 1.2 - OBJETIVOS DO TRABALHO

A pesquisa geológica efetuada diretamente no campo, quase sempre resulta na confecção de mapas geológicos que traduzem um ótimo nível de conhecimento local. Porém, às vezes podem levar a interpretações equivocadas em virtude da não associação com outras informações disponíveis nas Geociências.

Atualmente, a alta tecnologia voltada para o desenvolvimento de sensores remotos, já possibilita, com grande facilidade, a obtenção de imagens, as quais recobrem extensas áreas, permitindo a observação de feições geológicas de âmbito regional. Por esse motivo, a utilização de produtos obtidos de sensores remotos, constitui hoje mais uma importante ferramenta na investigação geológica, tanto na discriminação fotolitológica, através das técnicas de realce de imagens por computador, como na definição de elementos estruturais, cujos traços são representados por elementos textuais de drenagem e de relevo.

Apesar do expressivo acervo disponível sobre o uso do sensoriamento remoto na investigação geológica, novas técnicas que auxiliam a pesquisa mineral continuam sendo testadas, demonstrando o grande interesse dos pesquisadores por esse ramo das geociências. Nossa preocupação principal, neste trabalho, é tentar desenvolver um estudo voltado para o entendimento da geologia básica, de uma área da Amazônia, a partir da aplicação de técnicas de fotointerpretação em produtos de sensores remotos. É nossa intenção ainda, com base nos princípios gerais do método "lógico e sistemático", integrado aos conceitos modernos da Geologia Estrutural e Geotectônica, demonstrar que a utilização dessa ferramenta pode proporcionar excelentes resultados quando aplicada na região Amazônica. Em função disso, foi selecionada uma área de aproximadamente 6.750km<sup>2</sup>

localizada na Serra dos Carajás, a qual engloba importantes jazidas minerais, com a intenção de elaborar um mapa lito-estrutural que venha a contribuir para o entendimento da estruturação regional e do quadro geométrico-cinemático local, ou seja, pretende-se buscar um modelo lito-estrutural mais consistente, que possa nortear as futuras pesquisas geológicas na região de Carajás.

### 1.3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 1.3.1 - MATERIAIS

A relação de materiais utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho é encontrada a seguir:

##### 1.3.1.1 - IMAGENS LANDSAT

-Imagens TM-Landsat 5, em papel fotográfico, na escala 1:250.000, órbita 224, ponto 64, bandas 4 e 5, data da passagem 22.06.86, elevação solar  $43^{\circ}$ , Azimute solar  $50^{\circ}$  (fig. 1.2).

-Imagens TM-Landsat 5, em papel fotográfico, na escala 1:100.000, órbita 224, ponto 64, bandas 4 e 5, quadrantes A, B, C e D, data da passagem 22.06.86, elevação solar  $43^{\circ}$ , Azimute solar  $50^{\circ}$  (fig. 1.2).

-Imagem TM-Landsat 5, em papel fotográfico, na escala 1:1000.000, órbita 224, ponto 64, banda 4, data da passagem 29.07.88, elevação solar  $46^{\circ}$ , Azimute solar  $55^{\circ}$  (fig. 1.2).

-Imagem Digital TM-Landsat 5, em fita magnética CCT, órbita 224, ponto 64, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, data da passagem 22.06.86, elevação solar  $43^{\circ}$ , Azimute solar  $50^{\circ}$  (fig. 1.2).

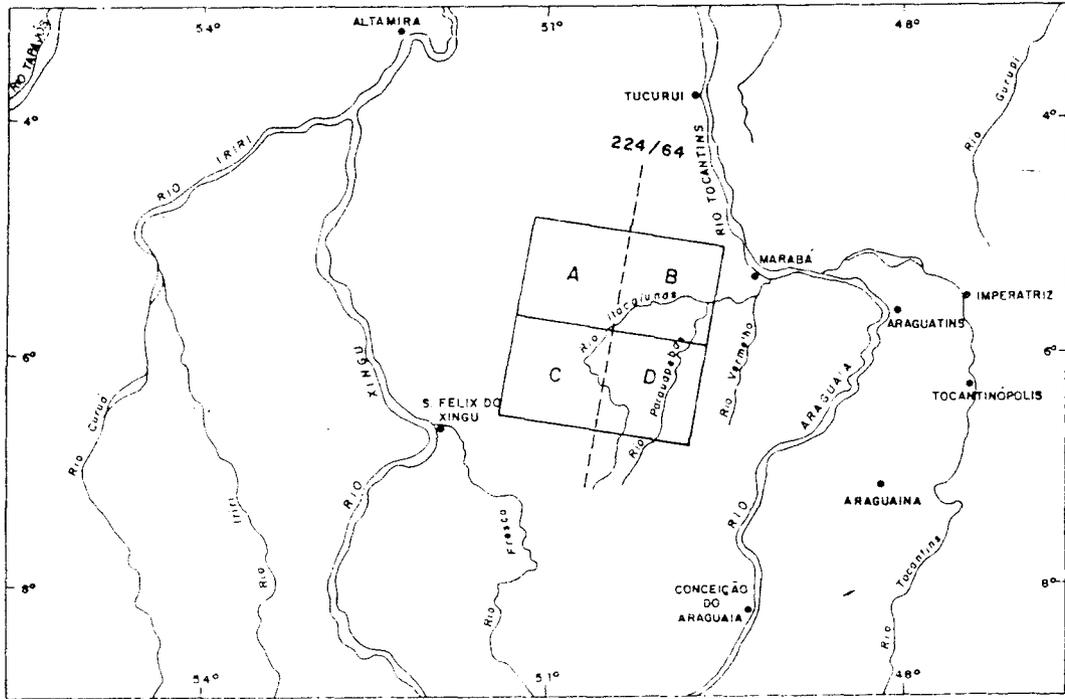


Fig. 1.2 - Mapa índice das Imagens TM LANDSAT-5.

#### 1.3.1.2 - IMAGENS DE RADAR

-Mosaicos semi-controlados de SLAR, em papel fotográfico, nas escalas 1:250.000 e 1:1.000.000, obtidos em 1971/72, com radar Gems 1000 tipo abertura sintética, banda x, folhas SB 22-X-C, SB 22-Z-C e SB 22-ARAGUAIA (fig. 1.3).

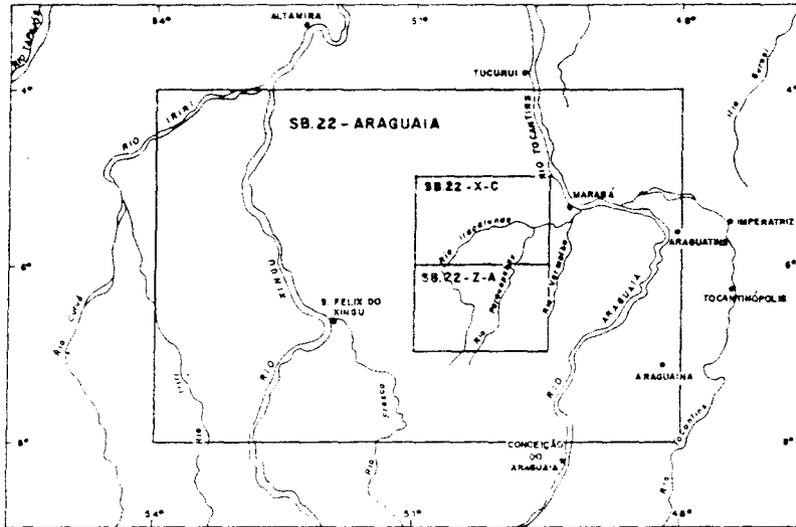


Fig. 1.3 - Mapa Índice dos Mosaicos de SLAR.

#### 1.3.1.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS

-Cartas topográficas na escala 1:100.000, executadas pela DSG (1983) e IBGE (1981), folhas SB-22-X-C-IV, SB-22-X-C-V, SB-22-Z-A-I e SB-22-Z-A-II (fig. 1.4).

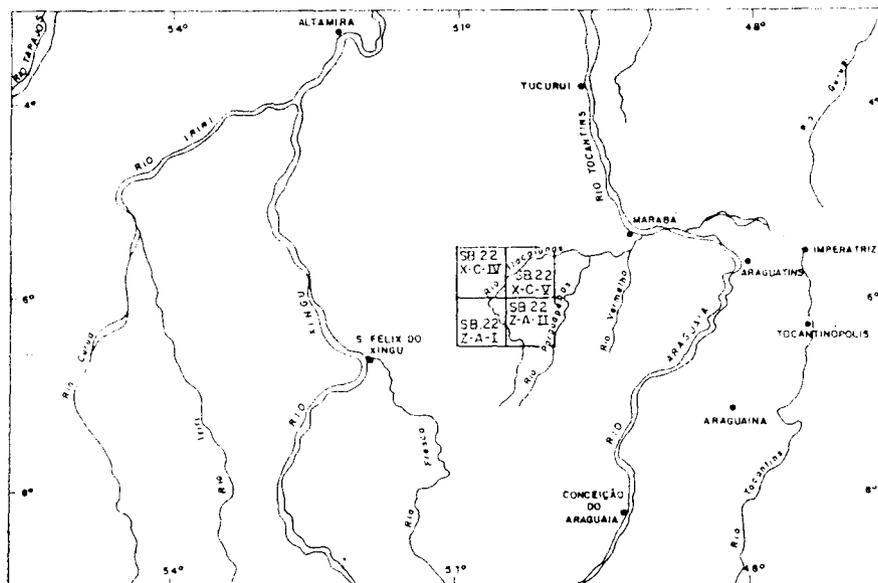


Fig. 1.4 - Mapa Índice das Cartas Topográficas.

#### 1.3.1.4 - MAPAS

-Mapas geológicos em várias escalas, confeccionados pela Rio Doce Geologia e Mineração S.A. - DOCEGEO, resultado de vários anos de pesquisas geológicas desenvolvidas pela empresa na região.

-Mapa lito-estrutural do Duplex Direcional Salobo-Mirim. Siqueira, 1990. 1:100.000.

-Mapa geológico da folha Serra dos Carajás. Araújo e Maia, no prelo. Programa Grande Carajás. 1:250.000.

#### 1.3.1.5 - CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS

##### . Imagens de Satélite

As imagens de satélite utilizadas no trabalho, pertencem a série Landsat-5, lançado em março de 1984, desenvolvido com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais sobre a superfície da terra, de forma global, sinóptica e repetitiva. O satélite Landsat-5, está colocado em uma órbita quase polar solssíncrona, formando um ângulo de  $98^{\circ}$  com o plano equatorial, a uma altitude de 705.3 km em relação ao Equador; cruzando o mesmo, de norte para sul, aproximadamente às 9:45h (hora solar local). fig. 1.5.

As imagens são obtidas a partir de dados coletados por um scanner multiespectral de segunda geração, denominado Thematic Mapper (TM) que, basicamente, converte a energia refletida pela superfície, em sinais elétricos proporcionais, posteriormente digitalizando-os. Os dados, após uma série de correções em laboratório, dão origem as imagens fotográficas e imagens digitais gravadas em fitas CCTs (Compatible Computer Tape). Estes produtos apresentam

uma resolução espectral de 7 canais; sendo seis na parte refletida do espectro eletromagnético (canais 1, 2 e 3 na região do visível e canais 4, 5 e 7 no infravermelho refletido) e um, canal 6, no infravermelho termal, parte emitida do espectro eletromagnético. As imagens TM apresentam uma resolução espacial na região do visível e infravermelho refletido da ordem de 30 m (elemento de resolução no terreno 30 x 30m), enquanto que o canal termal, uma resolução de 120 m (elemento de resolução no terreno 120 x 120m). Quanto à resolução radiométrica, o sensor TM apresenta um nível de quantização de 8 bits com tons de cinza nas imagens variando de 0 a 255 entre o preto e o branco.

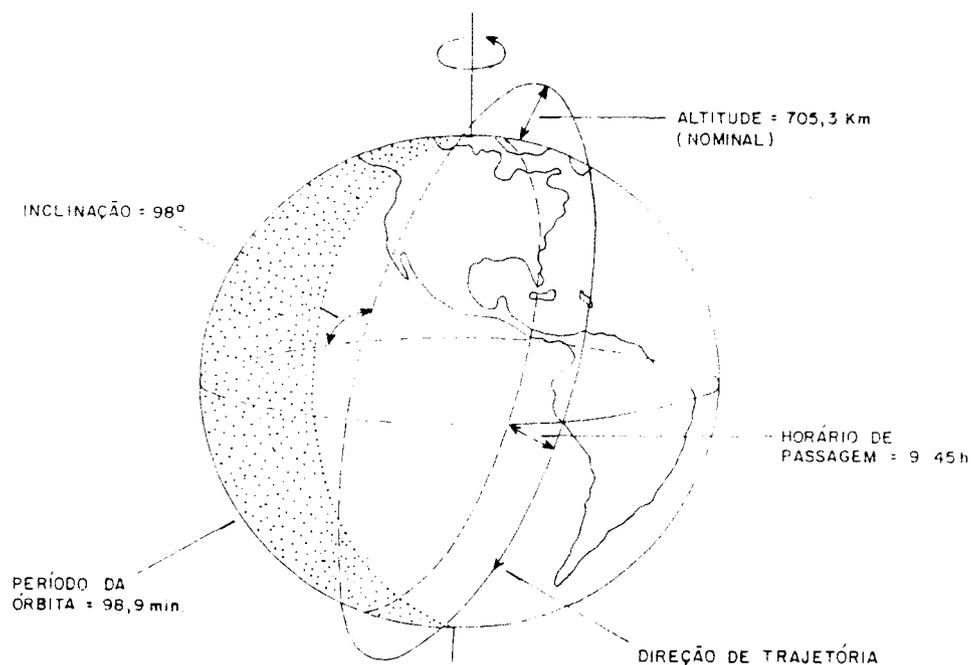


Fig. 1.5 - Parâmetros orbitais do LANDSAT-5.

Fonte: Irons (1985), p.II.26.

O período de repetitividade de imageamento de uma mesma cena é de 16 dias.

A distribuição dos canais TM, em relação ao espectro eletromagnético, é a seguinte:

|         |   |         |          |                           |
|---------|---|---------|----------|---------------------------|
| Canal 1 | - | 0,45 a  | 0,52 um  | (visível)                 |
| Canal 2 | - | 0,52 a  | 0,60 um  | (visível)                 |
| Canal 3 | - | 0,63 a  | 0,69 um  | (visível)                 |
| Canal 4 | - | 0,76 a  | 0,90 um  | (infravermelho refletido) |
| Canal 5 | - | 1,55 a  | 1,75 um  | (infravermelho refletido) |
| Canal 6 | - | 10,40 a | 12,50 um | (infravermelho termal)    |
| Canal 7 | - | 2,08 a  | 2,35 um  | (infravermelho refletido) |

Maiores informações sobre o sistema sensor TM podem ser encontradas em Engel e Weinstein (1983) e em NOAA (1984).

Neste trabalho foram utilizadas, além da imagem digital em 6 canais (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), as imagens fotográficas Canal 4 (que mesmo em regiões de densa cobertura vegetal, ressaltam de maneira excelente a topografia, propiciando uma ótima individualização de feições estruturais), e Canal 5, (que contribui bastante na identificação de atividades antrópicas e traçado de estradas para o reconhecimento geológico). Os canais 4 e 5, quando utilizados conjuntamente, proporcionam uma ótima discriminação das ocorrências de ferro na Serra dos Carajás.

#### . Imagens de Radar

O Radar é um sistema imageador que possui sua própria fonte de iluminação ou de radiação eletromagnética; opera na faixa de frequência das microondas, atingindo grandes comprimentos de ondas. Sendo por isso

muito pouco, ou quase nada, afetado pelas condições de iluminação e climáticas, as quais são adversas aos outros sensores disponíveis que operam em outras faixas do espectro. As variações tonais, observadas nas imagens obtidas por estes sensores, não estão relacionadas com as características espectrais dos alvos, como no caso das imagens Landsat, e sim com a rugosidade superficial dos alvos, características dielétricas do terreno, ângulo de incidência da radiação transmitida pela antena, cobertura vegetal e geometria da superfície do terreno. Por esse motivo, a análise de informações geológicas, baseada em tons de cinza, nesses produtos, normalmente não são satisfatórias. Feições geológicas alinhadas transversalmente à linha de vôo, ou paralelas à direção de iluminação, durante o imageamento feito por Radar, não são detectadas (Liu e Rodrigues, 1986); contudo, a baixa altitude do imageamento e o ângulo de visada lateral produz, através do sombreamento, excelente noção de relevo a imagem.

Maiores detalhes sobre as técnicas de imageamento e aplicações do radar podem ser encontradas em Macdonald e Waite (1970); Macdonald (1980); Moore (1983) e Liu (1984).

As imagens SLAR, utilizadas no trabalho, foram obtidas a partir do levantamento radargramétrico realizado para o projeto Radam/Brasil, utilizando o sistema GEMS, operado conjuntamente pela Aero Service Division, das Indústrias Litton e pela Goodyear Aerospace, cobrindo na década de 70 mais de 12 milhões de quilômetros quadrados do território brasileiro. Os dados foram registrados em filme, na escala original de 1:400.000 e, fornecido aos usuários sob a forma de mosaicos semi-controlados, cobrindo uma área de 1 grau por 1,5 graus, na escala 1:250.000, e 4 graus por 6 graus na escala 1:1.000.000. As imagens apresentam uma resolução espacial em torno de 20 m. Os da-

dos foram imageados de uma altitude de aproximadamente 11 km, com direções de voo N-S e visada para oeste, utilizando a banda X, com comprimento de onda de 3,2 cm.

### 1.3.3 - MÉTODOS

Segundo os objetivos definidos no item 1.2, discutiremos, a seguir, a metodologia empregada no desenvolvimento desta pesquisa.

#### 1.3.2.1 - MAPA FOTOLITOLÓGICO OBTIDO A PARTIR DE TÉCNICAS DE FOTOINTERPRETAÇÃO DE IMAGENS TM-LANDSAT

O mapa lito-estrutural apresentado em anexo, parte integrante desta dissertação, foi elaborado, principalmente, a partir de imagens de satélite, com base nos princípios gerais de fotointerpretação do método lógico e sistemático adaptado por Veneziani e Anjos (1982) para produtos fotográficos de baixa resolução espacial, a partir dos trabalhos de Guy (1966), Riverau (1972) e Soares e Fiori (1976). O método consiste em através da análise das tonalidades de cinza dos elementos texturais de relevo e drenagem, obedecendo uma sequência de etapas sistemáticas, definir zonas constituídas por elementos texturais com propriedades qualitativas idênticas e a mesma estrutura, denominadas zonas homólogas, as quais compõem as zonas fotolitológicas.

