UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ASPECTOS LITO-ESTRUTURAIS DAS MINAS DE FERRO N4E E MANGANÊS DO AZUL, SERRA DOS CARAJÁS (PA)

Tese Apresentada por

MÔNICA DOS SANTOS MARÇAL

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 06.08.91

Comitê de Tese

JOÃO BATISTA SENA COSTA (ORIENTADOR)

YOCITERU HASUI

HANS DIRK EBERT

DEDICATÓRIA

À MINHA MÃE

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA..... I

AGRADECIMENTOS..... II

LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... III

RESUMO..... 1

ABSTRACT..... 4

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO..... 6

1.1- Localização da Área e Acesso..... 6

1.2- Objetivos do Trabalho..... 8

1.3- Metodologia..... 11

CAPÍTULO 2 - ANALISE DOS TRABALHOS REALIZADOS NA REGIÃO DA SERRA DOS CARAJÁS..... 14

CAPÍTULO 3 - CONTEXTO LITO-ESTRUTURAL DA SERRA NORTE..... 27

3.1- Introdução..... 27

3.2- Unidades Litológicas..... 30

3.3- Estruturas..... 35

CAPÍTULO 4 - QUADRO LITO-ESTRUTURAL DAS MINAS DE FERRO N4E E MANGANÊS DO AZUL..... 39

4.1- Mina de Ferro N4E..... 39

4.1.1- Introdução..... 39

4.1.2- Unidades Rochosas..... 45

4.1.2.1- Distribuição das Unidades Rochosas da Aba Leste..... 46

4.1.2.2- Distribuição das Unidades Rochosas da Aba Sul..... 49

4.1.2.3- Caracterização dos Tipos Litológicos das Abas Leste e Sul..... 52

4.1.3- Elementos Estruturais..... 74

4.1.3.1- Aba Leste..... 74

4.1.3.2- Aba Sul..... 85

4.1.4- Relações entre as Abas Leste e Sul..... 90

4.1.5- Relações entre os corpos N4E e N4W..... 93

4.1.6- Integração dos dados Estruturais..... 98

4.2- Mina de Manganês do Azul..... 100

4.2.1- Introdução..... 100

4.2.2- Unidades Litológicas..... 103

4.2.3- Estruturas..... 113

CAPíTULO 5 - RELAÇÃO DAS ESTRUTURAS DAS JAZIDAS N4E E AZUL COM O ARCABOUÇO ESTRUTURAL REGIONAL..... 121

CAPíTULO 6 - CONCLUSõES..... 125

CAPíTULO 7 - REFERêNCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 128

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Batista Sena Costa, pela valiosa orientação e ajuda prestada durante todo o desenvolvimento desta dissertação.

A CVRD, pelo patrocínio financeiro e/ou apoio durante as etapas de campo e confecção deste trabalho.

Ao curso de Pós-Graduação em Geociências da UFPA, pelo apoio acadêmico durante a elaboração deste trabalho, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de mestrado concedida durante o primeiro ano e metade do segundo ano.

Ao Prof. Dr. Yociteru Hasui e ao Prof. Dr. Hans Dirk Ebert, membros da banca examinadora desta dissertação, pelas críticas e sugestões.

Aos colegas geólogos da CVRD José Roberto Centeno Cordeiro e Jairo Leal Bezerra, pelas discussões e colaborações durante as etapas de campo.

Aos analistas de sistemas Itala Marçal, André Dourado e Getúlio Shimizu pelo apoio durante a elaboração desta dissertação.

A Júlia Clarinda Paiva Cohen, pelo apoio amigo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

01 Mapa de localização das áreas investigadas e as principais vias de acesso..... 007

02 Mapa de localização e acesso às minas de ferro e manganês do Azul..... 009

2.1- Mapa geológico da Serra dos Carajás. Projeto Carajás-CVRD/CMM (1972)..... 016

2.2- Coluna estratigráfica da região da Serra dos Carajás. Projeto Radam (Silva et al. 1974)..... 019

2.3- Mapa geológico e coluna estratigráfica da Serra dos Carajás segundo Hirata et al. (1982)..... 021

2.4- Seção geológica esquemática entre as Serras Sul e Norte (Serra dos Carajás) mostrando a estruturação em flor positiva. Araújo et al. (1988)..... 024

2.5- Bloco diagrama da estrutura em flor positiva relacionada ao sistema sinistral da Serra dos Carajás. As setas maiores indicam a direção aproximada da componente de compressão máxima. Sem escala. Araújo et al. (1988)..... 024

3.1- Mapa geológico/estrutural da Serra dos Carajás - Serra Norte..... 029

4.1- Metajaspilito formado por mesobandas regularmente alternadas de quartzo e óxido de Fe(hematita)..... 054

4.2- Bloco de metajaspilito caracterizado por frações regularmente bandadas de quartzo e hematita. Localmente, define a passagem gradual para o itabirito em termos composicionais, sem qualquer mudança estrutural em decorrência da alteração intempérica..... 055

4.3- Metajaspilito caracterizado por mesobandas de quartzo e de hematita alternadas e regularmente dobradas..... 056

4.4- Metajaspilito formado por mesobandas de quartzo e ferro dobradas e budinadas..... 057

4.5- Fotomicrografia mostrando o bandamento composicional paralelo à foliação milonítica. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x..... 058

4.6- Fotomicrografia mostrando "comboios" de porfiroclastos pisciformes de hematita, envolvidos por agregados de cristais de quartzo estirados e recristalizados. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x..... 059

4.7- Fotomicrografia mostrando ondulações suaves nas faixas equiespaçadas das bandas de ferro e quartzo. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x..... 060

4.8- Itabirito friável na frente de lavra, mostrando veios de quartzo paralelos às mesobandas de hematita..... 062

4.9- Fotomicrografia mostrando veios de quartzo discordantes e concordantes da foliação milonítica. Os veios discordantes estão associados a fraturas de tração. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x..... 063

4.10- Itabirito friável mostrando o aspecto geral da foliação milonítica penetrativamente desenvolvida..... 063

4.11- Lente de metajapilito envolvida por camadas de itabiritos friáveis. A passagem entre eles é gradacional em decorrência da alteração intempérica e do metamorfismo atuantes nestas rochas.....064

4.12- Fotomicrografia mostrando cordões milimétricos de porfiroclastos assimétricos de ferro e quartzo, fortemente anastomosado. Itabirito friável. NX, aum. 2,5x..... 066

4.13- Rochas metavulcânicas na porção central da Aba Sul.... 069

4.14- Rochas metavulcânicas bastante intemperizadas intercaladas com itabirito friável na parte central da Aba Sul..... 070

4.15- Fotomicrografia mostrando uma massa "homogênea" de cristais de quartzo, óxido de ferro e anfibólio em metavulcânica. NX, aum. 2,5x..... 071

4.16- Fotomicrografia mostrando a foliação milonítica bem desenvolvida, próximo ao contato com minério de ferro. Metavulcânica. NX, aum. 2,5x..... 072