Elemento textura se refere à menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica, passível de repetição, enquanto que estrutura fotográfica se refere ao padrão de organização no espaço dos elementos texturais, podendo ser ordenados (retilíneo, curvilíneo, etc...) ou aleatório (sem forma geométrica definida).

Segundo Soares e Fiori (1976), o relevo e a drenagem constituem os objetos principais da avaliação da imagem fotográfica para a obtenção de informações geológicas. A vegetação, quando não modificada pela ação do homem, reflete também, tal como relevo e drenagem, as condições geológicas e climáticas, constituindo critério auxiliar na análise e interpretação.

Além das técnicas convencionais de fotointerpretação aplicadas sobre a imagem fotográfica TM-LANDSAT, utilizada no desenvolvimento inicial desta pesquisa, adotou-se como forma de conseguir um melhor aprimoramento do mapa lito-estrutural também a utilização da imagem digital TM-LANDSAT, através da aplicação de realces para posterior análise visual. Inicialmente, efetuou-se uma pré-análise das bandas individuais com base nos histogramas de distribuição dos níveis de cinza originais da imagem digital, selecionando as bandas 2, 3, 4, 5 e 7 do TM para posterior aplicação das técnicas de realce que, através de transformações matemáticas, ressaltam as informações espectrais, melhorando consideravelmente a qualidade visual da imagem. Inúmeros são os trabalhos sobre o uso de técnicas de realce na geologia: Rowan et al (1974, 1977); Goetz et al (1975); Chaves Jr et al (1976); Abrams et al (1977, 1983, 1985); Podwysocki et al (1977, 1985); Santisteban e Munoz (1977); Blodget et al (1978); Taranik (1978); Condit e Chaves Jr (1979); Dykstra e Birnie (1979); Siegal (1982); Dykstra et al (1984). No Brasil, Almeida Filho (1983); Paradella (1983, 1986, 1989); Menezes (1986); Sano (1987); e outros.

A banda-1, em virtude da acentuada influência do espalhamento, provocada por gases e partículas presentes na atmosfera, mascarando as informações originais, não foi utilizada.

Após uma série de testes, no Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM), ficou definido que as técnicas de realce que melhor qualidade proporcionaram a imagem original, da área em questão, para posterior foto interpretação (definição de zonas homólogas), conjunta com as imagens fotográficas, foram as seguintes: Ampliação Linear de Contraste (ALC), Composição Colorida, Transformação por IHS e Decorrelação. As demais técnicas, em virtude da semelhante, ou inferior, qualidade que imprimiram a imagem, não foram utilizadas.

ALC é uma das técnicas de realce mais utilizada em tratamento de imagens (Goetz et al, 1975; Paradel-la e Vitorello, 1982; Paradel-la, 1986; Sano, 1987). Consiste em ampliar os níveis de cinza originais da imagem, através de uma transformação matemática linear, os quais, normalmente, se restringem a apenas uma parte do intervalo total, para toda a escala de cinza disponível (256 níveis de cinza), melhorando o seu contraste consideravelmente.

O uso de composições coloridas é uma técnica rotineira em trabalhos de fotointerpretação, pelo fato de que o olho humano discrimina mais facilmente matrizes de cores do que tons de cinza. Consiste em concentrar em uma única cena as informações de três bandas distintas, associando a cada uma delas uma cor primária: azul (B), verde (G) e vermelho (R).

O contraste de cores de uma imagem RGB pode ser aumentado quando esta é decomposta em componentes de Intensidade, Matiz ou ``hue'' e Saturação (IHS). Cada um destes componentes pode ser quantificado separadamente e representado em histogramas de níveis de cinza. O procedimento desta técnica consiste em manipular o histograma dos componentes I, H e S de modo a aumentar, diminuir ou deslocar o intervalo de valores digitais destes histogramas

através de transformações matemáticas lineares. Posteriormente, os parâmetros I, H e S sofrem uma transformação inversa e são convertidos novamente para o sistema RGB. O uso desta técnica, na geologia, pode ser encontrada nos trabalhos de Dutra e Meneses (1986, 1987), Meneses (1986) e Sano (1987).

Na técnica de realce por decorrelação, ocorre uma transformação linear dos dados originais, sendo efetuada uma rotação espectral por decorrelação seguida por uma equalização do desvio padrão entre os canais. Posteriormente, é realizada uma rotação de retorno ao sistema de coordenadas originais (Dutra et al, 1988).

A área, em função de sua extensão, foi analisada em dois módulos (fig. 1.6), os quais foram processados no monitor do SITIM, na escala 1:250.000, e registrados em filme slide, no equipamento fotográfico Rembrandt-3500F ligado ao SITIM.

Na fase de interpretação das imagens realçadas, utilizou-se um projetor de slides da marca Cabin. Este equipamento permitiu ampliar os diapositivos (slides 35mm), assim como integrar as informações extraídas das imagens fotográficas e digital realçadas, lançando-as sobre uma base cartográfica comum, preparada a partir de imagens fotográficas TM Landsat-5, na escala 1:100.000, de boa precisão geométrica.

#### 1.3.2.2 - ESTUDO ESTRUTURAL EM IMAGENS DE BAIXA RESOLUÇÃO COM BASE NO TRAÇADO DOS LINEAMENTOS.

Desde que William Herbert Hobbs, no início deste século, definiu e introduziu o termo "lineamento" na literatura geológica, Hodgson (1974), apud Liu (1984), este vem sofrendo derivações e modificações quanto à sua

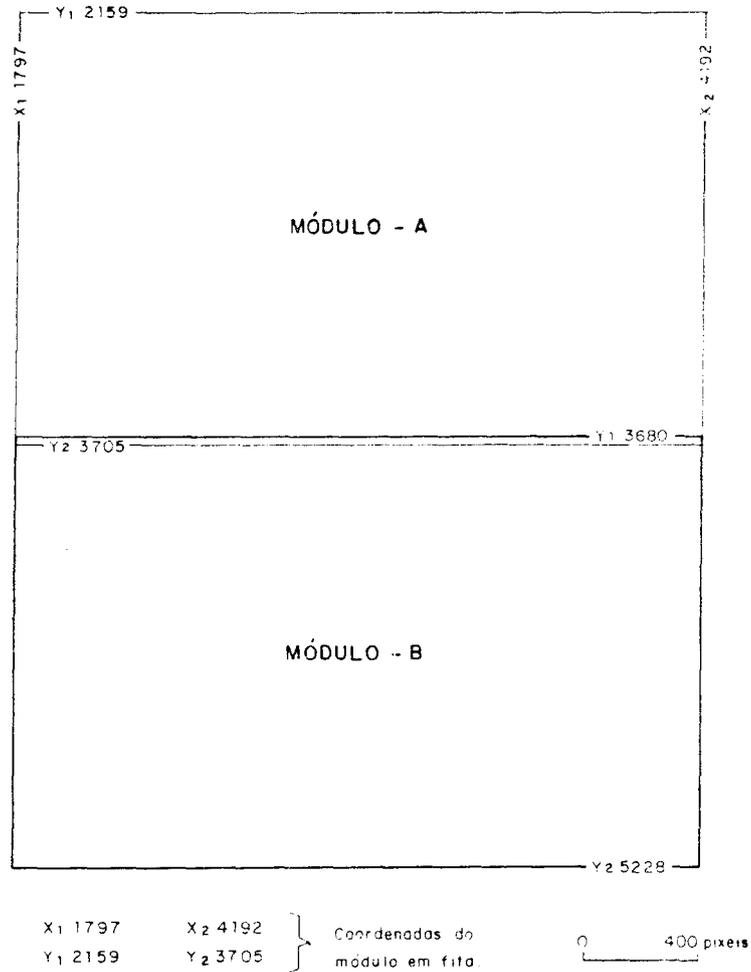


Fig. 1.6 - Módulos para Processamento Digital.

definição, dependendo do autor que o emprega, fato bem documentado em Gold (1980) e Liu (1984). Neste trabalho utilizamos o termo como definido por Sabins Jr (1978), que o expressa como sendo uma feição linear da superfície terrestre de caráter geomórfico (causada pelo relevo) ou tonal (causada por contrastes tonais), podendo representar uma zona de fraqueza estrutural. As feições no terreno características dos lineamentos causados pelo relevo podem ser formas lineares de relevo, limites lineares entre diferentes tipos de terrenos ou quebras dentro de uma unidade uniforme, cursos d'água retilíneos e segmentos alinha-

dos de vales. As feições causadas por contrastes tonais podem ser limites retos entre áreas de tons contrastantes ou faixas realçadas sobre um fundo uniforme. As diferenças na vegetação, o teor de umidade, composição dos solos ou rochas podem indicar acentuados contrastes tonais.

As formas topográficas, resultantes da ação de forças tectônicas ou de agentes intempéricos, distribuem-se nas imagens fotográficas de baixa resolução espacial, como feições negativas ou positivas de relevo, as quais são definidas por elementos texturais caracterizados por diferentes tonalidades de cinza. O estudo analítico das características dos lineamentos no terreno, bem como seu interrelacionamento, são quase sempre bastante complexos porém, o significado geológico associado a essas feições lineares pode levar a definição do padrão tectônico regional de uma determinada área.

Gold (1980) conclui que imagens LANDSAT são, frequentemente, usadas no mapeamento e análise de estruturas em regiões tectonicamente ativas ou como ferramenta de exploração na procura de ambientes tectônicos favoráveis a concentração de minérios ocorridos em ciclos antigos. Assinala ainda que lineamentos interplacas, evidentes sobre imagens de satélite, podem representar a expressão continental de antigas falhas transcorrentes, megaestruturas periodicamente reativadas por inversão em movimentos de placas ou rastros deixados pela migração de placas sobre o manto.

Ramsay (1967) admite que o estudo regional de estruturas lineares deformadas pode trazer informações sobre o processo de formação de uma dobra, as quais não podem ser obtidas de um estudo realizado exclusivamente na superfície de dobra, demonstrando claramente, por analogia, a importância da análise de lineamentos, em imagens

fotográficas, na definição de estruturas regionais.

Liu (1984) se refere as descontinuidades secundárias (falhas, juntas, foliação, etc.) como feições estruturais impostas que tiveram papel ativo durante a deformação, sendo comum nessas descontinuidades que as rochas sofram um rápido intemperismo, caracterizando um alinhamento negativo das feições topográficas (segmentos de vales retilíneos, quebras negativas, gargantas, etc.), claramente documentadas por sistemas de sensores remotos.

O estudo estrutural desenvolvido neste trabalho envolveu a individualização de um conjunto de feições lineares fotográficas e tonais, no sentido de Sabin Jr (1978), a partir de elementos texturais retilíneos ou levemente encurvados, extraídos das imagens SLAR e LANDSAT com o propósito de definir as diferenças geometrias das estruturas que compõe os sistemas estruturais presentes na região. O resultado desta análise encontra-se no mapa lito-estrutural em anexo.

Estudos similares, envolvendo a extração de lineamentos para análise estrutural, podem ser encontrados nos trabalhos de Liu et al (1979, 1987); Santos et al (1982); Miranda (1983); Liu (1984); Liu e Rodrigues (1984); Castelo Branco e Svisero (1986); Veneziani (1987); Ferreira e Almeida (1989).



## CAPÍTULO 2

### ASPECTOS FISIOGRAFICOS

#### 2.1 - GEOMORFOLOGIA

De acordo com estudo realizado pela equipe do Projeto RADAM, Brasil. DNPM (1974), destacam-se na Região dos Carajás, duas unidades ou conjuntos de formas de relevo: Planalto Dissecado do Sul do Pará e Depressão Periférica do Sul do Pará.

##### 2.1.1 - PLANALTO DISSECADO DO SUL DO PARÁ

Esta unidade é caracterizada por maciços residuais de topo aplainado e por um conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados observados ao longo da Serra dos Carajás. As altitudes variam, geralmente, entre 500 e 600 m, com trechos mais elevados de até 700 m.

Essa unidade de relevo está intensamente dissecada por vales encaixados, geralmente adaptados a redes de fraturas que seccionam as rochas da região.

Os topos aplainados são testemunhos de um Pediplano Pré-Cretáceo retrabalhado por pediplanação durante o Terciário. O conjunto de formas tabulares denominado Serra dos Carajás, está parcialmente capeado por uma carapaça ferruginosa, interpretada como depósito de cobertura de um pediplano de idade Pliocênica, aparentemente, superposto ao Pediplano Pré-Cretáceo. Extensas escarpas, adaptadas a falhas, mostram-se bem conservadas na serra. Notam-se também depressões afuniladas (Water Gaps), destacando-se as existentes nos rios Itacaiunas e Parauapebas.

Apesar de desfigurado por uma variedade muito grande de processos de dissecação, o Planalto Dissecado do Sul do Pará pode ser considerado como um relevo com feições Apalachianas localizadas.

### 2.1.2 - DEPRESSÃO PERIFÉRICA DO SUL DO PARÁ

Essa extensa unidade de relevo é o resultado da atuação de processos erosivos pós-pleiocênicos, que orientados pela conformação estrutural e diferenças litológicas de grandes massas de relevo, elaboraram uma ampla faixa de circundesnudação.

A dissecação fluvial do nível de pediplano que caracterizou a Depressão Periférica do Sul do Pará, originou extensas colinas geralmente de topo aplainado que contém ainda, em algumas áreas, traços da cobertura superficial inconsolidada (pediplanação pleistocênica).

Os "water gaps" dos rios Itacaiunas e Parauapebas na Serra dos Carajás, parecem ser o resultado de um aprofundamento progressivo da drenagem, em virtude do rebaixamento erosivo que originou esta unidade de relevo.

A Depressão Periférica do Sul do Pará, em síntese, configura-se como uma importante zona de circundesnudação pós-Barreiras, resultado do rebaixamento do Pediplano Pliocênico por uma fase de Pediplanação posterior. Esse rebaixamento atingiu algumas dezenas de metros abaixo da base dos depósitos correlativos do Pediplano Pliocênico, originando extensas áreas de eversão bem representadas em nossa área na porção sul da Serra dos Carajás.

## 2.2 - CLIMA

Segundo a classificação de Gaussen (1955), o

clima da região pode ser colocado como pertencente a região climática xeroquimênica, sub-região, sub-termaxérica, e, na região das serras parece ser do tipo termo-xeroquimênico de caráter atenuado.

O tipo xeroquimênico é um clima tropical sub-quente e sub-seco de monção, caracterizado por um período seco no inverno, onde os dias são relativamente curtos, e um período úmido bastante acentuado, com chuvas torrenciais no verão. Neste caso os dias são mais longos. O tipo termo-xeroquimênico é um clima tropical e seco atenuado.

O regime de chuvas na área caracteriza-se por duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de novembro a maio com cerca de 90% das precipitações, e uma seca, de mais curta duração, que vai de junho a outubro, com precipitações esporádicas.

A temperatura média oscilante é de  $19^{\circ}\text{C}$  a  $31^{\circ}\text{C}$ , sendo a média das mínimas de  $20,8^{\circ}\text{C}$  e a média das máximas de  $26,6^{\circ}\text{C}$ .

Segundo a definição de Köppen (1948), o clima da região se enquadra ao tipo AW, ou seja, é quente e úmido, apresentando uma estação seca que vai de junho a outubro, e uma estação chuvosa de novembro a maio, com precipitação pluviométrica anual da ordem de 2.000 mm.

### 2.3 - VEGETAÇÃO

Estudos executados pela equipe de botânicos do Projeto RADAM. Brasil. DNPM (1974), na área compreendida entre os paralelos  $4^{\circ}$  a  $9^{\circ}$  de latitude sul e  $49^{\circ}$  a  $54^{\circ}$  oeste de Grw, permitiu definir parcelas florísticas de três regiões ecológicas - as das florestas densas, das

florestas abertas e as do cerrado.

A vegetação da área de estudo se enquadra na fisionomia ecológica das florestas densas, que é uma classe de formação que na Hiléia Amazônica, pode ser considerada como sinônimo de floresta ombrófila tropical ou floresta tropical chuvosa. É uma floresta densa, pertencente a climas quentes-úmidos e superúmidos, com acentuada diminuição das chuvas em determinadas épocas do ano, caracterizada sobretudo por suas grandes árvores (frequentemente com mais de 50 metros de altura, sobressaindo entre 25 e 35 metros de altura ao estrato arbóreo uniforme).

Com base na bibliografia disponível, Ducke et Black (1954), Heinsdjk e Miranda Bastos (1963), Glerum e Smit (1965) e Brasil. DNPM (1974), foram separadas 4 sub-regiões fitoecológicas com economias florestais diferentes: sub-região dos altos platôs do Pará/Maranhão, sub-região da superfície dissecada do Araguaia, sub-região da Serra Norte, e sub-região da superfície arrasada da Serra dos Carajás. Por motivos óbvios, aqui será dada ênfase somente as duas últimas sub-regiões.

#### 2.3.1 - SUB-REGIÃO DA SERRA NORTE

Esta sub-região faz parte da Serra dos Carajás que, na Serra Norte, atinge aproximadamente 700 m de altitude. Compreende dois ecossistemas bem distintos: um arbustivo e outro florestal.

O ecossistema esclerófilo arbustivo que reveste os pacotes de itabiritos envolvidos pela floresta densa, foi aqui incluído com refúgio, não só por ocupar as áreas mais altas da Serra dos Carajás, como também por conter uma flora autóctone, herbácea, em face do número de espécies de porte arbustivo, com grande dispersão na Ama-

zônia. Essa vegetação lembra muito, quanto à fisionomia, a vegetação arbustiva do Brasil Central, mais precisamente, do chamado Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais: Vegetação com formas ericóides (plantas com pequenas folhas presas ao caule) adaptadas ao aproveitamento do orvalho, vicariantes ecológicas da flora mediterrânea (Macchia), e envolvida significativamente por fatores ecológicos comuns: hematita entremeada por solo areno-ferruginoso, revestido por grupos de pequenos arbustos de diminutas folhas coriáceas presas ao caule num ângulo de  $\pm 45^\circ$ , onde dominam *Callisthene mycrophylla* (do cerrado do Maranhão/Piauí), *Mimosa* SP (vicariante da caatinga do Piauí), *Norantea goianensis* (espécie parasita das árvores da floresta) e muitas espécies autóctones, como: Euphorbiaceae (*Croton* SP), Melastomataceae (*Micrelicia* SP), Ericaceae (*Gautheria* SP), Valloziaceae (*Vellozia* SP) e Lythraceae (*Cuphea* SP). Nas depressões rasas, adequáveis na época chuvosa, cobertas por campos herbáceos, as Cyperaceae, Orchidaceae, diminutas Euriocaulaceae (*Paepalanthus* SP) e outras plantas, rosuladas ou não, associam-se com aquelas plantas lenhosas de pequeno porte e com raros grupamentos dominados pela *Parkia Platycephala* Benth (a faveira-de-bolota dos cerradões do Piauí).

O ecossistema florestal, aqui classificado como parte do grande sistema da floresta montana tropical, ocupa toda a parte mais elevada da Serra dos Carajás, excetuando-se os pacotes de itabiritos, que são revestidos por vegetação arbustiva.

Neste ecossistema se observa acentuada dominância de floresta densa, com árvores emergentes (mais ou menos 40 m de altura) sobre áreas restritas de cipoal e, vez por outra, intercalada por grupos de florestas com cobertura uniforme ( $\pm 25$  m de altura).

As espécies características de tal floresta são Abioranas (*Pouteria* SPP), acompanhadas pelo Cumaru (*Coumarouna odorata* Aubl.), Cascadoce (*Pradosia praelta* Ducke), Sucupira-amarela (*Bowdichia nitida* Spr. ex Benth.) e Pau-preto (*Cenostigma Tocantins* Ducke.), cujas copas se nivelam com o dossel normal da floresta.

### 2.3.2 - SUB-REGIÃO DA SUPERFÍCIE ARRASADA DA SERRA DOS CARAJÁS

Limitada ao sul pela Serra Norte, a leste pela margem esquerda do rio Tocantins, ao norte pelo limite da folha SB-22 Araguaia e a oeste até as nascentes dos afluentes do médio Xingu, caracteriza-se pelo intenso intemperismo das rochas e pelo relevo testemunho, cobertos por densas florestas. Compreende dois ecossistemas. O ecossistema dos morrotes de granito e gnaisses intemperizados, revestidos por árvores emergentes (+/- 35 m de altura) e com vales estreitos ocupados por grupamentos do babaçu, que muitas vezes se misturam com as árvores, é caracterizado pela castanheira, sempre acompanhada do Breu-preto (*Protium* SPP). Floresta com  $150\text{m}^3/\text{ha}$ , em média. O ecossistema das cristas quartzíticas cobertas por floresta uniforme, relativamente mais baixa (+/- 20 m de altura), consta de outeiros de gnaisse com vários grupos de rochas intemperizadas, florestas mais altas (+/- 25 m de altura) onde sobressaem a Acariquara (*Minuartia guianensis* Aubl.) e a castanheira, em pequenos grupos; e de largos vales com floresta de cipoal, vez por outra interrompida por grandes grupamentos de babaçu. Em média, a floresta possui  $170\text{m}^3/\text{ha}$ .

### 2.4 - HIDROGRAFIA

A área delimitada por este trabalho, é drenada pela bacia do rio Itacaiunas (fig. 2.1) que tem sua

foz no rio Tocantins, na cidade de Marabá. É um rio sinuoso, com largura que varia de 80 a 200 m, constituído de grandes estirões, apresentando vários trechos encachoeirados, caracterizados por fortes declives. Sua cabeceira localiza-se ao sul da Serra dos Carajás, nas imediações do paralelo  $7^{\circ} 00'S$ . Recebe água de uma série de afluentes que engrossam seu leito. Pela margem direita, considerados de médio porte, temos os rios Parauapebas e Vermelho; pela margem esquerda, os rios Cateté e Tapirapé. Os afluentes menores como Águas Claras, Azul, Cinzento, desenvolvem um padrão dendrítico com grau de estruturação médio, na parte central da serra, e forte, nas extremidades, principalmente ao sul.

O controle estrutural, por falhas e fraturas, exercido sobre a drenagem, é bem visível. Também são frequentes, a formação de depressões afuniladas na região serrana.

O regime dos rios da região é do tipo torrencial, com cursos d'água permanentes e periódicos. Com base nos dados do DNPVN, posto hidrométrico do rio Itacaiunas, próximo a Marabá, pode-se avaliar uma descarga entre  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  em 17.09.1969 e  $1.460 \text{ m}^3/\text{s}$  em 12.03. 1970.

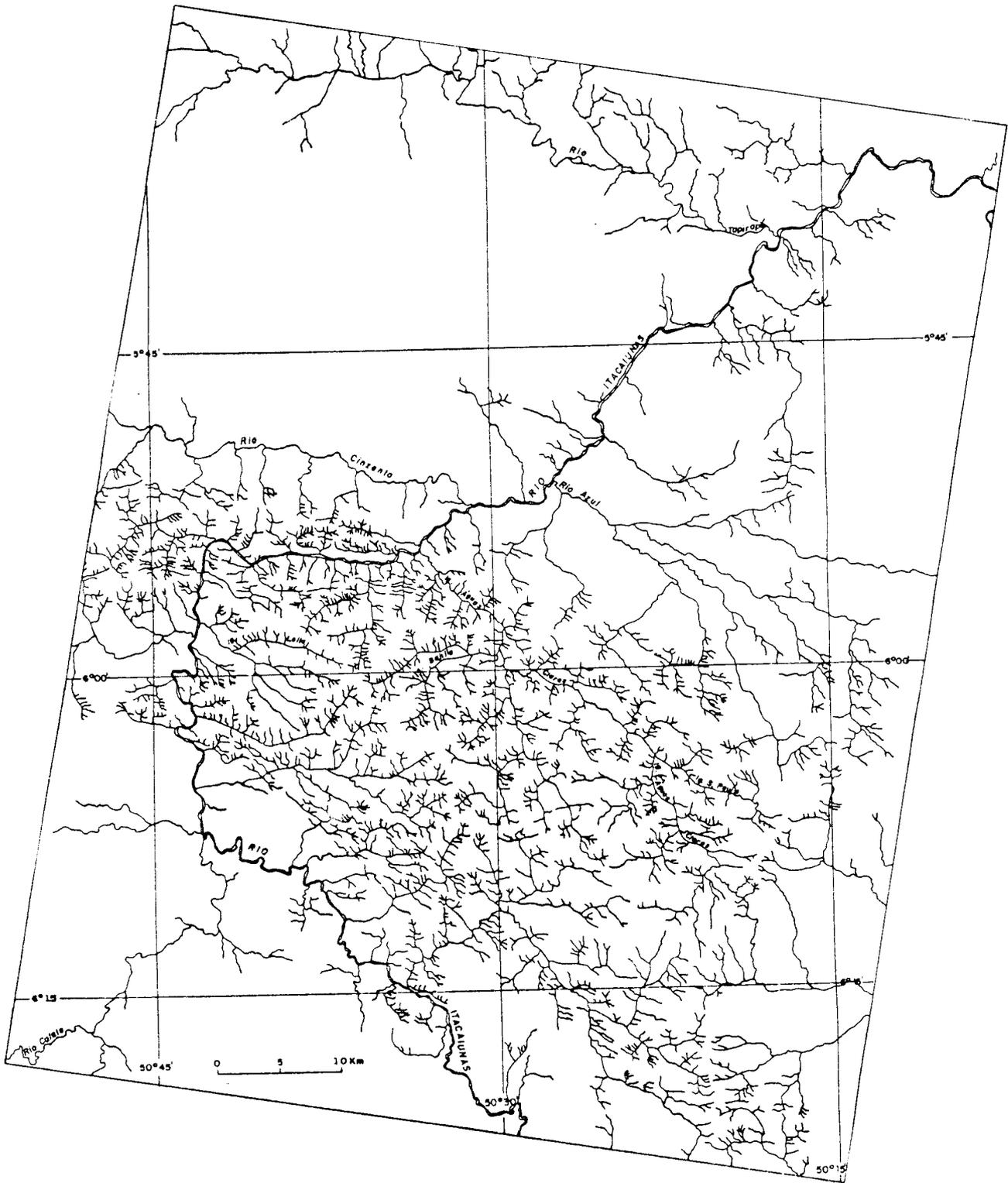


Fig. 2.1 - REDE HIDROGRÁFICA DA ÁREA DE TRABALHO

CAPÍTULO 3COMENTÁRIOS SOBRE OS TRABALHOS DESENVOLVIDOS  
NA REGIÃO DA SERRA DOS CARAJÁS

O registro da ocorrência de minério de ferro, na região da Serra dos Carajás, em 1967, pela Companhia Meridional de Mineração, notificado posteriormente por Tolbert et al (1968), representou um marco importante no programa de pesquisas geológicas na Amazônia Oriental. Como consequência imediata desse evento, a região obteve o deslocamento de expressivos recursos humanos e financeiros, proporcionando avanços significativos no conhecimento do quadro geológico.

Dentro do programa inicial da pesquisa geológica destacam-se os trabalhos realizados por Tolbert et al (1970) e Tolbert et al (1971) que descreveram e caracterizaram os depósitos de ferro e as unidades rochosas adjacentes. Nesse contexto, mostraram que a organização estratigráfica da região poderia ser entendida através de três unidades litológicas principais, representadas da base para o topo por: gnaisses, granitos e anfibolitos; quartzitos, filitos e micaxistos com intercalações de formações ferríferas; e arenitos, conglomerados e rochas máficas.

Os trabalhos desenvolvidos a seguir, na região, foram eminentemente de cunho lito-estratigráfico, destacando-se os seguintes:

Knupp (1971), propôs a correlação da sequência pelítica de Carajás à Formação Rio Fresco definida por Barbosa et al (1966) e denominou o batólito granítico de Carajás de Granito Central;

Liandrat (1972), com base nas pesquisas realizadas ao longo dos rios Itacaiunas e Parauapebas, sugeriu a existência das formações Serra dos Carajás e Zé Gledstone correlacionável à Formação Rio Fresco e Igarapé do Ouro;

CVRD/CMM (1972), reuniram sob a denominação de Grupo Grão Pará a sequência de rochas vulcânicas máficas com formações ferríferas bandadas;

Beisiegel et al (1973), com base nas informações geológicas disponíveis, promoveram uma síntese propondo uma evolução geológica para a região de Carajás envolvendo três fases de deformação;

A equipe do Projeto Radam, Brasil. DNPM (1974), desenvolveu o primeiro trabalho geológico básico, sistemático, na região. Na oportunidade, mostraram a distribuição geográfica das principais unidades litológicas, englobando os gnaisses migmatizados, ou não, no Complexo Xingu, correlacionaram os sedimentos pelíticos e arenosos que ocorrem na Serra dos Carajás ao Membro Azul da Formação Rio Fresco e interpretaram a estruturação geral do Grupo Grão Pará como um sinclinório;

Hutchinson (1979), considerou as sequências Buritirama, Salobo-Pojuca e Grupo Grão Pará, representantes de diferentes fácies de uma única sequência vulcano-sedimentar do Proterozóico Inferior.

A intensificação da pesquisa geológica na região, na década de 80, proporcionou novas informações lito-estratigráficas, bem como geocronológicas, geobotânicas e estruturais, destacando-se, entre outros, os trabalhos de Hirata et al (1982), Tassinari et al (1982), Cordani e Brito Neves (1982), Lemos e Villas (1983), Meireles

et al (1984), Medeiros Neto e Villas (1984), Figueiras e Villas (1984), Ramos et al (1984), Ferreira Filho (1985), Montalvão e Bezerra (1985), Gibbs e Wirth (1985 a e b), Gibbs et al (1985 e 1986), Wirth et al (1986), Wirth (1986), DOCEGEO (1987 e 1988), Araujo et al (1988), Machado et al (1988), Paradella (1989), Siqueira (1990) e Costa e Siqueira, no prelo. O resumo dos principais resultados alcançados com estes trabalhos foram:

Apresentação de uma nova coluna estratigráfica para a região, envolvendo a introdução da Sequência Salobo-Pojuca, desmembrada do Grupo Grão Pará, e a definição dos Grupos Rio Novo e Buritirama a norte da Serra Norte (Hirata, 1982);

O Complexo Xingu, a Sequência Salobo-Pojuca e Grupo Grão Pará apresentam estruturas que resultaram da atuação de esforços compressivos e tensionais não homogêneos (Maireles et al, 1984);

Os aspectos litológicos e sedimentológicos da sequência clástica pós Grupo Grão Pará, exposta na Serra dos Carajás, são incompatíveis com aquelas da Formação Rio Fresco descrita por Barbosa et al (1966), não permitindo a correlação entre essas unidades (Figueiras e Villas, 1984);

As unidades Salobo e Grão Pará foram interpretadas como ``greenstone belts`` por Montalvão e Bezerra (1985);

Parte do Grupo Rio Fresco foi atribuída ao topo do Grupo Grão Pará (Gibbs e Wirth, 1985 a e b);

As análises Rb-Sr e U-Pb em rochas do Grupo Grão Pará revelaram idades 2.687 +/- 54 Ma (Gibbs et al,

1985 e 1986) e  $2.758 \pm 39$  Ma (Wirth et al, 1986 e Wirth, 1986), respectivamente. Para o Granito Central foi obtida uma idade de  $1.820 \pm 49$  Ma, através do método U-Pb (Wirth, 1986);

As rochas vulcânicas e sedimentares da Serra dos Carajás foram reunidas no Supergrupo Itacaiunas subdividido nos grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão Pará, Igarapé Bahia e Buritirama (DOCEGEO, 1987 e 1988).

As datações U-Pb, em anfibólitos da sequência Salobo, revelaram idades de  $2.555 \pm 4/-3$  Ma, correlacionáveis a uma zona de cisalhamento situada no limite sul do depósito de cobre Salobo (Machado et al, 1988);

A utilização de uma nova abordagem geobotânica com dados TM-LANDSAT e DEM (Digital Elevation Model) na área do Prospecto Pojuca, Serra dos Carajás, permitiu detectar, em imagens realçadas, um padrão de resposta típico para o Grupo Igarapé Pojuca (Paradella, 1989).

Pelo exposto, constata-se portanto, que esforços maiores sempre estiveram voltados para a caracterização de unidades rochosas e o estabelecimento do empilhamento estratigráfico, de modo que a quantidade de informações estruturais ainda é precária. Por outro lado, nos últimos anos, com os trabalhos de Araujo et al (1988), Siqueira (1990) e Costa e Siqueira, no prelo, a região dos Carajás recebeu informações lito-estruturais modernas que muito têm contribuído para o entendimento do quadro geológico.

Araujo et al (1988), mostraram que os elementos estruturais impressos nas unidades rochosas do Complexo Xingu e do Grupo Grão Pará, incluindo a Formação Rio Fresco, desenham uma estruturação divergente interpretada

como uma estrutura em flor positiva ligada ao Sistema Transcorrente Carajás. Tal sistema estrutural representa uma pequena fração do Cinturão de Cisalhamento Itacaiunas, que evoluiu a partir da atuação de um regime compressivo oblíquo sinistral.

Costa e Siqueira, no prelo, definiram o Lineamento Cinzento como um sistema transcorrente sinistral, atrelado à evolução do Cinturão Itacaiunas. Descreveram, de oeste para leste, ao longo desta estrutura, o Duplex Distensivo Salobo, o Duplex Compressivo Cururu e a estrutura em Rabo de Cavalo Serra Pelada.

Siqueira (1990), estudou o Duplex Distensivo Salobo e sugeriu a seguinte evolução lito-estrutural para essa área: 1. Evento transtensivo proporcionando a deposição das rochas do Grupo Igarapé Salobo; 2. Evento transpressivo em condições térmicas de fácies anfibolito, impondo forte imbricação nas diversas unidades rochosas; 3. Transtensão final em fácies xisto verde com importante hidrotermalismo associado.

Apesar da evolução alcançada através das pesquisas mais recentes, com a definição da megaestruturação da região, estudos lito-estruturais que mostrem, de modo integrado, os elementos estruturais antigos, atribuídos ao Arqueano ou a evolução do Proterozóico, ainda não foram conseguidos. Com o desenvolvimento desta pesquisa, espera-se, através da utilização criteriosa dos recursos do sensoriamento remoto, contribuir para um melhor entendimento da evolução estrutural da região.



CAPÍTULO 4DESCRIÇÃO DAS ZONAS FOTOLITOLÓGICAS

A análise visual dos elementos texturais de drenagem e relevo, aliado aos critérios de tonalidade, obedecendo aos procedimentos da fotointerpretação estabelecidos pelo método "lógico e sistemático", permitiu individualizar vinte e seis unidades fotolitológicas distintas. As principais características discriminativas destas unidades, verificadas nas imagens fotográficas e imagens realçadas, estão listadas a seguir.

As unidades fotolitológicas caracterizadas como A, A1, A2 e A3, correspondem as rochas do Complexo Xingu, representadas por gnaisses e granitóides, as vezes migmatizados, que envolvem as estruturas maiores formadas pelos Sistemas Transcorrente Carajás e Cinzento. Este grupo de unidades, quando analisado em conjunto, mostra uma baixa resistência à erosão desenvolvendo na região uma topografia relativamente plana e arrasada, porém, diferenças sutis podem ser percebidas quando analisadas separadamente, ou seja, as unidades A e A3 possuem uma resistência à erosão bem mais baixa do que A1 e A2, sendo que a unidade A2 apresenta um grau bem mais elevado de resistência à erosão do que as demais; a unidade A, mostra na banda 4 da imagem um tom cinza levemente mais claro em relação às outras que possuem mesma tonalidade cinza, porém, a principal diferença entre este grupo de unidades parece ser quanto à densidade textural de drenagem que se mostra nula em A3 e alta em A2, chegando a formar um padrão dendrítico de drenagem relativamente denso; as unidades fotolitológicas A1 e A mostram, respectivamente, moderada e baixa densidade textural de drenagem, sendo que em A os elementos texturais chegam a desenvolver uma certa angularidade. A análise realizada nas imagens IHS (figs. 7.3 e 7.4), per-

mitiu associar uma tonalidade amarelo claro à unidade A, uma tonalidade azul à unidade A1, um tom amarelo avermelhado formando um padrão mosqueado à unidade A2 e um tom de amarelo mais forte à unidade A3.

As unidades fotolitológicas B, B1 e B2 correspondem a sequência de rochas supracrustais do Grupo Igarapé Salobo que formam os duplexes Salobo e Cururu. A unidade B apresenta alta resistência à erosão, com densidade textural de relevo variando de média a alta e um tom de cinza que varia entre o claro e o levemente escuro; a unidade B1 se caracteriza por uma alta densidade textural de relevo, moderada a alta resistência à erosão, moderada ordem de estruturação das formas de relevo e uma tonalidade de cinza bastante clara; a unidade B2 mostra uma baixa resistência à erosão, desenvolvendo uma alta densidade textural de drenagem e com tonalidade de cinza variando entre o claro e o levemente escuro. A imagem IHS (fig. 7.3), caracteriza a unidade B com uma tonalidade azul; a unidade B1 adquire um tom amarelo esbranquiçado e a unidade B2 assume um padrão mosqueado azul avermelhado. As figuras 7.1 e 7.5 também mostram padrão semelhante para estas unidades.