4.17- Metajaspilito mostrando que a foliação é definida pela alternância de bandas quartzosas com bandas ferríferas, regulares ou não..... 077

4.18- Estereograma integrado de polos da foliação milonítica na Aba Leste. 250 medidas..... 078

4.19- Bloco-diagrama mostrando a lineação de estiramento e mineral desenvolvida na superfície do bandamento composicional..... 078

4.20- Itabirito friável mole na frente de lavra da Aba Leste com intercalações de rochas metavulcânicas, indicando possivelmente tratarem-se de "sills" e diques no interior da mina..... 079

4.21- Detalhe do contato entre camadas de rochas metavulcânicas e de itabirito friável. Verifica-se o contato do tipo secante..... 080

4.22- Seções transversais à estruturação geral da jazida N4E - Aba Leste..... 081

4.23- Minério de itabirito friável mostrando crenulação. Aba Leste..... 083

4.24- Zona de cisalhamento transcorrente NW-SE projetada na interface metajaspilito-HM na parte centro-sul da Aba Leste..... 084

4.25- Zona de cisalhamento transcorrente desenvolvida no minério de hematita mole, orientada na direção NW-SE e caracterizada por uma foliação milonítica vertical. Aba Leste..... 084

4.26- Dobras de crenulação e clivagem de crenulação impressas de modo importante nos corpos de itabirito friável. Aba Leste..... 086

4.27- Estereograma integrado de polos da foliação milonítica na Aba Sul. 150 medidas..... 087

4.28- Seções transversais à estruturação geral da jazida N4E. Aba Sul..... 089

4.29- Mapa magnetométrico da jazida N4. (Fonte: Relatório CVRD/CMM 1972)..... 091

4.30- Mapa geológico-estrutural da Serra Norte, mostrando as zonas transcorrentes R' N-S seccionando a estruturação regional WNW-ESE..... 095

4.31- Esquema do corpo de minério de ferro N4 submetido a um binário dextral N-S, com importante componente compressiva NE-SW..... 096

4.32- Modelos interpretativos integralizando a geometria das jazidas N4W e N4E do corpo de minério de ferro N4. (A) Considera-se que os dados da magnetometria esboçam uma zona de cisalhamento N-S a oeste (N4W) e uma outra a leste de N4E. O corpo de minério desenha um "J". (B) Alternativa baseada em dados factuais, difere da primeira interpretação quando considera que o corpo N4E desenha um "S" invertido. Nesse caso as zonas de cisalhamento adjacentes teriam movimentação sinistral..... 097

4.33- Pisolitos manganesíferos de coloração marrom-avermelhada da mina de manganês do Azul..... 108

4.34- Material manganesífero granulado ou minério rico, mostrando os planos de estratificação com mergulhos suaves em torno de 20º a 35º.....112

4.35- Seções verticais interpretadas a partir dos dados de furo de sonda..... 115

4.36- Perfil esquemático N-S no minério de bióxido mostrando dobras métricas, assimétricas cortadas por zonas de cavalgamento, centimétricas a métricos (E-W)..... 117

4.37- Perfil de uma zona de cavalgamento métrica no minério detrítico..... 118

4.38- Clivagem de fratura no minério detrítico..... 119

4.39- Crenulação no minério de bióxido..... 119

Anexos

1- Mapa Geológico da Mina de Ferro N4E - Serra dos Carajás.

2- Mapa Geológico/Estrutural da Mina de Manganês do Azul - Serra dos Carajás (PA).

RESUMO

As áreas das minas de ferro (N4E) e de manganês (Azul) da região da Serras dos Carajás foram investigadas com ênfase na geologia estrutural, visando a definição do arranjo geométrico dos diversos corpos de minério e do quadro cinemático, bem como suas relações com a estruturação regional.

A mina de ferro (N4E) é subdividida em dois segmentos denominados de Aba Leste e Aba Sul. Os litotipos ocorrentes nessa área são representados por itabirito friavél (hematita mole HM, hematita dura HD), metajaspilito, rochas metavulcânicas e canga, sendo que, especificamente na Aba Sul, ocorrem minérios de hematita compacta (hematita semibranda HSB e hematita semidura HSD). Grande parte das unidades rochosas está distribuída sob a forma de lentes e faixas descontínuas e acunhadas, com orientação geral N-S na Aba Leste e E-W na Aba Sul, desenhando um "J" com concavidade voltada para noroeste.

A análise dos elementos estruturais presentes nas rochas da mina de N4E, em consonância com as informações disponíveis para a região da Serra Norte, permitiu a caracterização de três conjuntos de estruturas principais; o conjunto mais antigo compreende a foliação milonítica, as zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo, a lineação de estiramento e as dobras associadas; o segundo conjunto se

refere às zonas de cisalhamento transcorrentes dúcteis NW-SE, E-W e N-S que cortam e limitam o corpo de N4; o último conjunto corresponde às dobras e cranulações presentes ao longo de todo corpo de minério. Esses conjuntos de estruturas são interpretados no contexto de um único evento deformacional.

Os litotipos que compõem a mina de manganês (Azul) são classificados em três tipos: Protominérios, Depósitos Superficiais e Depósitos Subsuperficias. A lavra está sendo realizada atualmente na parte central da jazida, compreendida entre as linhas LT00 e LT800E, onde foram identificados os minérios relacionados com os depósitos superficiais e subsuperficiais. O primeiro inclui pisolitos (PIS), blocos (BL), plaquetas (PLT) e brechas manganesíferas (BLM), e o segundo abarca pelitos manganesíferos (PM), material manganesífero granulado (MMG) e material manganesífero maciço (MMM).

Os vários tipos de minério de manganês apresentam-se ondulados, definindo estruturas sinformais e antiformais orientadas na direção E-W e associadas a cavalgamentos fortemente inclinados para norte.

As minas de N4E e do Azul encontram-se na borda norte e na região centro-norte da macroestruturação divergente da Serra dos Carajás, respectivamente. Tal arranjo geométrico regional é interpretado como uma estrutura em flor positiva associada a um binário sinistral E-W.

Nesse sentido, as unidades lito-estruturais das duas áreas estudadas devem ser entendidas como frações de uma bacia vulcano-sedimentar transcorrente invertida.

ABSTRACT

The geometric pattern and the kynematic model of the N4E and Azul areas, as well as their relationship with the major structures of the Serra dos Carajás region, are here analysed.

The iron mine (N4E) is divided into two parts: east and south segments. They are composed by iron ores (soft-hematite HM, hard-hematite HD), metajaspilites, metavolcanic rocks and canga. Special ore types (semisoft-hematite HSB and semihard-hematite HSD) occurs at the southern border. Most of the lithotypes occurs as lenses and discontinous bands, with N-S and E-W orientation in the north and in the south respectively, along the flancs of a large fold.