As unidades C e C1 são unidades fotolitológicas que ocorrem na extremidade centro norte da sigmoide Carajás e são correlacionadas às rochas do Grupo Igarapé Pojuca, definido por DOCEGEO (1987). Estas unidades incluem rochas de moderada resistência à erosão, alto grau de anisotropia e moderada densidade textural de relevo. A unidade C apresenta tonalidade de cinza levemente mais escura que a unidade C1. As imagens realçadas (fig. 7.2, 7.4 e 7.6) mostram uma marcante diferença de coloração entre essas unidades.

O grupo de unidade que envolve as zonas foto-

litológicas D e D1 a D9 corresponde a uma sequência de rochas que integra o Grupo Grão Pará de Araujo et al (1988) e que, geometricamente, desenham a sigmoide Carajás. A unidade D é a única deste grupo que mostra baixa resistência à erosão, apresenta tonalidade cinza claro e exibe alta densidade textural de drenagem. A unidade D1 corresponde as áreas de ocorrência do minério de ferro da região de Carajás que, em função do alto teor de óxido e hidróxidos de ferro na superfície, ressalta um padrão de tonalidade bastante característico e facilmente discriminado nas imagens fotográficas e imagens realçadas. As unidades fotolitológicas D2, D3, D4, D6 e D9 mostram forte resistência à erosão, desenvolvendo, em alguns locais, extensos platôs quase sempre sustentados por espessas crostas ferruginosas; a exceção de D9, estas unidades apresentam tonalidade variando de cinza médio a cinza levemente escuro; as unidades D2 e D3 mostram um grau de anisotropia forte porém, somente a unidade D3 apresenta alta densidade textural do relevo; a unidade D4 se apresenta totalmente isotropa; a unidade fotolitológica D6 mostra densidade textural de relevo e drenagem variando de média a alta com tropia unidirecional e D9 apresenta uma tonalidade cinza claro. As outras unidades fotolitológicas (D5, D7 e D8) apresentam grau de resistência a erosão variando de moderado a baixo, com tonalidade de cinza claro; D5 é uma unidade que mostra média densidade textural de relevo, com disposição retilínea dos elementos texturais de relevo e moderadamente estruturada; a unidade D7 apresenta tropia ordenada e baixa densidade textural de drenagem; a unidade fotolitológica D8 mostra alta densidade textural de relevo com disposição retilínea dos elementos texturais, apresenta-se fortemente estruturada e tropia unidirecional.

A zona fotolitológica caracterizada como unidade e ocorre na parte centro-leste da área investigada, corresponde a uma unidade de baixa resistência à ero-

são, fortemente isótropa, e exibe um tom de cinza na banda 4 da imagem fotográfica, que varia entre o claro e o escuro; apresenta um elevado grau de permeabilidade definida em função da textura fotográfica e da ausência de elementos texturais de drenagem. Associado a esta unidade ocorre a jazida de manganês do azul.

A zona F ocorre no extremo leste da sigmoide Carajás, corresponde a uma unidade moderadamente permeável, de tonalidade cinza claro, com baixo grau de resistência à erosão, isótropa, e possui fortes características de uma rocha sedimentar de granulometria média a grossa.

A zona fotolitológica designada como unidade G, corresponde aos diversos corpos graníticos pós-tectônicos, de forma grosseiramente circular que ocorrem na região, a exemplo do granito da Serra dos Carajás localizado no extremo leste da área estudada. Esta unidade tem as seguintes características: baixa resistência à erosão; os elementos texturais de drenagem desenvolvem uma tropia multidirecional desordenada em função da disposição irregular dos elementos texturais de relevo; e tonalidade cinza claro. As imagens realçadas (figs. 7.2, 7.4 e 7.6), mostram uma tonalidade bastante características para esta unidade.

A zona fotolitológica designada como unidade H ocorre a sudeste da área pesquisada, correspondendo a uma faixa de granulitos que ocorre a sul da sigmoide Carajás. Esta unidade apresenta como característica discriminativa a sua baixa resistência à erosão e uma disposição retilínea dos elementos texturais de relevo que se apresentam fortemente estruturados; o padrão de tonalidade observado na imagem fotográfica varia de cinza médio a cinza claro.

O grupo de unidades fotolitológicas designadas de I, I1 e I2, que ocorrem a nordeste da área, compõem parte da sequência de rochas do Grupo Buritirama. Estas unidades apresentam moderada resistência à erosão e mostram uma tonalidade cinza claro, na banda 4 da imagem fotográfica. A unidade I se caracteriza por apresentar uma baixa a moderada densidade textural de relevo e de drenagem, e uma fraca assimetria de relevo. A unidade I1 apresenta uma disposição retilínea dos elementos texturais de relevo desenvolvendo uma forte estruturação, enquanto a unidade I2 apresenta elementos texturais de relevo moderadamente estruturados.



## CAPÍTULO 5

### DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS

#### 5.1 - INTRODUÇÃO

A análise visual dos lineamentos extraídos de imagens fotográficas SLAR e LANDSAT, proporcionou a individualização de vários elementos estruturais maiores, desenhando um padrão geométrico característico para a região (fig. 5.1), o qual corresponde, em grande parte, aos sistemas estruturais definidos por Araujo et al (1988), Costa e Siqueira (no prelo) e Siqueira (1990).

Uma fração expressiva do Sistema Transcorrente Carajás ocupa a região centro-sul do mapa (Apêndice A) e é caracterizado por vários feixes de zonas de cisalhamento curvilíneas, que desenharam uma estrutura sigmoidal alongada na direção E-W. Trata-se de uma estrutura divergente que envolve particularmente as unidades rochosas do Grupo Grão Pará, no sentido de Araujo et al (1988) ou parte do Supergrupo Itacaiunas, no sentido de DOCEGEO (1987).

O Sistema Transcorrente Cinzento (Costa e Siqueira, no prelo), representado pelos duplexes Salobo e Cururu, ocorre na parte centro-norte da área investigada. O duplex Salobo é formado por uma zona de cisalhamento retilínea E-W, a partir da qual divergem zonas de cisalhamento menores NW-SE que se ligam a uma zona de cisalhamento curvilínea a norte, resultando em uma feição elítica assimétrica. O duplex Cururu é constituído internamente, por zonas de cisalhamento curvilíneas que interagem com zonas de cisalhamento retilíneas, promovendo configuração rombóide à estrutura.

Entre os sistemas transcorrentes, aos quais



### CONVENÇÕES

- |   |                                |   |                         |
|---|--------------------------------|---|-------------------------|
|  | ZONAS DE CISCALHAMENTO         |  | MOVIMENTAÇÃO CINEMÁTICA |
|  | LINEAMENTOS (FRATURAS, FALHAS) |  | FALHA TRANSCORRENTE     |
|  | FALHAS DE EMPURRÃO             |   |                         |

**Fig. 5.1 - ESTRUTURAS QUE CONFIGURAM A GEOMETRIA DE UMA PORÇÃO EXPRESSIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DA REGIÃO DOS CARAJÁS.**

REPRODUÇÃO OBTIDA DA IMAGEM TM LANDSAT-5, 224/64, BANDA 4 DE 22.06.86, FORNECIDA PELO INPE.

se associam rochas dominantes supracrustais, ocorrem faixas de rochas gnáissicas mais ou menos migmatizadas e caracterizadas estruturalmente por zonas de cisalhamento que compõem o sistema imbricado do Cinturão Itacaiunas.

A outra feição estrutural que se destaca no contexto da área é a falha Carajás, que afeta todas as unidades lito-estruturais arqueanas e proterozóicas. Trata-se de uma descontinuidade caracterizada por dois segmentos retos E-W, ligados por um segmento curvo NW-SE, que corresponde a um duplex compressivo.

## 5.2 - DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS

Conforme mencionado anteriormente, as principais unidades lito-estruturais da região da Serra dos Carajás estão relacionadas à atuação de sistemas transcorrentes. Com a intenção de facilitar o entendimento da estruturação geral da área, é oportuno esclarecer alguns aspectos básicos inerente aos sistemas transcorrentes, antes de iniciar a descrição dos sistemas estruturais.

Um sistema transcorrente geralmente ocorre em situações que envolve aproximações oblíqua e direcional, e separação oblíqua de segmentos litosféricos. No caso da convergência oblíqua de massas continentais, forma-se um cinturão de cavalgamentos oblíquos e dobramentos associados, bem como sistemas transcorrentes paralelos ao "trend" geral das estruturas, passando em profundidade para zonas de cisalhamento; os sistemas transcorrentes, nesse caso, são produtos da atuação da componente direcional desmembrada do binário principal (Oxburgh, 1974). A separação oblíqua de blocos crustais ou litosféricos promove a implantação de bacias extensionais, com as falhas transcorrentes paralelas às falhas normais mestras.

Independente da natureza do regime, se oblíquo ou frontal, na direção de compressão máxima ou de distensão máxima, parte da movimentação pode ser acomodada através de sistemas transcorrentes denominados rampas laterais (Butler, 1982) ou falhas de transferências (Gibbs, 1984), respectivamente.

A situação envolvendo aproximação direcional de segmentos litosféricos, conhecida também como borda transformante, inclui essencialmente falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes.

Ao longo de qualquer um dos sistemas transcorrentes mencionados, podem existir segmentos compressivos e distensivos ligados à mudança na direção do sistema e à interação entre sistemas (Blicke e Biddle, 1985). No primeiro caso, formam-se estruturas sigmoidais positivas ou negativas conhecidas, respectivamente, como duplexes compressivos e estruturas em flor positiva ou duplexes distensivos e estruturas em flor negativa (Wilcox et al, 1973; Crowell, 1974; Woodcock e Fischer, 1986; entre outros). No segundo caso, instalam-se estruturas rombóides distensivas ou compressivas.

Nas terminações dos sistemas podem também, se desenvolver estruturas compressivas ou distensivas, estas feições são descritas como rabo de cavalo compressivo ou distensivo e leque imbricado compressivo ou distensivo.

As estruturas compressivas e distensivas são caracterizadas por cavalgamentos oblíquos e por falhas normais oblíquas, respectivamente, que se ligam aos segmentos direcionais principais. Dobras podem se formar como resposta à atuação localizada da componente compressiva ou distensiva.

Outras estruturas associadas aos sistemas transcorrentes são as descontinuidades  $Y = D, P, R$ , e  $R'$ , que geralmente se formam ao longo dos segmentos retos. A interação entre tais descontinuidades pode resultar também no desenvolvimento de duplexes copressivos e distensivos (Woodcock e Fischer, 1986).

Como sempre existe movimentação direcional associada aos segmentos compressivos e distensivos, fala-se em transpressão e transtensão, respectivamente (Harland, 1971). Com esse enfoque, na progressão da movimentação de um determinado sistema transcorrente podem ocorrer pulsos alternados de transtensão e transpressão, materializados através de implantação e inversão positiva de bacias.

Outras informações, sobre sistemas transcorrentes podem ser encontradas nos trabalhos de Harding (1973, 1974), Thomas (1974), Woodcock (1986), Zalan (1986a, 1986b), Jones (1987), Sylvester (1988) e Ferreira e Almeida (1989).

#### 5.2.1 - SISTEMA TRANSCORRENTE CARAJÁS

O Sistema Transcorrente Carajás ocupa as porções centro-sul e sudeste do mapa (Apêndice A) e é representado por uma fração expressiva de uma estrutura em flor positiva, composta essencialmente por unidades rochosas do Grupo Grão Pará (Araújo et al, 1988) ou parte do Supergrupo Itacaiunas (DOCEGEO, 1987).

As expressões de relevo denominadas Serra Norte e Serra Sul correspondem, respectivamente, as abas norte e sul dessa estrutura. Nesse sentido, verifica-se através da fig. 5.1, que a estruturação geral pode ser facilmente delineada a partir da análise visual das quebras

positivas e negativas, e das formas lineares (lineações) de drenagem e de relevo, as quais formam uma rede densa de elementos texturais.

A aba norte da estrutura é realçada, em particular, pelas quebras positivas e negativas que se orientam na direção ENE-WSW no extremo oeste da área, mas adquirem orientações E-W e WNW-ESE à medida que se caminha para leste. Vê-se, portanto, que tais elementos formam uma estrutura regular sinuosa, cuja continuidade é quebrada apenas, localmente, pela superposição de feições estruturais N-S e NW-SE, a exemplo da falha Carajás. As formas lineares (lineações) de relevo e drenagem, que em vários locais constituem, feições conspícuas, seguem a mesma orientação dos elementos maiores de relevo. Quando esse conjunto de estruturas é analisado em imagens realçadas, a exemplo da fig. 5.2, verifica-se a existência de zonas fotolitológicas sob a forma de lentes e camadas, regulares ou não, compondo um padrão anastomótico típico das zonas de cisalhamento. Nessa ótica, as quebras negativas devem corresponder, em grande parte, a contatos litológicos e as formas lineares de relevo e de drenagem aos traços de foliações. Através da análise de assimetria do relevo, constata-se, também, que os corpos geológicos encontram-se inclinados para sul, exibindo mergulhos da ordem de  $75^{\circ}$ .

Na aba sul da estrutura, o arranjo dos elementos texturais de relevo e de drenagem se assemelham ao da aba norte porém, observa-se que os traços das quebras negativas e positivas são menores e as formas lineares de relevo e de drenagem mais penetrativas. Tais aspectos são indicativos de forte segmentação ou boudinagem dos corpos geológicos, bem como da existência de zonas de alta concentração de deformação e movimentação; a fig. 5.3 corrobora essa interpretação exibindo zonas fotolitológicas com formas essencialmente lenticulares e raras zonas contínuas

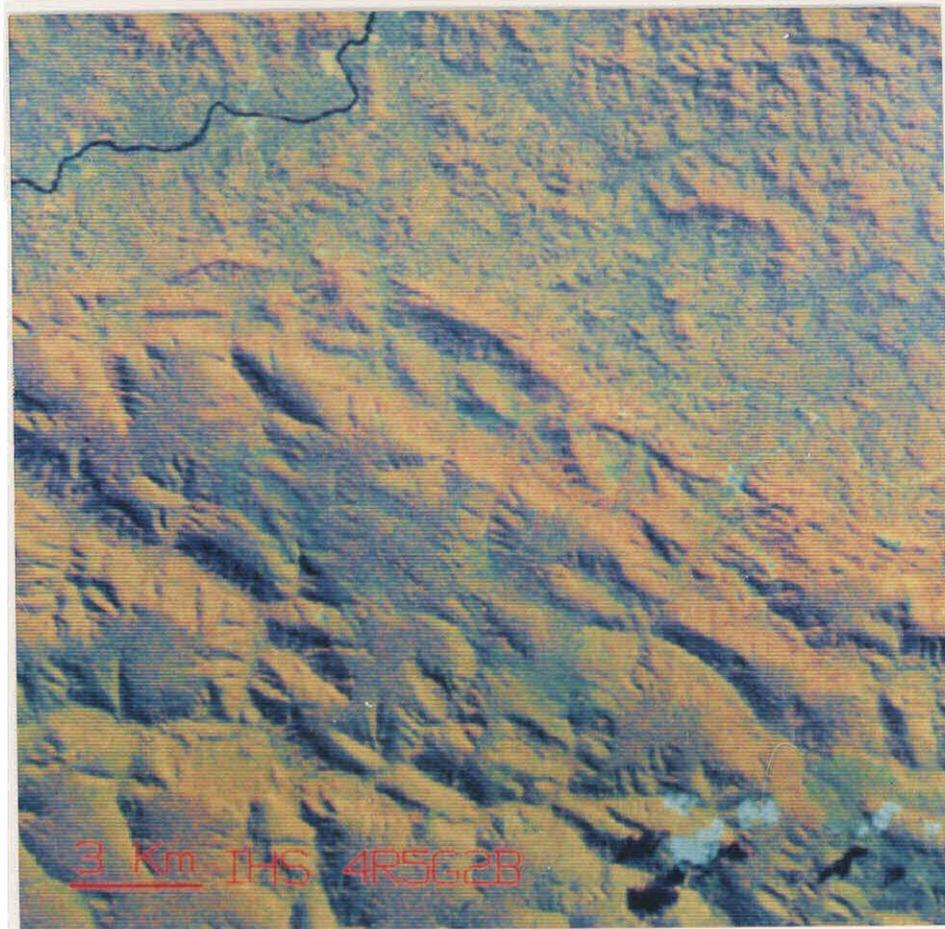


Fig. 5.2 - Imagem realçada IHS, mostrando o padrão anastomótico típico de zonas de cisalhamento, que ocorre na aba norte do Sistema Transcorrente Carajás.



Fig. 5.3 - Imagem realçada IHS, mostrando as formas lenticulares das zonas fotolitológicas que ocorrem na aba sul do Sistema Transcorrente Carajás.

e longas. Essa organização estrutural tem orientação geral ENE-WSW no extremo oeste da área, adquire gradativamente a orientação NW-SE na parte centro-sul e, finalmente, ganha postura E-W no extremo sudeste do mapa (Apêndice A), desenhando uma estrutura em Z; sua continuidade é desfeita apenas no extremo sul da área, onde ocorre uma zona de cisalhamento transcorrente dextral, com direção N-S. A assimetria de relevo indica que as zonas fotolitológicas mergulham aproximadamente 70° para norte.

A fig. 5.4 mostra uma visão integrada dos elementos estruturais das abas norte e sul, do Sistema Transcorrente Carajás, onde se verifica que a leste e oeste tais elementos convergem, e imediatamente a leste as duas abas se fundem com orientação geral E-W. Constata-se, então, que a estruturação maior compõem uma sigmoide com concavidade voltada para sul, refletindo assimetria sinistral. É importante destacar que a penetratividade das estruturas diminui sensivelmente em direção a parte central da sigmoide, sugerindo que o grau de deformação é menor nessa região.