There are three main structural sets at the N4E mine. The oldest one includes mylonitic foliation, oblique shear zones, stretching lineation and associated folds. The second set corresponds to NW-SE, E-W and N-S strike-slip shear zones, which limits the N4 body. The last set corresponds the folds and the crenulations present in the mine. These structures are related to the same deformation event.

The manganese mine (Azul) is composed of rock units named as bedrock, superficial and sub-superficial

deposits. In the central part of the area, which has been mined, superficial and sub-superficial deposits can be identified. The former is composed by pisolites (PIS), blocks (BL), plackets (PLT) and manganesiferous breachs pelites (PM), granular manganesiferous material (MMG) and massive manganesiferous material (MMM). These rock units are folded and cutted by thrust zones. The fold axis has E-W strike and the thrust zones dip steeply towards the north.

The N4E and Azul mines are situated at the northern border and at the central-northern region of the Serra dos Carajás divergent macrostructure, respectively. The regional geometric pattern is interpreted as a positive flower structure linked to an E-W sinistral movement.

The litho-structural units of the studied areas may be understood as portions of an inverted strike-slip basin.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1- Localização da Área e Acesso

A mina de ferro N4E e a mina de manganês do Azul encontram-se regionalmente incluídas na folha SB.22-X-C (Serra dos Carajás). Estão situadas na Serra dos Carajás, no Município de Marabá, na parte leste do Estado do Pará, entre os meridianos de 51º 30'W e 49º 30'W e pelos paralelos 5º 35'S e 6º 30' S. As duas minas fazem parte do complexo de jazidas existentes no contexto das Serras Norte e Sul. Distam, em linha reta, 550 Km da cidade de Belém, 770 Km da cidade de São Luís e 150 Km da cidade de Marabá (Fig. 01).

O acesso à Serra dos Carajás é feito por via aérea através de vôos regulares e por via terrestre, através das rodovias estaduais PA-275, PA-150 e PA-70, e pela Estrada de Ferro Carajás-Ponta da Madeira.

O depósito de ferro N4E representa a porção leste do corpo de minério N4; a principal via de acesso é a rodovia PA-150 que liga Marabá ao entroncamento com a rodovia "Serra dos Carajás" e esta, por sua vez, permite que se chegue até ao núcleo urbano da Serra Norte, o qual dista aproximadamente 30 Km

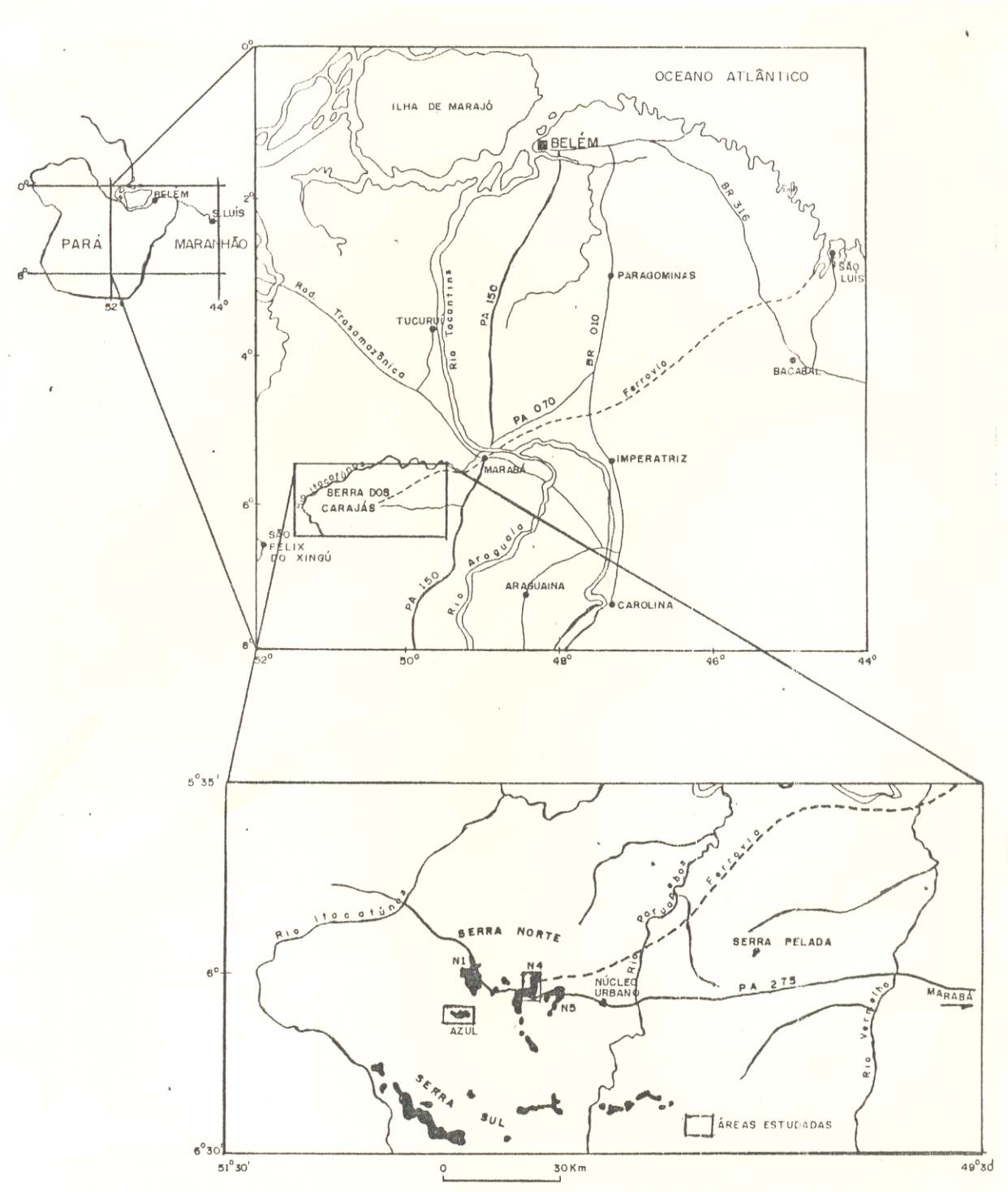


Fig. 01- Mapa da localização das áreas investigada e as principais vias de acesso.

do corpo de minério N4. O acesso à mina de Manganês do Azul é feito, partindo-se do corpo de minério de ferro N4E, por estrada de terra de boa qualidade, em direção a sudoeste, num percurso de aproximadamente 30 Km (Fig. 02).

1.2 - Objetivos do Trabalho

A região da Serra dos Carajás tem recebido investigações envolvendo as mais diversas áreas das Ciências da Terra. No que se refere especificamente aos estudos geológicos inúmeras questões ainda não foram abordadas adequadamente, destacando-se aquelas diretamente relacionadas ao quadro estrutural dos corpos de minério, a exemplo das jazidas de ferro N4E e manganês do Azul.