Informações de campo (Araújo et al, 1988, Araújo e Maia, no prelo), indicam que as estruturas mencionadas correspondem à zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo, impressas de modo pervasivo na interface Grupo Grão Pará/Complexo Xingu. Internamente, as zonas de cisalhamento são caracterizadas por frações lenticulares de corpos rochosos de dimensões centimétricas a quilométricas, fortemente foliadas nas bordas e pouco deformadas no centro; localmente, a foliação milonítica pode passar para um bandamento composicional que, em alguns casos, reflete uma pseudoestratificação. A lineação de estiramento, associada ao desenvolvimento da foliação milonítica, tem orientação geral NE-SW e mergulha para SW e NE respectivamente, nas abas norte e sul da estrutura sigmoi-

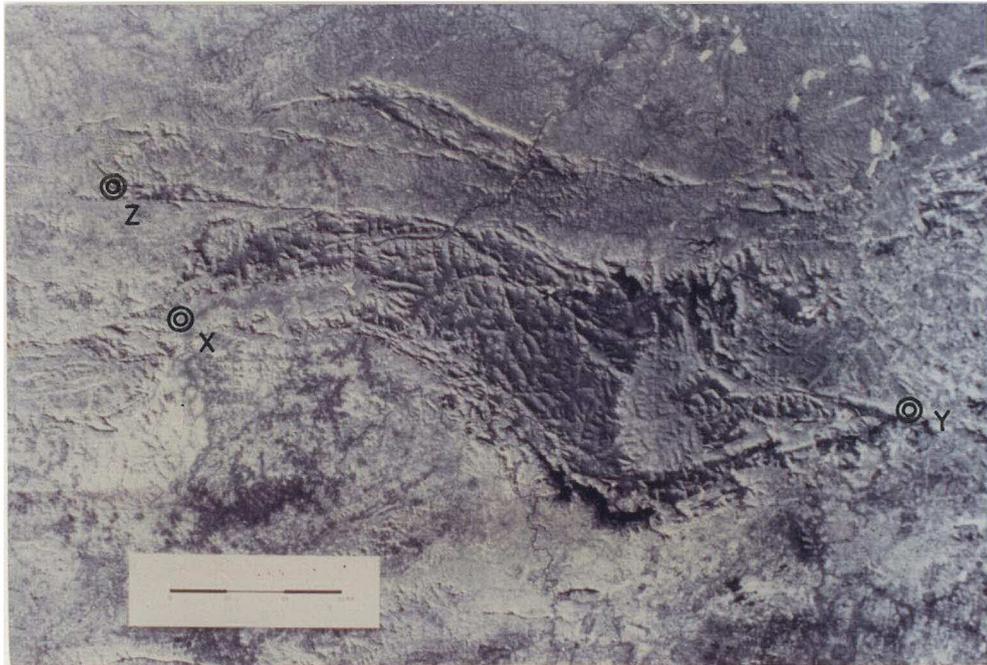


Fig. 5.4 - Reprodução fotográfica da Imagem TM LANDSAT-5, 224/64, banda 4 de 22.06.86. Os pontos X e Y mostram, respectivamente, o fechamento oeste e leste da sigmoide que compõem o Sistema Transcorrente Carajás. O ponto Z exhibe uma fração de rocha, da estrutura sigmoidal, que teria sido deslocado para oeste pela Falha Transcorrente Carajás.

dal. Os critérios de rotação indicam sistematicamente movimentação sinistral. Entre as zonas de cisalhamento os pacotes rochosos estão dobrados ou fortemente basculados e quase sempre não foliados.

Conforme mencionou-se anteriormente, a estruturação sigmoidal divergente é seccionada e deslocada por faixas discretas orientadas na direção N-S e caracterizadas por um arranjo penetrativo de formas lineares (lineações) de drenagem e de relevo; tais faixas representam zonas de cisalhamento com movimentação dextral. Destacam-se na área a zona que passa entre os depósitos de ferro de N2 e N3 e se projeta para sul até às proximidades da aba sul, bem como a zona situada no extremo sul da área que promove ondulações quilométricas nas zonas de cisalhamento com caráter de calvagamento. A fig. 5.5 exhibe zonas de cisalhamento que passam entre os depósitos de ferro de N4 e N5; essas zonas de cisalhamento impõem dobramentos expressivos nos pacotes de formação ferrífera e são responsáveis pelas complicações geométricas verificadas na mina de N4E (Marçal, informação verbal).

Na parte centro-leste da estrutura sigmoidal individualizam-se, também, expressivos lineamentos de relevo e de drenagem orientados preferencialmente na direção NW-SE, que seccionam as zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento. Como as informações disponíveis são ainda escassas, no momento, é difícil decidir se tratam-se de falhas mais jovens ou de zonas de cisalhamento P ligadas à evolução estrutural da estruturação sigmoidal regional.

#### 5.2.2 - SISTEMA TRANSCORRENTE CINZENTO

O Sistema Transcorrente Cinzento ocorre na parte centro-norte da área (Apêndice A e fig. 5.1), imediatamente a norte do Sistema Transcorrente Carajás, é re-

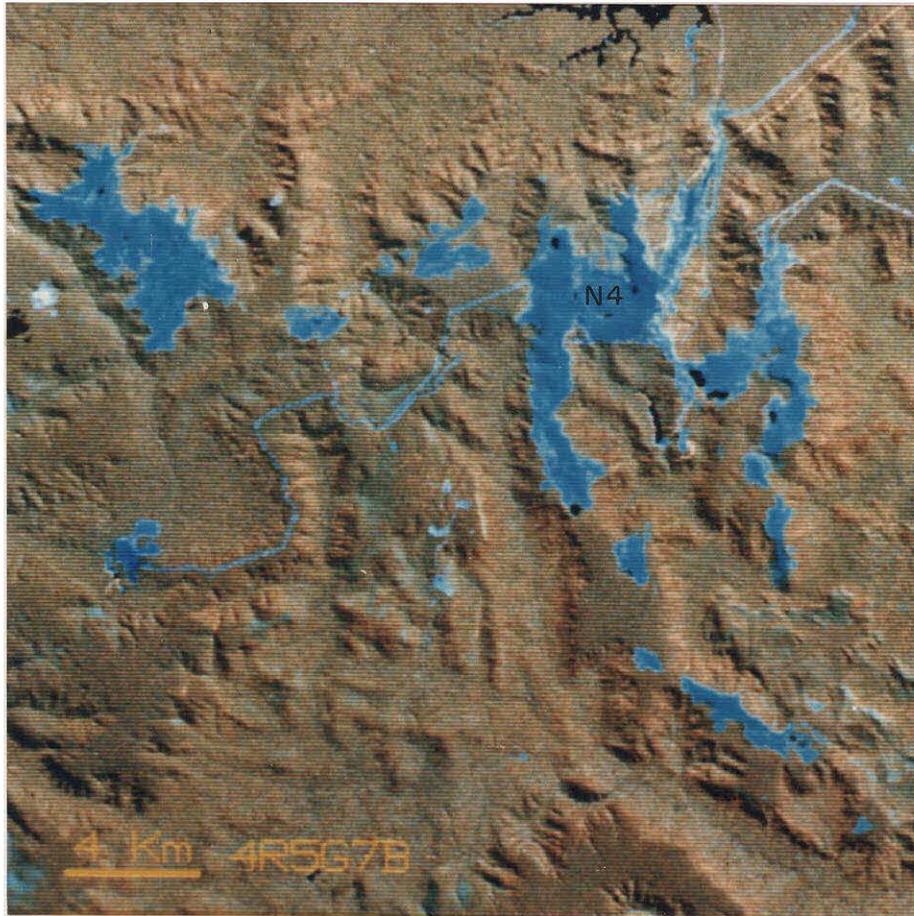


Fig.5.5 - Composição colorida RGB com ALC mostrando, em detalhe, o desenvolvimento estrutural nas proximidades do depósito de ferro de N4.

alçado através de um conjunto de serras alinhadas e sustentadas, em particular, por rochas supracrustais do Grupo Igarapé Salobo (DOCEGEO, 1987). Nesse setor do sistema são reconhecidos os duplexes Salobo e Cururu (Costa e Siqueira, no prelo; Siqueira, 1990).

#### 5.2.2.1 - DUPLEX SALOBO

O duplex Salobo (fig. 5.6) compõe a terminação oeste do Sistema Transcorrente Cinzento, é alongado na direção WNW-ESE e tem forma elítica. Sua extremidade sul é definida pela disposição estruturada de quebras positivas e negativas, e por uma densa rede de formas lineares (lineações) de relevo e drenagem, refletindo a existência de uma zona de cisalhamento retilínea. A constituição interna dessa estrutura inclui zonas fotolitológicas lenticulares e resistentes à erosão, que correspondem principalmente a pacotes de quartzitos, imersos em meio a gnaisses fracamente resistentes à erosão. A forte simetria do relevo indica que as camadas encontram-se verticalizadas nesta região.

A extremidade norte do duplex é caracterizada por um conjunto regular de quebras negativas e positivas, o qual desenha um lineamento curvo, com cavidade voltada para sul, que se ajusta à zona de cisalhamento retilínea nas terminações leste e oeste da estrutura elítica. As formas lineares de relevo e de drenagem contribuem para a definição da estrutura curvilínea. Na sua constituição litológica estão presentes conjuntos rochosos fortemente resistentes à erosão, representados por camadas contínuas de formação ferrífera e quartzitos. A fraca assimetria do relevo sugere que os pacotes de rocha supracrustais mergulham em torno de  $80^{\circ}$  para sul.

No interior da estrutura alítica observa-se



10 Km 4R5G7B

Fig. 5.6 - Composição colorida RGB com ALC mostrando, em detalhe, o Duplex Salobo.

um feixe estruturado de rupturas de declive positivas e negativas orientadas na direção NW-SE, que se ajustam as feições de relevo e de drenagem relativas às zonas retilínea e curvilínea. As quebras negativas separam zonas fotolitológicas que apresentam moderada a alta resistência à erosão de zonas fotolitológicas caracterizadas por baixa resistência à erosão e alta densidade de drenagem. Nessas interfaces, verifica-se um aumento na intensidade das formas lineares (lineações) de relevo e drenagem, sugerindo a presença de zonas de deformação concentrada ou zonas de cisalhamento.

As informações de campo (Siqueira, 1990) demonstram que, a zona de cisalhamento retilínea é transcorrente e as demais são zonas de cisalhamento com movimentação normal. Nesse sentido, o duplex Salobo é entendido como uma estrutura distensiva assimétrica, com a zona retilínea funcionando como o plano de deslocamento principal. As imagens realçadas (figs. 7.1, 7.3 e 7.5) mostram que internamente, o duplex Salobo é caracterizado por forte imbricação de unidades rochosas de natureza distintas, podendo refletir, em parte, uma evolução estrutural complexa.

#### 5.2.2.2 - DUPLEX CURURU

O duplex Cururu (fig. 5.7) compreende a terminação leste do Sistema Transcorrente Cinzento, na área investigada e se destaca pelos conjuntos de serra orientadas na direção NW-SE, sustentadas por rochas com alta resistência à erosão, correspondendo a pacotes de quartzitos. Sua configuração externa assemelha-se a um romboedro formado por feixes estruturados de rupturas de declive po-



Fig. 5.7 - Composição colorida RGB com ALC mostrando, em detalhe, o Duplex Cururu.

sitivas e negativas retilíneas e com alta densidade de formas lineares (lineações) de relevo e drenagem associada.

A parte interna da estrutura é caracterizada por elementos texturais de drenagem e de relevo curvilíneos, que passam gradativamente para o molde retilíneo externo. Tal arranjo geométrico pode ser descrito como uma elipse simétrica.

As informações de campo sobre esta estrutura ainda são escassas, mas a forma geométrica esboçada em mapa permite vislumbrar a interpretação de que se trata de uma bacia romboide invertida. Nesse caso, as estruturas retilíneas correspondem às zonas de cisalhamento transcorrentes mestras e as zonas de cisalhamento curvilíneas representam os cavalgamentos oblíquos secundários.

#### 5.2.2.3 - OUTRAS ESTRUTURAS

Os duplexes Salobo e Cururu interagem através de um segmento retilíneo, caracterizado por alta densidade de elementos texturais de drenagem e de relevo, e por frações lenticulares de zonas fotolitológicas resistentes à erosão e imersas em uma massa rochosa com baixa resistência à erosão. Este segmento corresponde, provavelmente, a zona de cisalhamento mestra do Sistema Transcorrente Cinzento.

Os elementos estruturais principais que compõem o Sistema Cinzento são seccionados e deslocados por faixas discretas, estreitas, orientadas nas direções NW-SE e N-S, definidas por uma alta densidade de formas lineares (lineações) de relevo, elas correspondem a zonas de cisalhamento com movimentação sinistral e dextral, que podem ser entendidas, respectivamente, como zonas P e R'

ligadas ao binário sinistral principal.

### 5.2.3 - SISTEMA IMBRICADO

Entre os sistemas transcorrentes descritos, reconhecem-se faixas de rochas caracterizadas por baixa resistência à erosão correspondendo, genericamente, a gnaisses e granitóides mais ou menos migmatizados, vinculados ao Complexo Xingu.

A análise visual das formas lineares (lineações) de relevo e drenagem permite que, localmente, sejam individualizadas faixas de rochas fortemente orientadas, correlacionáveis a zonas de cisalhamento. Verifica-se também que essas faixas se orientam preferencialmente na direção E-W porém, ocorrem importantes desvios para as direções WNW-ESE e ENE-WSW, promovendo a definição de um arranjo geométrico anastomótico ou amendoado.

Segundo Araújo et al (1988) e Araújo e Maia (no prelo), tais faixas representam zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo, desenvolvidas sob condições térmicas de fácies anfíbolito. Os diversos feixes de zonas de cisalhamento, em escala regional, compõem um sistema imbricado ligado a um processo de milonitização generalizada responsável pelo soerguimento de rochas da base da crosta, a exemplo dos granulitos do Complexo Pium, expostos no canto sudoeste da área investigada.

### 5.2.4 - FALHA CARAJÁS

A Falha Carajás se instalou em grande parte sobre os elementos lito-estruturais do Sistema Transcorrente Carajás. Trata-se de uma descontinuidade composta por um segmento retilíneo de direção E-W que passa a um segmento curvilíneo NW-SE, no trecho compreendido entre o

Rio Itacaiunas e o limite leste da área.

O segmento retilíneo é definido por uma quebra negativa implantada na interface Grupo Grão Pará - Complexo Xingu, que se projeta para oeste seguindo a direção das zonas de cisalhamento do Sistema Imbricado. A ausência de corpos geológicos e de estruturas rotacionadas não permitiu a caracterização do sentido de movimentação da falha. Por outro lado, a análise integrada desse segmento, incluindo o trecho situado a oeste da área, permite as seguintes considerações: a estrutura sigmoidal é truncada pela falha Carajás a oeste da região do prospecto Pojuca; próximo à extremidade oeste da falha Carajás existe uma unidade fotolitológica com as mesmas características texturais e padrões tonais das rochas do Grupo Grão Pará no sentido de Araújo et al (1988) (fig. 5.4), sugerindo que parte da estrutura sigmoidal, situada no bloco a norte da falha, foi deslocada para oeste por várias dezenas de quilômetros. Tal interpretação implica em movimentação sinistral associada à evolução da falha Carajás.

O segmento curvilíneo é formado por um feixe de lineamentos que podem ser descritos como quebras negativas projetadas nas rochas vulcânicas e sedimentares do Grupo Grão Pará e nas rochas do Granito da Serra dos Carajás. A escassez de informações não permite que se avance no entendimento dessa estrutura, mas considerando que as descontinuidades curvas se ajustam aos segmentos retos E-W em direção a NW e a SE; que a movimentação é essencialmente sinistral; e que as camadas de rochas sedimentares entre as descontinuidades estão fortemente basculadas ou dobradas, pode-se concluir, preliminarmente, que o segmento NW-SE da falha Carajás, na extremidade oeste da área investigada, corresponde a um duplex compressivo.

O quadro de estruturas se completa com as

descontinuidades orientadas nas direções NE-SW, NNE-SSW e N-S, que seccionam todos os elementos estruturais descritos anteriormente. Estas descontinuidades podem ser descritas como lineamentos de drenagem, a exemplo de trechos retilíneos do rio Itacaiunas ou quebras negativas (fig. 5.1). Costa et al, no prelo, define no contexto da Amazônia Oriental vários feixes de falhas NE-SW, ligadas a evolução do Proterozóico Médio-Superior, interpretadas como falhas de transferência.

## CAPÍTULO 6

### EVOLUÇÃO CINEMÁTICA DOS SISTEMAS TRANSCORRENTES E IMPLICAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS

#### 6.1 - INTRODUÇÃO

A evolução cinemática dos sistemas transcorrentes, presentes na área pesquisada, é entendida através de dois eventos termo-tectônicos distintos: o primeiro, refere-se à instalação dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento no final do Arqueano, de acordo com as informações geocronológicas disponíveis (Gibbs, 1985; Gibbs e Wirth, 1986; Wirth, 1986 e Machado et al, 1988). o segundo corresponde à implantação da falha Carajás após a colocação do Granito Central no Proterozóico Médio.

#### 6.1.1 - PRIMEIRO EVENTO

O estudo dos critérios cinemáticos, através das zonas de cisalhamento que compõem a estrutura em flor positiva da Serra dos Carajás e os duplexes Salobo e Cururu, indica que dominam aqueles vinculados à atuação de um binário sinistral (Araújo et al, 1988; Araújo e Maia, no prelo; Costa e Siqueira, no prelo; Siqueira, 1990). A partir da análise visual dos elementos texturais de drenagem e de relevo na extremidade oeste da estrutura sigmoidal do Sistema Carajás, constata-se que a aba sul apresenta forte concavidade voltada para sul, sugerindo movimentação sinistral associada ao seu desenvolvimento. Quando se analisa o duplex Salobo, verifica-se que as formas lineares de relevo e drenagem, e as quebras negativas, relacionadas as zonas de cisalhamento secundárias NW-SE, passam regularmente para os elementos texturais das zonas de cisalhamento principais; essa configuração geométrica é similar ao padrão clássico de assimetria sinistral formada pela in -

terseção das foliações S e C. Quadro semelhante é observado no duplex Cururu, com as zonas de cisalhamento secundárias NW-SE ligadas às zonas de cisalhamento retilíneas externas.

As informações relativas à lineação de estiramento atrelada a formação de zonas de cisalhamento, resumem-se em: na sigmoide do Sistema Carajás e no duplex Cururu a lineação de estiramento tem orientação geral NE-SW e mergulha para SW e NE, respectivamente, nas abas norte e sul dessas estruturas (Araújo et al, 1988); no duplex Salobo a lineação de estiramento é horizontal na zona de cisalhamento retilínea e fortemente inclinada para SSE nas demais zonas de cisalhamento (Costa e Siqueira, no prelo; Siqueira, 1990). Como a movimentação é predominantemente sinistral, tais informações permitem deduzir que o último movimento cinemático foi transpressivo na sigmoide do Sistema Carajás e no duplex Cururu, e transtensivo no duplex Salobo. Sabe-se também, que esse pulso cinemático foi acompanhado por transformações mineralógicas em condições térmicas de fácies xisto verde e que existem registros de assembléias mineralógicas de fácies anfíbolito baixo ao longo das zonas de cisalhamento mais externas da sigmoide do Sistema Carajás.