A estruturação geral da região da Serra dos Carajás sempre foi entendida em termos de um sinclinório assimétrico e com eixo orientado preferencialmente na direção E-W (Silva et al. 1974), mas, recentemente, foi interpretada por Araújo et al. (1988) como uma flor positiva associada a um sistema transcorrente sinistral com continuidade para oeste e para leste. Essa estrutura é formada por um feixe de zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis e rúpteis.

A jazida de ferro N4E encontra-se no contexto de uma dessas zonas de cisalhamento dúctil-rúptil e, nesse sentido, os modelos geométricos propostos para essa área que tentam

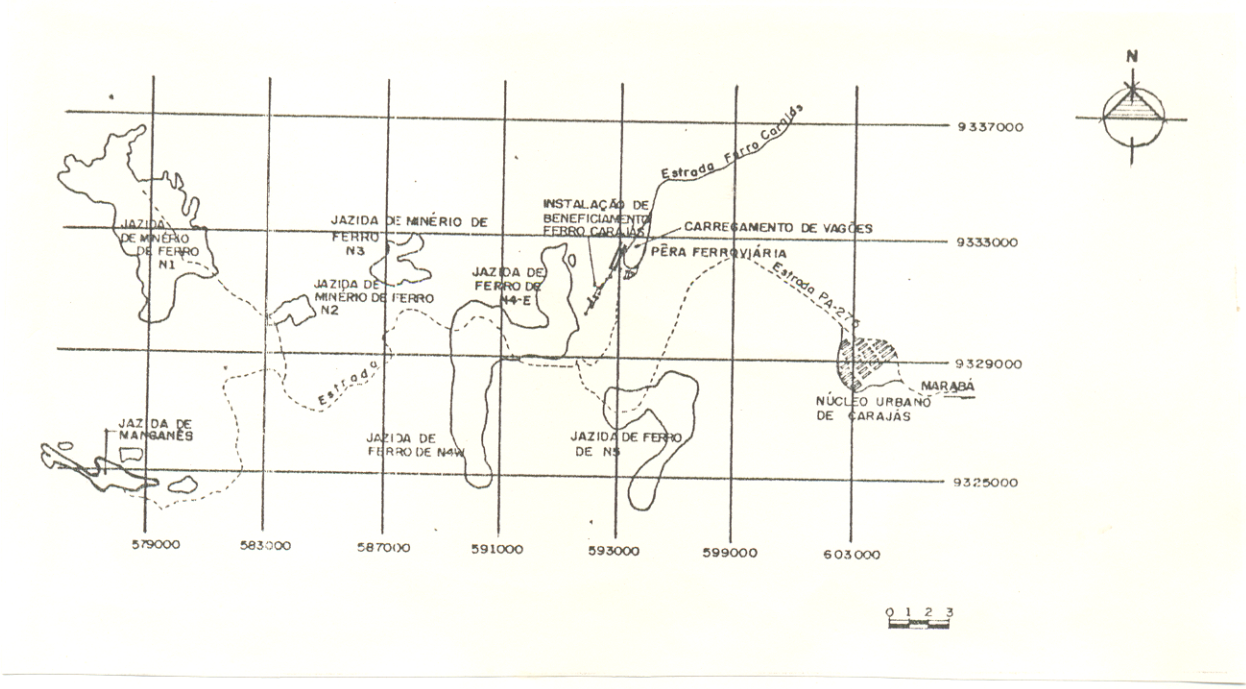


Fig. 02- Mapa de localização e acesso às minas de ferro N4E e mânganes do Azul.

explicar as diferentes estruturas a partir do desenvolvimento de várias gerações de dobras, devem ser revistos.

Na estrutura antiformal do Azul ainda não foi desenvolvido nenhum trabalho de cunho estrutural mais detalhado. Sabe-se apenas que se trata de um pacote de rochas sedimentares, desenhando dobras métricas a centimétricas, provavelmente associadas com zonas de cavalgamento.

Com a intenção de contribuir para o entendimento do quadro geométrico-cinemático da região da Serra dos Carajás, julgou-se importante desenvolver estudos de análise estrutural nas minas de Ferro e Manganês, à luz dos conceitos atuais da Geologia Estrutural. Com esse enfoque, os seguintes objetivos foram perseguidos:

- Caracterização da geometria interna do pacote de formação ferrífera, onde se encontra a jazida de ferro N4E, mostrando as relações estruturais entre os diversos pacotes rochosos, assim como o comportamento espacial dos corpos de hematita dura e de jaspilitos expostos nas frentes de lavra;

- Definição do estilo geométrico das estruturas antiformais e sinformais do Azul, discutindo os mecanismos deformacionais responsáveis pela sua origem; e

- Elaboração de modelos geométricos e cinemáticos para as duas áreas, e suas inserções no contexto estrutural regional.

1.3 - Metodologia

O desenvolvimento desta dissertação envolveu consulta sistemática ao acervo bibliográfico disponível sobre a região da Serra dos Carajás e sobre temas específicos inerentes à geologia estrutural, levantamentos de campo, elaboração de mapas, perfis e diagramas diversos, além de tratamento e interpretação de dados adquiridos no campo e no laboratório, à medida em que as investigações avançavam.

A escala de trabalho (1:4.000) foi definida em função da dimensão das frentes de lavra nas duas minas, mas observações em 1:25.000, 1:40.000 e 1:100.000, com base na análise visual de fotografias aéreas e imagens do satélite Landsat, foram também executadas. Alguns perfis levantados em diferentes pontos nas minas exigiram investigações em 1:100, sendo que vários trechos foram detalhados em escalas maiores.

A análise da literatura sobre a área estudada consistiu em avaliação crítica das informações visando a elaboração do estado de conhecimento da região, com ênfase na

geologia estrutural. O estudo relativo a temas específicos sempre esteve voltado para o entendimento de estruturas geradas em zonas de cisalhamento .

O mapa que mostra a distribuição das unidades litológicas e as estruturas de parte da Serra dos Carajás foi elaborado a partir da interpretação de fotografias aéreas e imagens Landsat, com base nos procedimentos do método Lógico e Sistemático (Soares & Fiori 1976), e das cartas geológicas elaboradas pela CVRD/CMM (1972), por Araújo et al. (1988) e por Macambira et al. (1990). Os mapas das minas, apresentados nos anexos 1 e 2 , foram confeccionados a partir das bases geológicas disponíveis na CVRD em 1990.

Os procedimentos de campo envolveram essencialmente análise das estruturas planares e lineares voltadas para a definição da geometria e da cinemática, de acordo com os conceitos atuais da Geologia Estrutural, apresentados e discutidos por Ramsay & Huber (1983 , 1987), Simpson (1986), White et al. (1986) e McClay (1987), entre outros. Os planos de estratificação (So), de foliações e das zonas de cisalhamento discretas, e as lineações foram medidas sistematicamente e estão representadas no mapa lito-estrutural. Ao longo dos perfis e nos pontos isolados entre eles, foram coletadas amostras para fins de análises mineralógica e textural. Tais informações foram adquiridas nos meses de janeiro, fevereiro e julho de 1989 e fevereiro de 1990.