Quanto à constituição litológica as estruturas maiores que compõem os dois sistemas transcorrentes são formadas essencialmente por rochas supracrustais de natureza vulcânica e/ou sedimentar, com frações de gnais-ses do embasamento associadas. A sigmoide do Sistema Carajás, por exemplo, é realçada, em grande parte, por quebras negativas e positivas impressas nos pacotes vulcânicos e sedimentares do Grupo Grão Pará; esse quadro se repete nas rochas supracrustais alojadas nos duplexes Salobo e Cururu. A íntima associação dos pacotes de rochas supracrustais com as estruturas dos sistemas transcorrentes im-

plica na existência de um pulso cinemático transtensivo inicial, principalmente, porque não se verificam unidades rochosas semelhantes fora dos sistemas transcorrentes. Desse modo, deduz-se que ao longo dos sistemas transcorrentes implantaram-se bacias que acolheram os produtos vulcânicos e sedimentares e, com a progressão da movimentação do sistema, experimentaram inversão transpressiva. Siqueira (1990) caracterizou na região do Salobo uma fase transpressiva em fácies anfíbolito entre os pulsos transpressivos inicial e final. Quando se restaura os efeitos da movimentação transpressiva, visualizam-se bacias com geometria simétrica, assimétrica e rombóide ligados a evolução da sigmoide do Sistema Carajás, do duplex Salobo e do duplex Cururu, respectivamente.

Em resumo, a evolução cinemática dos Sistemas transcorrentes Cinzento e Carajás envolveu transtensão inicial seguida de transpressão, sendo que no duplex Salobo existe o registro de uma fase transtensiva final em condições da fácies xisto verde (Siqueira, 1990). As movimentações tardias são materializadas pelas zonas de cisalhamento discretas sinistrais e dextrais orientadas, respectivamente, nas direções NW-SE e aproximadamente N-S, as quais são interpretadas como zonas P e R'.

O novo enfoque lito-estrutural definido para a região da Serra dos Carajás, com base na análise visual dos elementos texturais de relevo e drenagem, impõe alguns obstáculos ao entendimento do arranjo lito-estratigráfico utilizado tradicionalmente na literatura, ou seja, os grupos Grão Pará, Rio Fresco e Igarapé Bahia não ressaltam uma descontinuidade física entre si; o Grupo Rio Fresco se amolda a sigmoide do Sistema Carajás, com seus elementos texturais seguindo rigorosamente a direção dos elementos texturais das demais unidades; o Grupo Igarapé Salobo parece limitar-se a região do duplex homônimo, não se esten-

dendo para a região do duplex Cururu; as rochas supracrustais do duplex Cururu estão diretamente ligadas à evolução de uma estrutura rombóide, devendo receber denominação lito-estratigráfica própria; as frações lenticulares e camadas regulares de gnaisses que ocorrem embutidas nas rochas supracrustais, nas diversas estruturas representam fatias alóctones do embasamento (Complexo Xingu), desmembradas da massa gnáissica principalmente durante a transpressão, não podendo receber denominações particulares.

Desse modo a partir da compreensão dos aspectos geométricos e cinemáticos básicos dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, conclui-se que os grupos Grão Pará (no sentido de Araújo et al, 1988) Salobo (no sentido de Siqueira, 1990) e Cururu (denominação adotada preliminarmente nesta dissertação) implantaram-se em bacias distintas, e que embora apresentem produtos de um mesmo evento termo-tectônico do final do Arqueano, não podem ser reunidos no Supergrupo Itacaiunas.

#### 6.1.2 - SEGUNDO EVENTO

Após a colocação do Granito Central, a região voltou a experimentar movimentação essencialmente transcorrente. Desta vez, a feição estrutural gerada foi a falha Carajás. Trata-se de uma falha transcorrente sinistral, cuja história cinemática compreende movimentação essencialmente ao longo do segmento reto a oeste e transpressivo no segmento curvo de direção NW-SE.

No segmento reto, a análise dos elementos texturais sugere que uma fração do Grupo Grão Pará foi desmembrada e transportada por mais de 30 km em direção a oeste (fig. 5.4). Por outro lado, no segmento compressivo, onde se desenvolve um feixe de planos de cavalgamento, a fraca assimetria do relevo e a geometria das quebras posi-

tivas indicam que as rochas entre os planos de cavalgamento encontram-se verticalizadas ou desenhando dobras métricas a quilométricas.



## CAPÍTULO 7

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES METALOGENÉTICAS

#### 7.1 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

##### 7.1.1 - UNIDADES FOTOLITOLÓGICAS

A individualização de zonas homólogas que correspondem a unidades fotolitológicas, para confecção do mapa lito-estrutural, com base nos princípios gerais de fotointerpretação do método lógico e sistemático, amplamente discutidos nos trabalhos de Soares e Fiori (1976) e Veneziani e Anjos (1982), foi efetuada a partir da análise visual dos elementos texturais de drenagem e relevo, aliada aos critérios de tonalidade sobre as imagens fotográficas e imagens obitadas a partir de técnicas de realce que, através de transformações matemáticas, melhoram consideravelmente sua qualidade visual.

Para esta fotointerpretação foram utilizadas as bandas 4 e 5 da imagem fotográfica TM LANDSAT-5, escala 1:100.000, e as imagens realçadas obtidas a partir da imagem digital TM LANDSAT-5, da órbita 224, ponto 64, com passagem datada de 22.06.86, que em função da pequena influência atmosférica e do baixo ângulo de elevação solar nesta época do ano, proporciona excelente qualidade e ótimo realce topográfico, através do sombreamento, à imagem, facilitando desse modo a caracterização estrutural. A aquisição de imagens em diferentes épocas do ano, com o objetivo de utilizar informações temporais, não é possível, em virtude dos constantes problemas atmosféricos que afetam a região, restringindo a obtenção de imagens, sem cobertura de nuvens, a apenas cerca de quatro meses do ano (maio a agosto).

As bandas espectrais 4 e 5 da imagem fotográfica enfatizam de maneira excelente, sob a forma de variações tonais, os contrastes entre a radiação proveniente de diferentes alvos. As outras bandas, em função de uma pré-análise visual realizada nas seis bandas originais da imagem digital, mostram uma qualidade inferior, não sendo por isso utilizadas nesta pesquisa.

As técnicas de realce que melhor se adequaram aos objetivos desta pesquisa foram: Ampliação Linear de Contrastes, Composições Coloridas, Transformação IHS e Decorrelação.

A técnica de realce Ampliação Linear de Contraste, foi utilizada em bandas individuais e combinadas. No primeiro caso, obteve-se uma cópia de cada banda da imagem digital, ampliada linearmente, para posterior análise individual; as bandas combinadas, três a três, tiveram o propósito de formar composições coloridas.

As Composições Coloridas RGB, com ampliação linear de contraste, que melhor realce proporcionaram à imagem foram obtidas a partir da combinação das bandas TM4, TM5, TM7, e TM5, TM4, TM7, associadas às cores azul, verde e vermelho (4R,5G,7B, e 5R,4G,7B), gerando imagens com razoável poder de discriminação fotolitológica para algumas unidades (Figs. 7.1 e 7.2)

Na transformação IHS, as melhores imagens foram obtidas a partir da combinação das bandas TM3, TM4, TM5 e TM2, TM4, TM5, associadas às cores azul, verde e vermelho (3B,4G,5R e 2B,4G,5R) (Figs. 7.3 e 7.4).

Quanto à técnica de realce por Decorrelação, apenas a combinação das bandas TM3, TM4 e TM5, forneceu um resultado significativo, proporcionando razoável aspecto

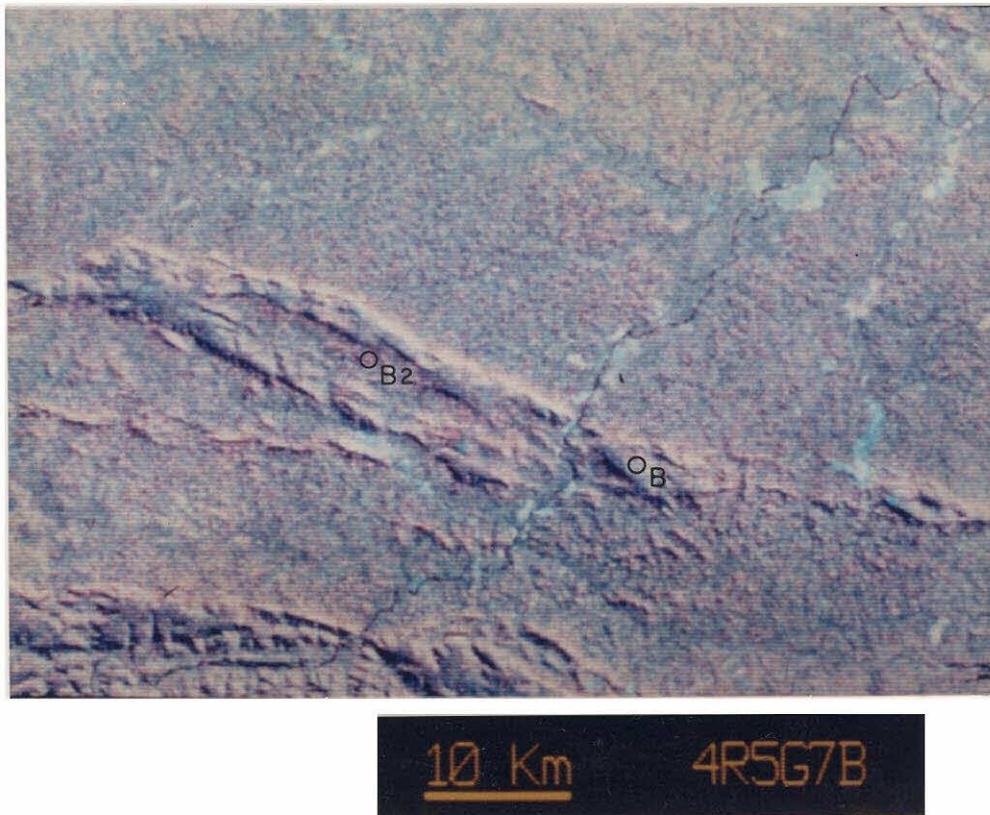


Fig. 7.1 - Composição colorida RGB, com Ampliação Linear de Contraste. Os pontos assinalados na imagem correspondem as unidades fotolitológicas descritas no Capítulo 4. (Módulo - A).

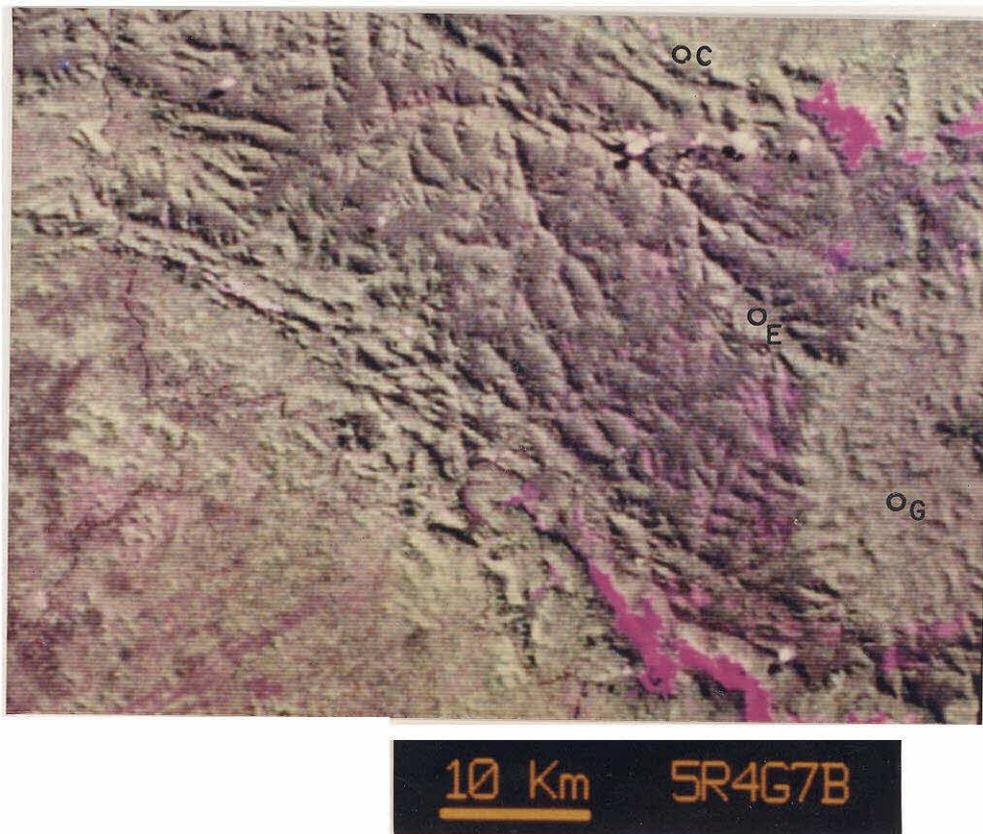


Fig. 7.2 - Composição colorida RGB, com Ampliação Linear de Contraste. Os pontos assinalados na imagem correspondem as unidades fotolitológicas descritas no Capítulo 4. (Módulo - B).

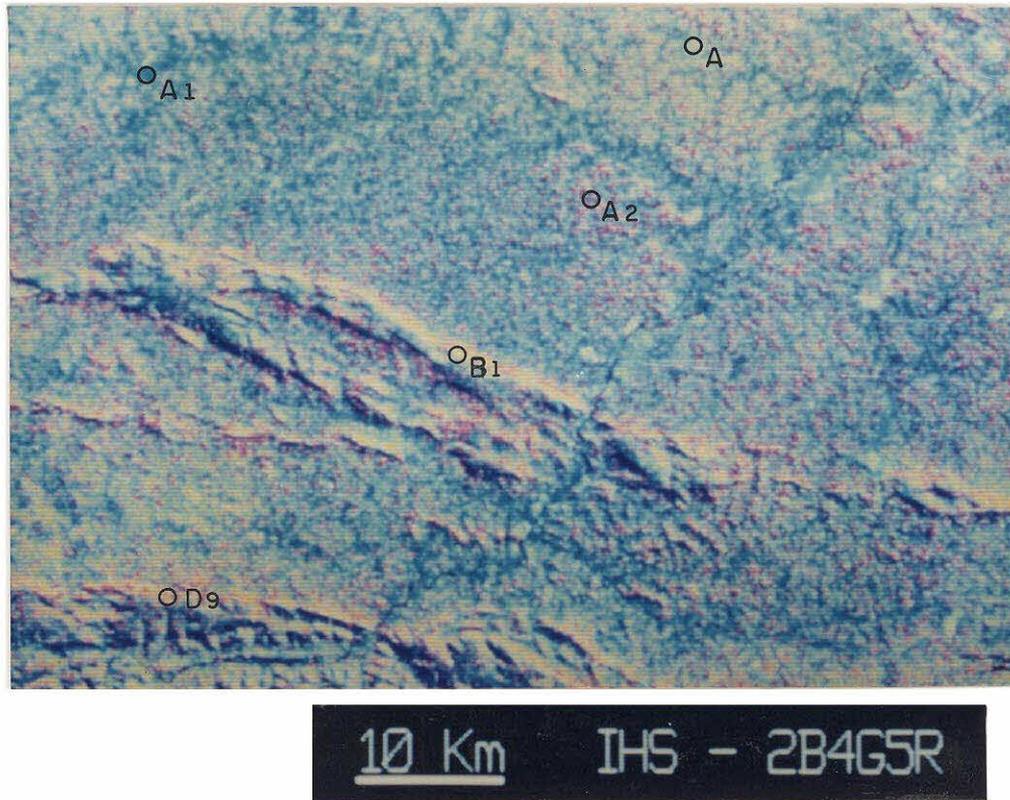


Fig. 7.3 - Imagem realçada por Transformação IHS. As componentes I e S foram ampliadas linearmente. Os pontos assinalados correspondem as unidades fotolitológicas descritas no capítulo 4.

(Módulo - A ).

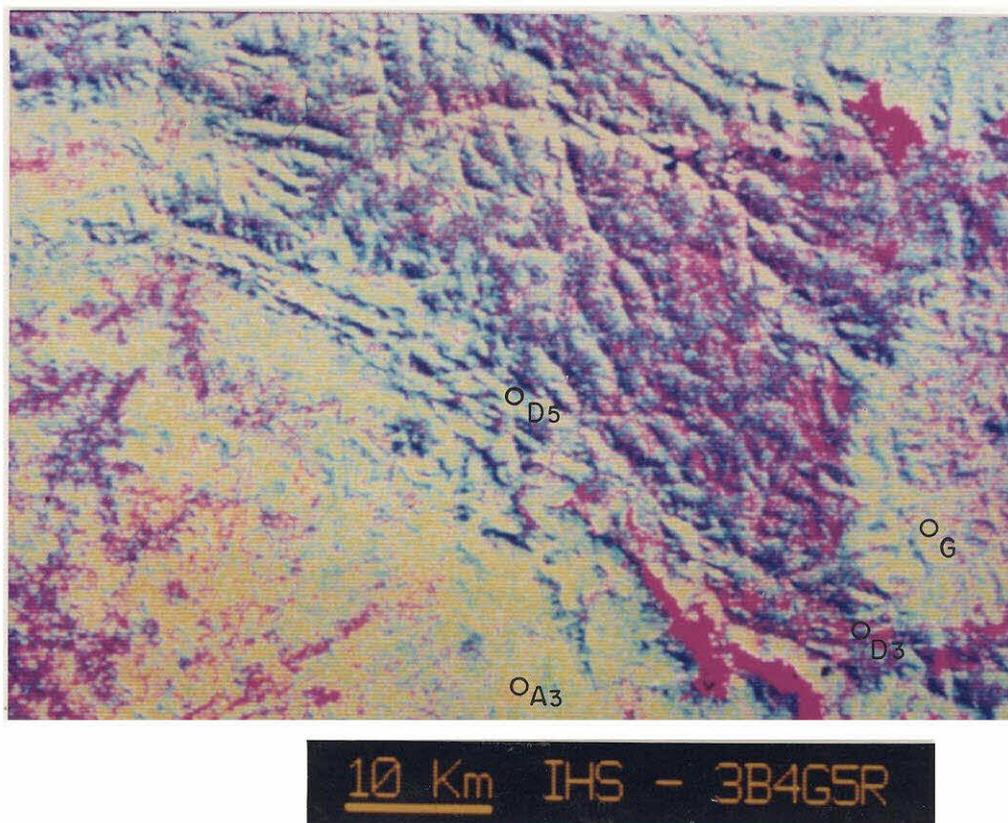


Fig. 7.4 - Imagem realçada por Transformação IHS. As componentes I e S foram ampliadas linearmente. Os pontos assinalados correspondem as unidade fotolitológicas descritas no capítulo 4.