Os dados alcançados nas diversas etapas do trabalho foram interpretados e integrados e são apresentados e discutidos a seguir.

CAPÍTULO 2

ANALISE DOS TRABALHOS REALIZADOS NA REGIÃO DA SERRA DOS CARAJAS

As primeiras investigações sistemáticas na Serra dos Carajás foram realizadas pela US STEEL, as quais resultaram na descoberta de minério de ferro em 1967. A ampliação das pesquisas promoveu a caracterização dos principais tipos litológicos que foram descritos por Tolbert et al. (1968, 1971) em termos de um embasamento granito-gnaíssico e um pacote de metavulcânicas básicas com metassedimentos e itabiritos associados, sobre os quais se instalaram, discordantemente, arenitos e conglomerados correlacionados à Formação Gorotire de Barbosa et al. (1966).

O consórcio CVRD-CMM (1972) reuniram as rochas metavulcânicas e os itabiritos sob a denominação de Grupo Grão-Pará e monstraram que na região do alvo N8, na Serra Norte, as metavulcânicas encontram-se tectônicamente acima dos sedimentos da Formação Gorotire. Essa informação, obtida no furo de sondagem 3 no alvo N8, representou séria restrição ao quadro estratigráfico proposto por Tolbert et al. (op. cit.), uma vez que a Formação Gorotire foi definida como uma cobertura cratônica isenta de deformação, a exemplo da Formação Rio Fresco e outras (Barbosa et al., op. cit.). Nessa época, Knup (1971) descreveu a existência de um batólito granítico, que recebeu a

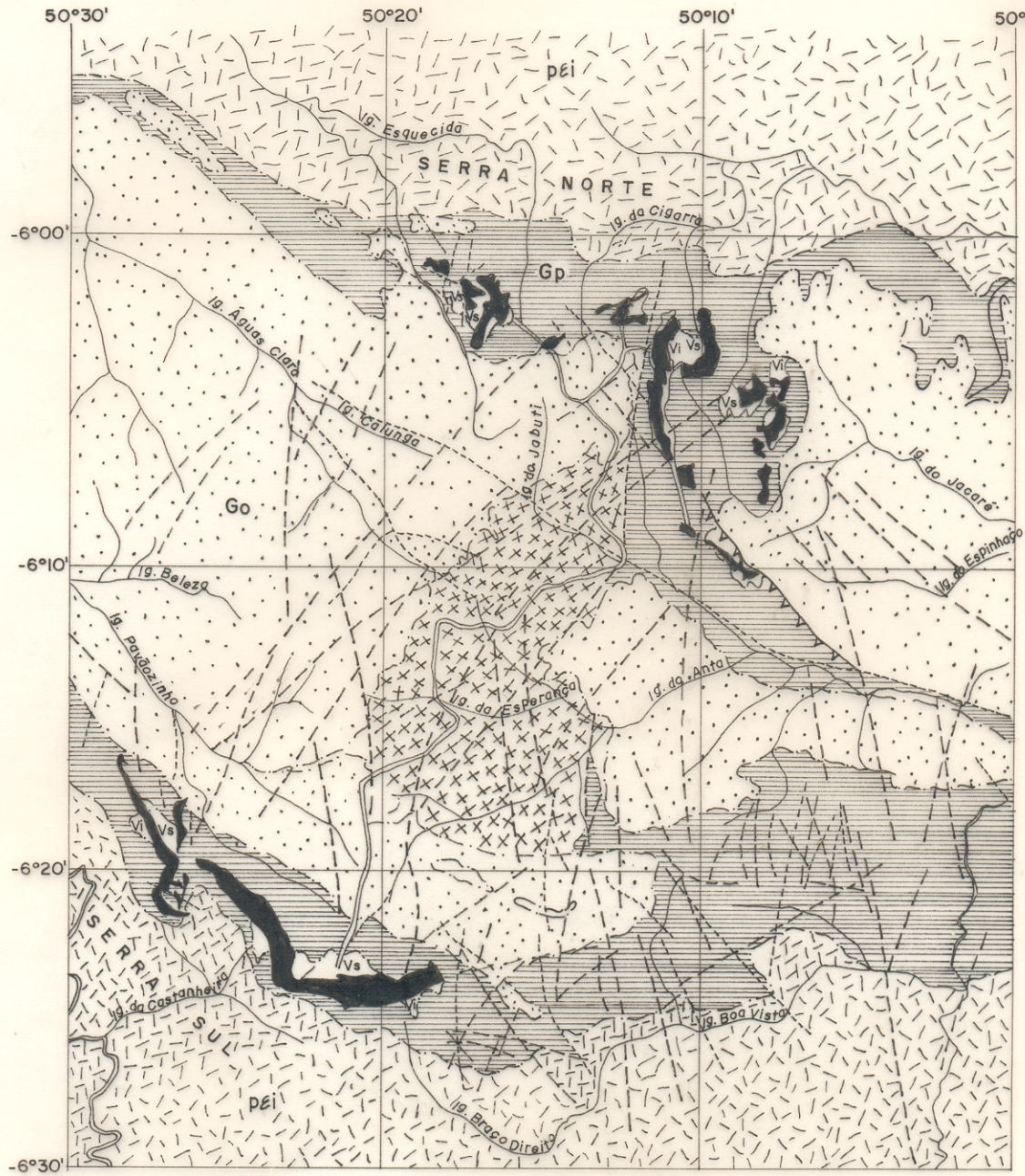
denominação de Granito Central, cortando todas as unidades de rochas supracrustais da região. As datações efetuadas pelo método K-Ar por Gomes et al. (1971) em rochas do Granito Central revelaram idades da ordem de 1.824 Ma.

As pesquisas iniciais (CVRD-CMM 1972) permitiram também a elaboração de um mapa que mostrou a distribuição das diversas unidades rochosas e indicou os principais elementos estruturais, a exemplo da falha de empurrão que passa no alvo N8 e da falha transcorrente que recebeu posteriormente a denominação de Falha Carajás (Silva et al. 1974) (Fig. 2.1). Com base nesse mapa, pode-se destacar os seguintes pontos:

- as unidades de rochas supracrustais (Grupo Grão-Pará e Formação Gorotire) são alongadas na direção WNW-ESE, mas na região do alvo N4 adquirem orientação geral N-S e o corpo principal de minério de ferro desenha uma dobra quilométrica;

- as estruturas principais têm orientação preferencial WNW-ESE, desviando-se para a direção submeridiana na região compreendida entre os alvos N3 e N5, passando pelo alvo N4;

- os corpos de itabirito estão cartografados como lentes e camadas com forte estricção em meio as