(Módulo - B).

visual a imagem (Figs. 7.5 e 7.6).

A análise fotointerpretativa permitiu a individualização de vinte e seis unidades fotolitológicas descritas no capítulo 4 desta dissertação e compiladas no mapa lito-estrutural (Apêndice A).

A análise visual das estruturas observadas no mapa lito-estrutural (Apêndice A), foi efetuada, basicamente, sobre a imagem fotográfica, banda 4, que em função do baixo ângulo de elevação solar associado ao seu intervalo espectral de aquisição, que devido à estrutura interna das folhas neste intervalo atenua consideravelmente a influência da densa cobertura vegetal, caracteriza de forma excelente estas feições. As imagens obtidas através das técnicas de realce por decorrelação e transformação IHS, com ênfase maior para a última, também contribuíram bastante na individualização destas estruturas.

#### 7.1.2 - ESTRUTURAS

Os elementos estruturais descritos e interpretados nos capítulos anteriores sugerem que a região da Serra dos Carajás inclui importantes Sistemas Transcorrentes, com seqüências vulcânicas e sedimentares associadas. A evolução desses sistemas foi acompanhada por transformações mineralógicas em fáceis xisto verde e anfibolito, proporcionando a formação de milonitos e ultramilonitos ao longo das zonas de deformação concentrada ou zonas de cisalhamento. Além dessas zonas de cisalhamento, existem também aquelas inerentes ao desenvolvimento do sistema imbricado em fáceis anfibolito.

Sabe-se que as zonas de cisalhamento constituem anisotropias crustais ou não e são caracterizadas, internamente, pelo desenvolvimento penetrativo da foliação

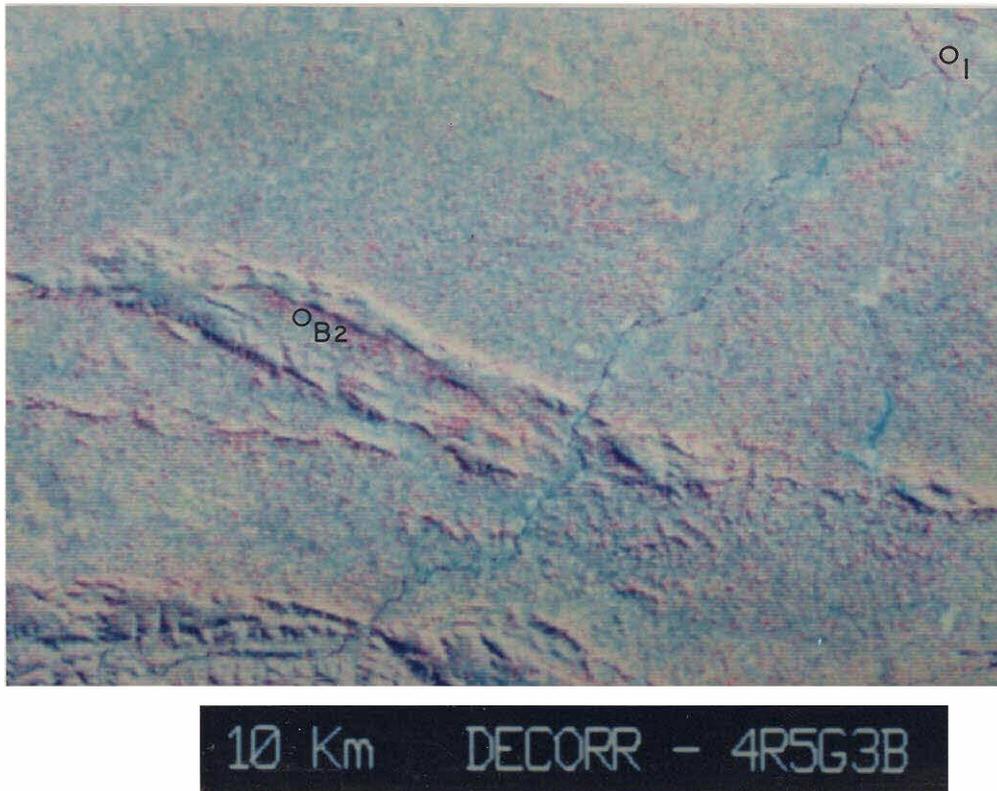


Fig. 7.5 - Imagem com realce por decorrelação. Os pontos assinalados correspondem as unidade fotolitológicas descritas no Capítulo 4.  
(Módulo - A).

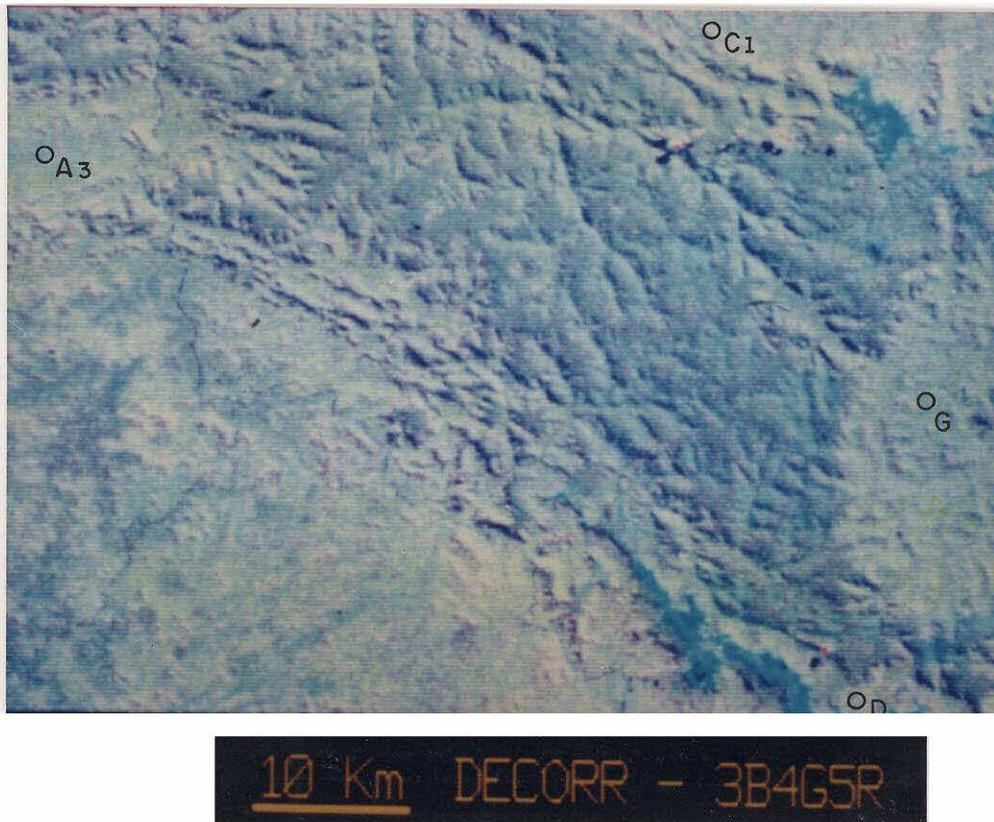


Fig. 7.6 - Imagem com realce por Decorrelação. Os pontos assinalados correspondem as unidades fotolitológicas descritas no Capítulo 4.  
(Módulo - B).

milonítica e por corpos geológicos segmentados e lenticulares devido à rotação e a transposição associada. Independentemente da natureza das unidades rochosas presentes nas zonas de cisalhamento, o traço da foliação milonítica e o arranjo geométrico dos corpos geológicos podem ser facilmente discerníveis nos diferentes produtos de sensores remotos, através da análise visual das formas lineares (lineações) de relevo e drenagem, e das quebras positivas e negativas. Esse enfoque promove a elaboração de cartas geológicas enriquecidas de elementos estruturais e permite, também, otimizar os trabalhos de campo, particularmente em regiões de difícil acesso, como é o caso da Região Amazônica.

Outro aspecto importante se refere a geometria das estruturas vinculadas a sistemas transcorrentes, que ao contrário dos sistemas inbricados compressivos e distensivos, incorporam movimentação essencialmente direcional e, nesse caso, o plano XZ do elipsóide de deformação corresponde à superfície de erosão; é nesse plano que estão impressos os traços verdadeiros das estruturas, de modo que os critérios cinemáticos e as variações geométricas de uma determinada estrutura devem ser procuradas nessa superfície. Assim, a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto permite que se avance rapidamente no entendimento de áreas caracterizadas, principalmente, pela presença de sistemas transcorrentes.

Com base no exposto, foi possível elaborar a carta lito-estrutural de uma vasta área da região da Serra dos Carajás, apresentada no apêndice A, e o entendimento do quadro geométrico-cinemático, sem envolver a realização de seções geológicas contínuas ao longo das diversas estruturas. De acordo com essa sistemática de trabalho, as observações de campo, imprescindíveis para a compreensão dos movimentos cinemáticos, tais como lineações de estiramento

e critérios cinemáticos, podem ser previamente selecionadas pela análise visual.

## 7.2 - CONSIDERAÇÕES METALOGENÉTICAS

Nessa discussão torna-se oportuno mencionar que a região da Serra dos Carajás é reconhecidamente uma Província Metalogenética, com depósitos de ferro, ouro, cobre, níquel e manganês, alguns dos quais transformados em mina e em plena exploração. Estudos realizados na área denominada Salobo 3A (Vieira et al, 1988; Siqueira, 1990) e nos garimpos da região do Sossego (Araújo e Maia, no prelo) demonstraram que as mineralizações de ouro e cobre estão intimamente relacionadas as zonas de cisalhamento; começa, portanto, a se configurar um quadro metalogenético do controle estrutural das mineralizações, no qual a geometria e a natureza das zonas de cisalhamento têm papel importante. Com relação à geometria, pode-se falar em armadilhas estruturais exemplificadas pelas faixas penetrativamente foliadas, as quais geralmente coincidem com as partes centrais das zonas de cisalhamento, e pelos segmentos curvos de zonas de cisalhamento que experimentaram distensão localizada na progressão da deformação.

Nesse novo enfoque metalogenético, a análise visual dos elementos texturais de relevo e drenagem também contribuem na individualização de alvos potencialmente favoráveis à prospecção mineral ou seja, as técnicas de Sensoriamento Remoto podem constituir ferramentas fundamentais na descoberta de novos depósitos minerais na Região de Carajás visto que, os Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento apresentam continuidade para leste e oeste da área pesquisada.



## CAPÍTULO 8

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise visual dos diferentes produtos de sensores remotos, somada às informações bibliográficas disponíveis, sobre a Região dos Carajás, possibilitou formular algumas conclusões, listadas a seguir, que esperamos ser de grande utilidade para a realização de futuras pesquisas.

A escolha de imagens fotográficas LANDSAT, mais adequadas ao desenvolvimento de trabalhos geológicos, envolvendo a confecção de cartas lito-estruturais, para a Região dos Carajás e arredores, em função da densa cobertura vegetal, ângulo de elevação solar e influência atmosférica, apontou para as bandas 4 e 5 da imagem TM LANDSAT-5, com data de passagem entre os meses de maio e agosto, como as que fornecem melhor aspecto visual para a análise de elementos texturais.

O processamento digital de imagens, empregado neste trabalho, com o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem processada, para posterior fotointerpretação, revelou, que a técnica de realce mais adequada aos objetivos desta análise foi a Transformação IHS envolvendo as combinações de bandas TM3, TM4, TM5 e TM2, TM4, TM5. Neste realce as componentes I e S foram ampliadas linearmente.

O uso combinado de produtos de sensores remotos em Carajás, uma região de densa cobertura vegetal, revelou-se como um fator importante na discriminação de zonas fotolitológicas e de elementos estruturais, tais como zonas de cisalhamento.

A análise visual desses produtos, com base nos procedimentos estabelecidos pelo método "Lógico e Sistemático", e a aplicação dos conceitos modernos de geologia estrutural e da geotectônica proporcionaram a elaboração de um mapa lito-estrutural que procura demonstrar, de modo claro e eficiente, a estruturação geral e a distribuição das unidades de um importante segmento da Região dos Carajás.

Independentemente da natureza dos sistemas estruturais, as formas lineares (lineações) de relevo e drenagem, e as quebras negativas e positivas realçaram as zonas de deformação concentrada ou zonas de cisalhamento. No caso dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, a geometria das diversas estruturas pode rapidamente ser visualizada quando da integração dos elementos texturais de drenagem e relevo; as figuras geométricas delineadas foram essencialmente duplexes sigmoidais e rombóides.

A evolução cinemática dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento envolveu transtensão, caracterizada pela deposição dos grupos Grão Pará, Salobo, e Cururu em bacias distintas, e transpressão, responsável pela imbricação generalizada das unidades; na extremidade oeste do Sistema Transcorrente Cinzento, existe registro de um terceiro pulso cinemático de natureza transtensiva envolvendo o duplex Salobo. As relações entre esses sistemas transcorrentes e o sistema imbricado de cavalgamento ainda não estão claras, mas é possível que as bacias Grão Pará, Salobo e Cururu tenham sido estabelecida sobre as unidades rochosas do Complexo Xingu; nesse caso, deve ter havido diacronismo na implantação dos sistemas durante a evolução do Cinturão Itacaiunas.

Na evolução mais antiga da região, destacam-se também as zonas de cisalhamento discretas sinis -

trais NW-SE dextais aproximadamente N-S que devem ser entendidas, respectivamente, como zonas P e R' do binário sinistral regional. As zonas R' impõem dobramento locais importantes nas zonas de cisalhamento que compõem a sigmoide do Sistema Carajás; o exemplo mais fotogênico reconhecido, até o momento, refere-se ao conjunto de dobras existentes na região compreendida entre os depósitos de ferro de N3 e N5 (Costa, comunicação verbal).

O quadro metalogenético da região parece estar condicionado à evolução lito-estrutural dos sistemas estruturais arqueanos. Nesse contexto, podem ser vislumbradas importantes frentes de prospecção mineral, a exemplo das regiões com grau de deformação alto, que se caracteriza, em particular, por uma densa rede de formas lineares (lineações) de relevo e drenagem.

A organização lito-estrutural da área se completa com a colocação do Granito Central e corpos menores correlacionáveis, e instalação da falha Carajás e dos lineamentos NE-SW. É importante destacar que a falha Carajás tem movimentação sinistral e é composta por um segmento curvo em sua parte central, que passa gradativamente para segmentos retos nas extremidades em direção a noroeste e a sudeste; o segmento curvo, provavelmente, representa um duplex compressivo.

O elementos texturais de drenagem e relevo realçaram na porção central da área analisada, entre a sigmóide Carajás e duplex Salobo, zonas de deformação concentrada configurando um padrão geométrico, característico de um duplex porém, a associação litológica estrutural local, indica a presença de uma provável bacia abortada durante a evolução cinemática dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento.

Durante a realização deste trabalho não foi possível reconhecer os elementos lito-estruturais ligados à evolução do Fanerozóico, além das extensas coberturas lateríticas e dos depósitos colúvio-aluvionares associados ao sistema de drenagem atual. Por outro lado, cabe ressaltar a existência de importantes desníveis de blocos na região, que devem estar ligados a movimentos tectônicos meso-cenozóicos, cujo significado ainda não foi esclarecido.

Aproveitamos este espaço para recomendar que trabalhos semelhantes sejam desenvolvidos a leste, a norte e na própria área investigada, com a intenção de buscar o aprimoramento do conhecimento atual e, particularmente, a evolução das outras estruturas que ocorrem no prolongamento dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.J.; ASHLEY, R.P.; ROWAN, L.C.; GOETZ, A.F.H.; KAHLE, A.B. Mapping of hydrothermal alteration in the cuprite mining district, Nevada, using air craft scanner imagens for the spectral region 0,46 to 2,36 um. Geology, (5): 713-18, 1977.
- ABRAMS, M.J.; BROWN, D.; LEPLEY, L.; SADOWSKI, R. Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona. Economic geology, 78 (4): 591-604, June/July, 1983.
- ABRAMS, M.J.; KAHLE, A.; GILLESPIE, A.; CONEL, J.; LANG, H. Geology utility of Landsat-4 TM data. In: LANDSAT-4 SCIENCE CHARACTERIZATION EARLY RESULTS SYMPOSIUM, Green belt, MD, Feb. 22-24, 1983. Proceedings. Washington, DC, NASA Goddard space flight center, 1985. v.4 - applications, p. IV. 127-IV. 130. (NASA CP-2355).
- ALMEIDA FILHO, R. Sensoriamento remoto orbital aplicado à prospecção mineral nas províncias estaníferas de Goiás e Rondônia: uma contribuição metodológica. (Tese de Doutorado)-IGUSP, São Paulo, 1983. 171p.
- ARAÚJO, O.J.B. de; MAIA, R.G.N.; JOÃO, X.S.J.; COSTA, J.B.S. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, 1988. Anais... Belém, SBG, 1988. v.1, p.324-38.
- ARAÚJO, O.J.B. de; MAIA, R.G.N. Folha Serra dos Carajás. Programa Grande Carajás, Convênio DNPM/CPRM. No prelo.
- BARBOSA, O.; ANDRADE RAMOS, J.R. de; GOMES, F.A.; HELMBOLD, R. Geologia estratigráfica estrutural e econômica da área do ''Projeto Araguaia''. Rio de Janeiro, IBGE, 1966. 94p. (Brasil DNPM. Monografia, 19).

- BEISIEGEL, V. de R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. Rev.Bras.Geoc., 3(4):215-42, dez. 1973.
- BLICK, N.C.; BIDDLE, K.T. Deformation and basin formation along strike-slip faults. In: BLICK, N.C.; BIDDLE, K.T. ed. Strike-Slip deformation basin, formation and sedimentation. Tulsa, Soc. Econ. Paleont. and Mineral. Sp. Public., 37:1-34, 1985.
- BLODGET, H.W.; GUNTHER, F.J.; PODWYSOCKI, M.H. Discrimination of rock types and alteration products in south western Saudi-Arabia with computer enhancement of LANDSAT data. Washington, DC, NASA Goddard space flight center, 1978. 34p. (NASA Techn. pap., 1327).
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. (Brasil. DNPM) Projeto Radam. Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC. 22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 1974. (levantamento de Recursos Naturais, 4).
- BUTLER, R.W.H. The termination of structures in the thrust belts. Journal of Structural Geology, 4:239-45, 1982.
- CASTELO BRANCO, R.M.G.; SVISERO, D.P. Análise de estruturas anelares da região sul do Estado do Piauí por meio de produtos de sensoriamento remoto. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG, 1986. v.6, p.2973-83.