LEGENDA

PRECAMBRIANO
GRUPO GRÃO-PARÁ

- Go — Formação Gorotire
- pEi — Embasamento não diferenciado
- Vs — Sequência Paleovulcânica Superior
- Gp — Formação Carajás
- Vi — Sequência Paleovulcânica Inferior
- Contato Estratigráfico Fotogeológico
- Falha Fotogeológica
- Falha ou Fratura Fotogeológica
- Falha de Empurrão Fotogeológica
- Gr — Granito

N

ESCALA
1:200 000
0 100 200 300 400m

Figura 2.1 - Mapa Geológico da Serra dos Carajás, Projeto Carajás - CVRD - CMM (1972).

rochas vulcânicas, sugerindo que as relações entre essas conjuntos rochosos devem ser entendidas como tectônicas;

- conforme mencionado anteriormente, na região do alvo N8, a passagem entre as rochas do Grupo Grão-Pará e da Formação Gorotire é marcada pela presença de uma zona de empurrão. Nesse contexto é previsível a existência de zonas de empurrão em outras áreas no contexto das Serras Norte e Sul; e

- a posição espacial dos elementos planares esboça a existência de uma macroestruturação divergente, realçada pelos conjuntos rochosos presentes nas Serras Norte e Sul, mergulhando para sul e norte, respectivamente. As seções geológicas, elaboradas a partir dos dados de sondagem e publicadas pela CVRD-CMM (1972), confirmam essa macroestruturação.

Constata-se, portanto, que já se esboçava na região de Serra dos Carajás um quadro lito-estrutural caracterizado por rochas vulcânicas e sedimentares antigas, cortadas por um corpo granítico do Proterozóico Médio, e por uma estruturação divergente orientada preferencialmente na direção WNW-ESE, com zonas de empurrão associadas. Verifica-se também que o arranjo litoestratigráfico das rochas supracrustais deveria ser entendido em termos de um pacote basal de rochas

vulcânicas com intercalações de itabiritos e um pacote superior de rochas sedimentares, cujas relações originais foram localmente modificadas pelas zonas de cavalgamento desenvolvidas sob condições térmicas da fácies xisto verde.

Os trabalhos posteriores enfocaram principalmente os aspectos litoestratigráficos e, embora tivessem utilizado a carta geológica elaborada pela CVRD-CMM (1972) como base para a elaboração dos arranjos estratigráficos, deixaram de considerar algumas informações básicas disponíveis. Nessa contexto, destacam-se os seguintes trabalhos:

- Silva et al. (1974) reuniram todas as ocorrências de rochas metavulcânicas da parte leste do Estado do Pará no Grupo Grão-Pará, incluiram os pacotes de rochas sedimentares na Formação Rio Fresco e reuniram os gnaisses do embasamento no Complexo Xingu (Fig. 2.2). Na região da Serra dos Carajás, cartografaram frações lenticulares de gnaisses do Complexo Xingu em meio as rochas supracrustais do Grupo Grão-Pará e da Formação Rio Fresco, e interpretaram a estruturação divergente como um sinclinório;

- Meyer & Farias (1980) desmembraram do Grupo Grão-Pará os pacotes rochosos com mineralizações de cobre associadas, que ocorrem nas áreas dos prospectos Salobo e Pojuca, e englobaram-nos na Seqüência Salobo-Pojuca;



Fig. 2.2- Coluna estratigráfica da região da Serra dos Carajás. Projeto Radam (Silva et al. 1974).

- Hirata et al. (1982) restringiram o Grupo Grão-Pará às áreas de ocorrência de itabiritos associados às vulcânicas básicas, incluiram as faixas de rochas vulcânicas a sul da Serra dos Carajás, interpretadas como "greenstone belts", no Complexo Xingu, e ampliaram a área da Seqüência Salobo-Pojuca. Na oportunidade, mantiveram a denominação Rio Fresco para os sedimentos da Serra dos Carajás e da Serra do Paredão (Fig. 2.3);

- Figueiras & Villas (1984) mostraram que a natureza e o arranjo dos sistemas deposicionais inerentes ao pacote de rochas sedimentares ocorrentes na região da Serra dos Carajás são incompatíveis com aqueles relativos à seção-tipo da Formação Rio Fresco. Desta forma, propõem que a correlação entre esses conjuntos rochosos seja definitivamente abandonada;

- DOCEGEO (1987 e 1988) introduziu na literatura os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Bahia e Buritirama, desmembrados principalmente da Seqüência Salobo-Pojuca, e mantiveram o Grupo Grão-Pará de acordo com a proposição de Hirata et al. (1982). Todos esses grupos foram reunidos no Supergrupo Itacaiúnas. Nessa nova proposta a Formação Rio Fresco voltou a ser considerada na região da Serra dos Carajás, apesar dos argumentos contrários apontados por Figueiras & Villas (op. cit.).

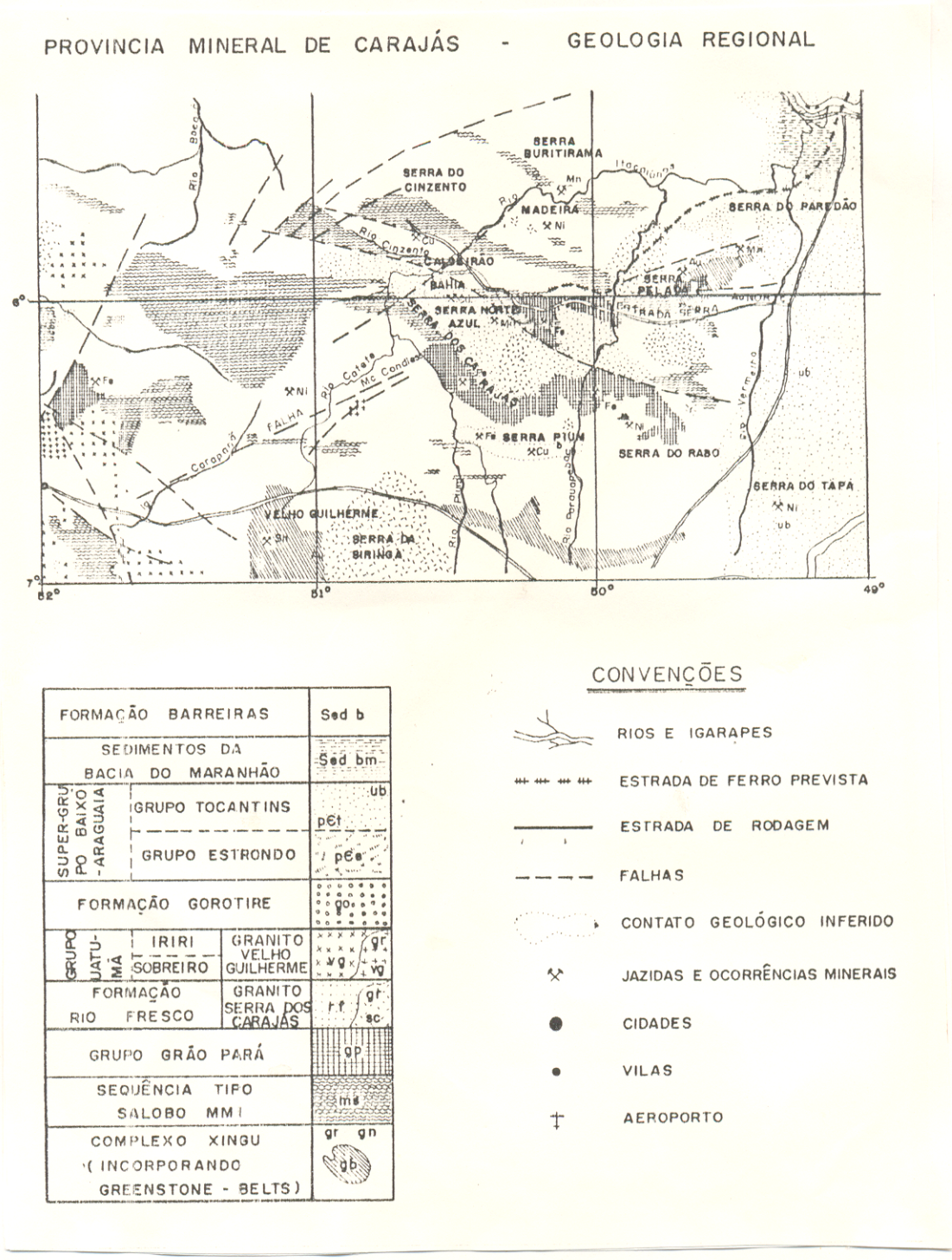


Fig. 2.3- Mapa geológico e coluna estratigráfica da Serra dos Carajás segundo Hirata et al. (1982).

Constata-se que a crescente preocupação voltada para a elaboração de novos arranjos lito-estratigráficos, sem demonstrar a natureza das unidades litológicas, tampouco as relações estruturais entre elas, tornou inevitável a proliferação de unidades litológicas na região da Serra dos Carajás.

Por outro lado, importantes contribuições geocronológicas foram alcançadas através dos trabalhos de Basei (1978) e Wirth et al. (1986).

Basei (1978), obteve idades de 2.700 Ma e 1.950 Ma em rochas da Seqüência Salobo-Pojuca através dos métodos Rb-Sr e K-Ar, respectivamente. Wirth et al. (op. cit.) efetuaram análises radiométricas através do método U-Pb e alcançaram idades de 1.820 Ma para o Granito Central e 2.758 Ma para o Grupo Grão-Pará.

Gibbs et al. (1986) interpretaram as rochas vulcânicas máficas e félsicas do Grupo Grão-Pará como produtos de um vulcanismo continental, a partir de material do manto, que teria sofrido contaminação crustal durante o processo de ascensão e diferenciação magmática.

A retomada dos trabalhos de mapeamento geológico básico, através do Programa Grande Carajás (Convênio DNPM-CPRM), proporcionou avanços consideráveis no entendimento da geologia

básica da região leste do Estado do Pará. Os primeiros resultados foram apresentados por Araújo et al. (1988) e Araújo & Maia (1990), e resumem-se em:

- a estruturação geral da região da Serra dos Carajás é formada por zonas de cisalhamento oblíquas que incorporam movimentação de cavalgamento e direcional sinistral. Essas estruturas podem ser seguidas através das unidades rochosas incluídas nos grupos Grão-Pará, Igarapé Bahia e Igarapé Pojuca, bem como na Formação Rio Fresco, e desenham um arranjo divergente que foi interpretado como uma estrutura em flor positiva (Figs. 2.4 e 2.5);

- nas bordas da estrutura em flor positiva comparecem zonas de cisalhamento caracterizadas por rochas com assembléias mineralógicas da fácies anfibolito, mas quando se caminha em direção ao centro da estrutura dominam condições anquimetamórficas e as principais zonas de movimentação podem ser classificadas como zonas de cisalhamento rúptil-dúcteis e rúpteis; entre as zonas de cisalhamento os diferentes pacotes rochosos estão dobrados ou verticalizados e não há registro do desenvolvimento penetrativo da foliação milonítica;

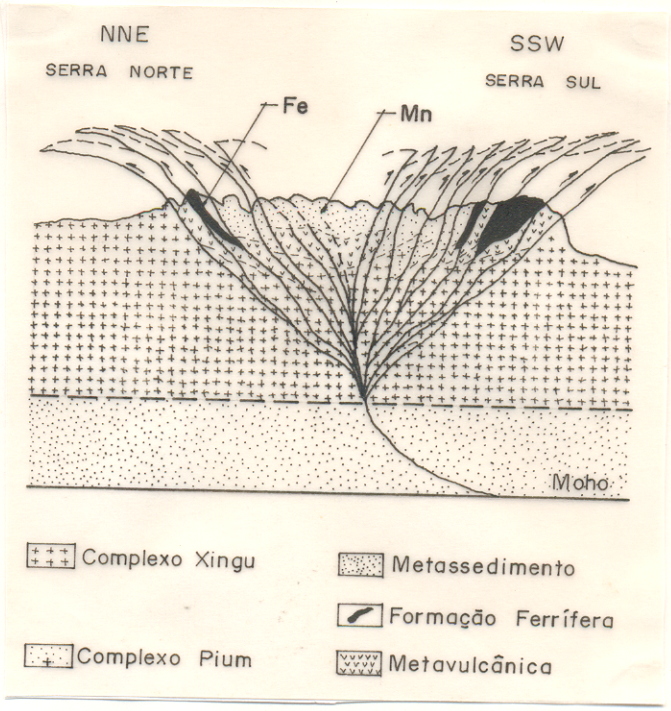


Fig. 2.4- Seção geológica esquemática entre as Serras Sul e Norte (Serra dos Carajás) mostrando a estruturação em flor positiva, Araujo et al. (1988).

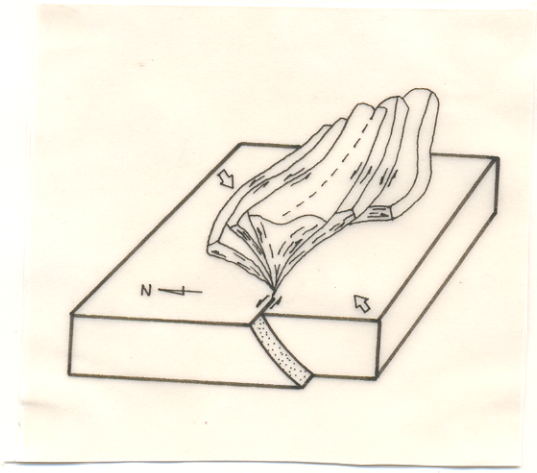


Fig. 2.5- Bloco diagrama da estrutura em flor positiva relacionada ao sistema sinistral da Serra dos Carajás. As setas maiores indicam a direção aproximada da componente de compressão máxima. Sem escala. Araújo et al. (1988).