- CHAVEZ JR., P.S.; BERLIN JR., G.L.; COSTA, A.V. Computer processing of LANDSAT MSS digital data for linear enhancement. In: MAPPING WITH REMOTE SENSING DATA. ANNUAL WM. T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 2. Proceedings. Sioux Falls. South Dakota, 1976. p.235-56.
- CVRD/CMM. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Belém, 1972. Resumo das comunicações. Belém, SBG, 1972. p.78-80. (Boletim, 2).
- CONDIT, C.D.; CHAVEZ JR., P.S. Basic concepts of computerized digital image processing for geologists. Washington, DC, USGS, 1979. 16p. (USGS Bulletin, 1462).
- CORDANI, U.G.; NEVES, B.B.B. The geologic evolution of south America during the archean and early proterozoic. Rev.Bras.Geoc., 12(1/3):78-88, mar./ju./set. 1982.
- COSTA, J.B.S.; PINHEIRO, R.V.L.; JOÃO, X.S.J.; ARAÚJO, O.J.B. Esboço estrutural do Proterozóico Médio da Amazônia Oriental. No prelo.
- COSTA, J.B.S.; SIQUEIRA, J.B. Transtensão e transpressão ao longo do Lineamento Cinzento. Rev.Bras.Geol.No prelo.
- CROWELL, J.C. Origin of late cenozoic basins in Southern Califórnia. In: DICKSON, W.R. ed. Tectonics and sedimentation. Tulsa, Soc. Econ. Paleont. and Mineral. Sp. Public, 1974. 22:190-204.
- DOCEGEO. Lithostratigraphic review of the Carajás district and southern Pará-Brazil. In: IUGS. PRECAMBRIAN EVOLUTION OF THE AMAZONIAN REGION, Carajás, 1987. Final meeting of the working group. Extended abstracts. Carajás, 1987. p.11-9.

- \_\_\_\_\_. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. Anexos aos Anais. Belém, SBG, 1988. p.11-54.
- DUCKE, A.; BLACK, G.A. Notas sobre a Fitogeografia da Amazônia Brasileira. B.Téc.Inst.Agron.Norte, Belém (29):1-62, 1954.
- DUTRA, L.V.; MENESES, P.R. Aplicação da transformação IHS para realce de cores em imagens LANDSAT. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, 1986. Anais. Gramado, MCT/INPE/SELPER/SBC, 1986. v.1, p.675-81.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Realce de cores em imagens de sensoriamento remoto utilizando rotação de matriz no espaço IHS. São José dos Campos, INPE, 1987. 13p. (INPE-4207-PRE/1088).
- DUTRA, L.V.; MENESES, P.R.; PARADELLA, W.R. Color enhancement of remote sensing imagery using IHS transformations and decorrelation stretch methods. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4559-PRE/1300).
- DYKSTRA, J.D.; BIRNIE, R.W. Reconnaissance geologic mapping in Chagai Hills, Baluchistan, Pakistan, by computer processing of LANDSAT data. The American Association Petroleum Geologists Bulletin, 63(9):1490-503, 1979.
- ENGEL, J.L.; WEISTEIN, O. The thematic mapper - an overview. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-21(3):258-65, July, 1983.

- FERREIRA, A.C.; ALMEIDA, T.I.R. de. Tectônica transcorrente e imagens TM- Landsat aplicadas a Prospecção de Fluorita e Barita em Santa Catarina. Rev.Bras.Geoc., 19(2):207-23, Jun. 1989.
- FERREIRA FILHO, C.F. Geologia e mineralizações sulfetadas do Prospecto Bahia - Província Mineral de Carajás - PA. (Dissertação e Mestrado) - Universidade de Brasília - IE - Departamento de Geociências, Brasília, 1985. 172p.
- FIGUEIRAS, A.J.M.; VILLAS, R.N.N. Estudo petrológico e sedimentológico da sequência clástica (pós-Grupo Grão Pará) da Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG, 1984. v.2, p.832-46.
- GAUSSEN, H. Determination des climats per la méthode des courbes ombrotermiques. C.R.Acad.Sci., Paris (236):1075, 1955.
- GIBBS, A.D. Structural evolution of extensional basin margins. Journal of the Geological Society, 1984. 141:609-20, 1984.
- GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K. Field report on a visit to the Grão Pará, Group, Serra dos Carajás, Brazil. Belém, Docegeo, 1985. 35p. Relatório interno da DOCEGEO.
- GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; OLSZEWSKI JR., W.J. Age and composition of the Grão Pará Group Volcanics, Serra dos Carajás. Rev.Bras.Geoc., 16(2):201-11, jun. 1986.

GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R. Lithostratigraphy of the Grão Pará Group, Serra dos Carajás, Brazil (abstract): 98th annual meeting of the geological society of America, Orlando, Flórida, Abstracts with programs, 17(7):591, 1985a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Origin and evolution of the Amazonian craton: Lunar and planetary institute workshop on early crustal genesis: the world's oldest rocks, godthat, greenland, june 21-30, 1985, Lunar and planetary science institute, Houston, Texas, 5p., (LPI technical report, 86-04), 1985b. p.46-50.

GLERUM, B.B.; SMIT, G. Pesquisa combinada floresta-solo no Pará-Maranhão. Trad. do Geraldo Brocchi. Rio de Janeiro, SPVEA, 1965. 115p.

GOETZ, A.F.H.; BILLINGSLEY, F.C.; GILLESPIE, A.R.; ABRAMS, M.J.; SOUIRES, R.L.; SHOEMAKER, E.M.; LUCCHITA, I.; ELSTON, D.P.I. Applications of ERTS image and geologic mapping in Northern Arizona. Pasadena, JPL, 1975. 188p. (JPL Tech. Rept., 32-1975).

GOLD, D.P. Structural geology. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. Remote sensing in geology. Toronto, John Wiley, 1980. cap. 14, p.412-83.

GUY, M. Quelques principes et quelques experiencies sur la methologie de la photo-interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2., Paris, 1966. ACTE... Paris, 1966. v.1, p.21-41.

HARDING, T.P. Newport-Inglewood trend, California-An example of wrenching style of deformation. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 57(1):97-116, 1973.

- HARDING, T.P. Petroleum traps associated with wrench faults. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 58(7):1290-304, 1974.
- HARLAND, T.P. Tectonic transpression in Calcedonian Spitz-bergen. Geol.Mag. 108:27-42, 1971.
- HEINSDJIK, D.; MIRANDA BASTOS, A. de. Inventários florestais na Amazônia. Bol. Setor Inventários Florestais, 6, Rio de Janeiro, 1963.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. Geologia regional da província mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém, 1982. Anais... Belém, SBG, 1982. v.1, p.100-10.
- HODGSON, R.A. Review of significant early studies in lineament tectonics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF NEW BASEMENT TECTONICS, 1., Salt Lake City, UT, 1974. Proceedings. Salt Lake City, UT, Hodgson, R.A.; Parker Gay, Jr. S. eds., 1974. p.1-10 (UGA publication nº5) (apud, LIU 1984).
- HUTCHINSON, R.W. Report on Docegeo copper projects MM1, Salobo and regional geological relationships, Pará, Brasil. Belém 1979. 17p. Relatório interno da DOCEGEO.
- IRONS, J.R. An overview of LANDSAT-4 and Thematic Mapper. In: LANDSAT-4 SCIENCE CHARACTERIZATION EARLY RESULTS SYMPOSIUM, Greenbelt, MD, Feb. 22-24, 1983. Proceedings. Washington, DC, NASA Goddard Space Flight Center, 1985. v.2 - Thematic Mapper (TM), part 1, p.II. 15-II.46. (NASA CP-2355).

JONES, P.B. Quantitative geometry of thrust and fold belt structures. Tulsa, Oklahoma, The American Association of Petroleum Geologists, 1987. 26p.

KNUPP, P.E. Reconhecimento geológico na região dos rios Itacaiúnas e Tocantins, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. Resumo das comunicações. São Paulo, SBG. 1971. p.61-2. (Boletim especial, 1).

KÖPPEN, W. Climatologia: con um estudio de los climas de la tierra. Trad. de Pedro R. Hendrichs. México, Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

LEMONS, V.P.; VILLAS, R.N. Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão-Pará - implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5, Serra dos Carajás. Rev.Bras.Geoc., 13(3):165-77, set. 1983.

LIANDRAT, E. Reconhecimento ao longo dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Município de Marabá, Estado do Pará. Rev.Bras.Geog., 34(1):165-84, jan/mar. 1972.

LIU, C.C. Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. (Tese de Doutorado)-IGUSP, São Paulo, 1984. 224p.

LIU, C.C.; RODRIGUES, J.E. Radar geologia. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-3803-NTE/251).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Uma hipótese sobre a origem dos lineamentos das imagens LANDSAT e SLAR nos terrenos pré-cambrianos do baixo vale do Rio de Contas (sul da Bahia). São José dos Campos, INPE, 1984. 28p. (Relatório INPE-3287-RPE/467).

- LIU, C.C.; RODRIGUES, J.E.; SILVA M.V. de. Contribuição ao estudo das mineralizações de ouro na região do complexo da Porteirinha (MG). São José dos Campos, INPE, 1987. 17p. (Relatório INPE - 4182 - RTR/104).
- LIU, C.C.; MENEZES, P.R.; PARADELLA, W.R. Sensoriamento remoto na região sudeste do Estado de São Paulo: proposição de uma metodologia para interpretação geológica com imagens SLAR. São José dos Campos, INPE, 1979. 34p. (Relatório INPE - 1461 - NTE/148).
- MACDONALD, H.C.; WAITE, W.P. Optimum radar depression angles for geological analysis. Lawrence, University of Kansas, 1970. 28p. (Technical report, 177-9).
- MACDONALD, H.C. Techniques and applications of imaging radars, In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. Remote sensing in geology. TORONTO, John Wiley, 1980. cap. 10. p.297-336.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, D.; LINDENMAYER, Z. Geocronologia U-Pb da Província Metalogenética de Carajás, Pará: resultados preliminares. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG, 1988. p.339-47.
- MEDEIROS NETO, F.A.; VILLAS, R.N.N. Caracterização litoestratigráfica da sequência Pojuca e sua correlação com o Grupo Grão Pará, Serra dos Carajás, In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 36., São Paulo, 1984. Anais... São Paulo, SBPC. 1984. p.676.

MEIRELES, E. de. M.; HIRATA, W.K.; AMARAL, A.F.; MEDEIROS FILHO, C.A.; GATO, V.C. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. v.5, p.2164-74.

MENESES, P. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do Landsat-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. (Tese de Doutorado)-IGUSP, São Paulo, 1986. 233p.

MIRANDA, F.P. Sensoriamento remoto na prospecção de hidrocarbonetos na bacia do Amazonas. Bol.Téc.Petrobrás, Rio de Janeiro, 26 (4): 268-91. out./dez, 1983.

MONTALVÃO, R.M.G. de.; BEZERRA, P.E.L. Evolução Geotectônica do Craton Amazônico (Amazônia Legal) durante o Arqueano e Proterozóico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém. Anais... Belém, SBG, 1985. v.1, p.282-97.

MOORE, R.K. Imaging radar systems. In: COLWELL, R.N. ed. Manual of remote sensing. Virgínia, American Society of photogrammetry, 1983. v.1, cap. 10, p.429-74.

NOAA. LANDSAT 4 data users handbook. Alexander, VA, 1984, App.A.

OXBURGH, E.R. The plain man's Guide to Plate Tectonics. Proc.Geol.Ass. 85:299-357, 1974.

PARADELLA, W.R. Discriminação de unidades litológicas no Baixo Vale do Rio Curuçá (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-Landsat 3. (Tese de Doutorado) - IGUSP, São Paulo, 1983. 250p.

PARADELLA, W.R.; VOTORELLO, I. Sensores remotos na geologia: tendência atual e perspectivas futuras com dados de satélite. Ciência da Terra, 5:19-23. jul./ago. 1982.

PARADELLA, W.R. Avaliação preliminar de dados TM-Landsat 5 para exploração mineral na região amazônica: intrusivas de Maracaná e Maicuru (Pará). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. Anais... Goiânia, SBG, 1986. v.6, p.2951-64.

\_\_\_\_\_. Primeiros resultados de uma abordagem geobotânica com dados TM-Landsat e DEM para a faixa mineralizada em Cu-Zn do Pojuca, Província Mineral dos Carajás. Ottawa, CNPQ/INPE/DOCEGEO, 1989. Trabalho inédito.

PODWYSOCKI, M.H.; GUNTHER, F.J.; BLODGET, H.W. Discrimination of rock and soil types by digital analysis of LANDSAT data. Greenbelt, MD, GSFC, 1977. 37p. (GS-FC-X-923-77-17).

PODWYSOCKI, M.H.; POWER, M.S.; JONES, O.D. Preliminary evaluation of the LANDSAT 4 Thematic Mapper data for mineral exploration. Advances in Space Research, 5 (5):13-20, 1985.

- RAMOS, J.F.F.; MOURA, C.A.U.; MELO, C.F.; PEREIRA, J.L.; SERIQUE, J.S.C.B.; RODRIGUES, R.M. Uma discussão sobre as sequências sedimentares tidas como Formação Rio Fresco, sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Resumos, Breves comunicações, cursos, excursões e mesas redondas. Rio de Janeiro, SBG, 1984. p.50-1.
- RAMSAY, J.G. Deformation of linear structures. In: \_\_\_\_\_. Folding and fracturing of rocks. New York, Mc-Graw-Hill, 1967. Cap. 8, p.461-90.
- RIVERAU, J.C. Notas de aulas do curso de fotointerpretação. In: SEMANA DE ESTUDOS DA SOCIEDADE DE INTERCÂMBIO CULTURAL E ESTUDOS GEOLÓGICOS, 11., Ouro Preto. 1972. Anais.... Ouro Preto, Soc. Interc. Cult. Est. Geol, 1972.
- ROWAN, L.C.; WETLAUFER, P.H.; GOETZ, A.F.H.; BILLINGSLEY, F.C.; STEWART, J.H. Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in south central Nevada by the use of computer enhanced erts image. Washington, U.S. government printing office, 1974. 35p. (USGS. Professional paper, 883).
- ROWAN, L.C.; GOETZ, A.F.H.; ASHLEY, R.P. Discrimination of hydrothermally altered and inaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images. Geophysics, 42 (3):522-535, Apr. 1977.
- SABINS JR., F.F. Remote sensing principles and interpretation. San Francisco, W.H. Freeman & Company, 1978. 426p.

- SANO, E.E. Contribuição à prospecção mineral regional de depósitos de ferro e à discriminação litológica da porção norte do Estado da Bahia através das técnicas de processamento digital de imagens do TM-Landsat 5. (Dissertação de Mestrado)-INPE, São José dos Campos, 1987. 173p.
- SANTISTEBAN, A.; Munoz, L. Application of image principal component technique to the geological study of a structural basin in central Spain. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 4., West Lafayette, IA, Jun. 1977. Proceedings. New York, 1977. p.228-36.
- SANTOS, A.R.; ANJOS, C.E.; BARBOSA, M.P.; VENEZIANI, P. Interpretação geológica-estrutural utilizando produtos de sensoriamento remoto na região de Carrancas, Minas Gerais, Brasil. São José dos Campos, INPE, 1982. 17p. (Relatório INPE-2528-RPE/416).
- SIQUEIRA, J.B. Organização lito-estrutural do duplex Salobo-Mirim, Serra dos Carajás. (Dissertação de Mestrado)-UFPa. Centro de Geociências, Belém, 1990. 125p.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Not.geomorfol., Campinas, 16(32):71-104, dez. 1976.
- SYLVESTER, A.G. Strike-slip faults. Geological Society of America Bulletin. 100(11):1666-703, 1988.
- TARANIK, J.V. Principles of computer processing of LANDSAT data geologic applications. Washington, USGS, 1978. 50p. (USGS open-file report, 78-117).

- TASSINARI, C.C.G.; HIRATA, W.K.; KAWASHITA, K. Geologic evolution of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil. Rev.Bras.Geoc., 12(1/3):263-7, mar./set. 1982.
- THOMAS, G.E. Lineament-block tectonics: Williston-Blood creek basin. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 58(7):1305-22, 1974.
- TOLBERT, G.E.; SANTOS, B.A.dos; ALMEIDA, E.B.; RITTER, J.E. 1968. Recente descoberta de ocorrências de minério de ferro no Estado do Pará, Brasil. Rev.Min. e Met. 48 (288): 253-6, dez. 1968.
- TOLBERT, G.E.; TRAMAINÉ, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. Geology and iron ore deposits of Serra dos Carajás, Pará, Brazil. Belém, Cia. Meridional de Mineração, 1970.
- TOLBERT, G.E.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B.; The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, Northern Brazil. Econ.Geol., 66(7): 985-94, nov. 1971.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. Metodologia de Interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2227-MD/014).
- VENEZIANI, P. Análise de movimentos da tectônica ruptil e ruptil-ductil através da interpretação de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos. (Tese de Doutorado)-IGUSP, São Paulo, 1987. 186p.
- VIEIRA, E.A.P.; SAUERESSIG, R.; SIQUEIRA, J.B.; SILVA, E.R.P.; REGO, J.L. do; CASTRO, F.D.C. de. Caracterização geológica da jazida polimetálica do Salobo 3A-Reavaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Bol.Esp. Belém, SBG, 1988. p.97-111.

- ZALAN, P.V. A tectônia transcorrente na exploração de petróleo: uma revisão. Rev.Bras.Geoc., 16(3):245-57, set. 1986a.
- \_\_\_\_\_. Identificação de falhas transcorrentes em seções sísmicas. Rev.Bras.Geoc., 16(3):258-65, set. 1986b.
- WILCOX, R.E.; HARDING, T.P.; SEELY, D.R. Basic Wrench tectonics. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 57(1):74-96, 1973.
- WIRTH, K.R. The geology and geochemistry of the Grão Pará Group, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. (Tese de Doutorado)-Cornel University. 1986. 284p.
- WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI JR., W.J. U-Pb zircon ages of the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. Rev. Bras. Geoc., 16 (2): 195-200, 1986.
- WOODCOCK, N.H. The role of strike-slip faults systems at plate boundaries. Royal Society of London Philosophical Transactions, ser. A, 317:13-29, 1986.
- WOODCOCK, N.H.; FISCHER, M. Strike-slip duplexes. Journal of Structural Geology. 8(7):725-35, 1986.



APÊNDICE A  
MAPA LITO-ESTRUTURAL