- a estrutura em flor positiva é entendida como uma fração sigmoidal de um sistema trancorrente sinistral arqueano que tem continuidade para oeste, em direção ao vale do rio Xingu (Macambira & Vale 1990). Esse sistema transcorrente,ao qual se vincula o Grupo Grão-Pará, está associado à evolução termo-tectônica do Cinturão Itacaiúnas;

- a evolução cinemática do sistema transcorrente envolveu transtensão seguida de transpressão. A fase transtensiva é resposável pela formação da bacia simétrica que recebeu os pacotes vulcânicos e sedimentares reunidos no Grupo Grão-Pará. Na fase transpressiva ou de inversão da bacia Grão-Pará implantaram-se as zonas de cisalhamento oblíquas que impuseram complicações geométricas no arranjo lito-estratigráfico; e

- em termos litoestratigráficos, o Grupo Grão-Pará reúne, da base para o topo, as Formações Parauapebas (Beisigel et al. 1973), Carajás (no sentido de Liandrat 1972) e Águas Claras (compreendendo essencialmente os sedimentos atribuídos à Formação Rio Fresco).

Como se vê, o quadro lito-estrutural da região da Serra dos Carajás está razoavelmente esboçado. No entanto, percebe-se que:

- a estruturação N-S existente na região do alvo N4 ainda não foi devidamente explicada, e o trabalho desenvolvido por Ladeira & Cordeiro (1988), na área da mina de ferro de N4E, voltou-se principalmente para a descrição e caracterização das várias gerações de dobras; e

- os aspectos geométricos e cinemáticos relativos às estruturas impressas nas rochas que ocorrem nas minas de ferro (N4E) e manganês (Azul) ainda não foram discutidos.

CAPÍTULO 3

CONTEXTO LITO-ESTRUTURAL DA SERRA NORTE

3.1- Introdução

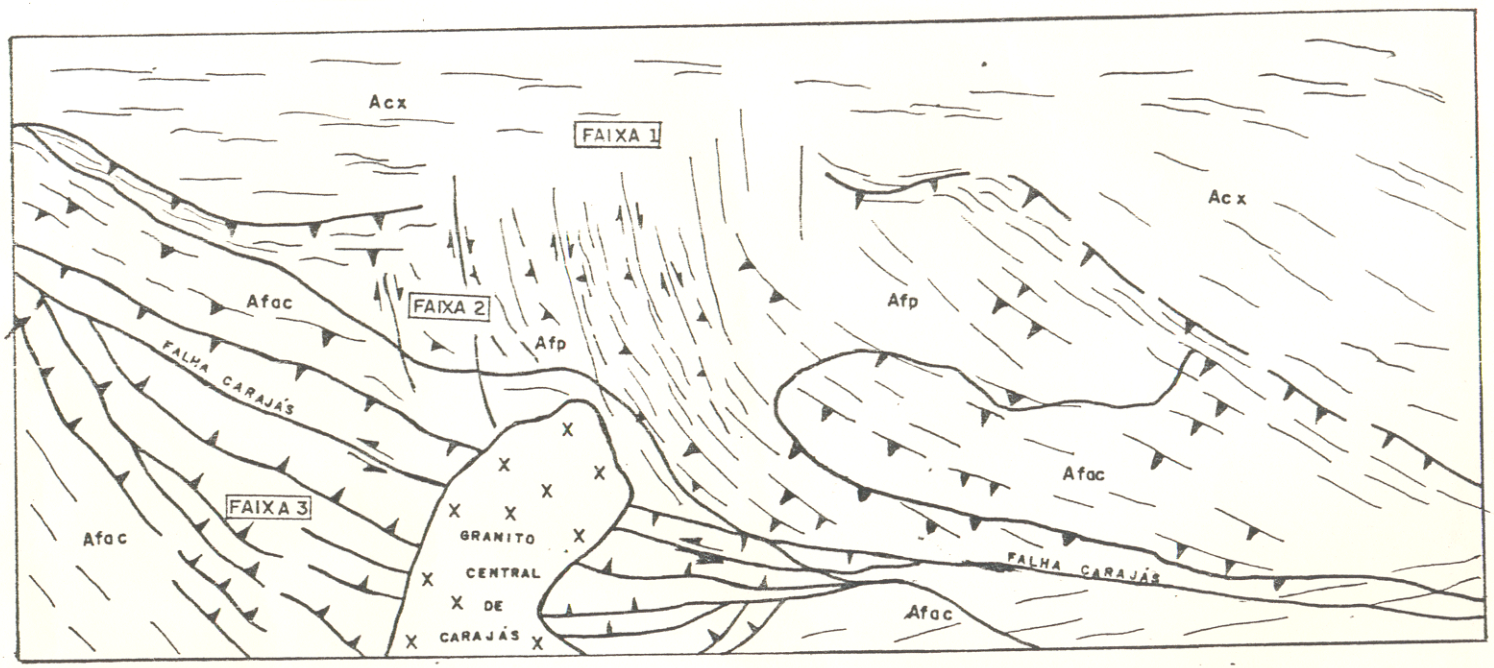
Na região da Serra Norte, onde se encontram as minas de Ferro (N4E) e de Manganês (Azul), e as jazidas de Ferro (N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7 e N8) e Cobre (Pojuca), existem unidades litológicas atribuídas aos grupos Grão-Pará, Igarapé Pojuca e Rio Fresco, e orientadas preferencialmente na direção WNW-ESE (DOCEGEO 1988).

De acordo com Araújo et al. (1988), tais unidades devem ser reunidas no Grupo Grão-Pará pelas seguintes razões:

- há perfeita continuidade física entre elas;
- mostram registros de uma evolução metamórfico-estrutural única; e
- estão atreladas a uma bacia transcorrente que experimentou inversão moderada a forte nas bordas.

Imediatamente a norte dessa faixa de rochas supracrustais ocorrem gnaisses diversos mais ou menos migmatizados vinculados ao Complexo Xingu (Fig. 3.1).

No âmbito da faixa de rochas supracrustais do Grupo Grão-Pará, a análise visual dos diversos produtos de sensores remotos permitiu a individualização de camadas, regulares ou não, e lentes de dimensões variadas, compondo um arranjo geométrico fortemente anastomosado e inclinado para sul. Esse padrão se repete na faixa de gnaisses do Complexo Xingu na parte norte da área abordada. Os contatos entre os vários corpos rochosos, no geral, são marcados por alta densidade de lineamentos de relevo e de drenagem, denunciando a presença de zonas de cisalhamento dúctil. As informações de campo disponíveis (Araújo et al. 1988, Matta & Teixeira 1990, Macambira et al. 1990) indicam que tais zonas de cisalhamento incorporam movimentação transpressiva sinistral.



LEGENDA

FAIXA 1 – GNAISSES DIVERSOS

FAIXA 2 – VULCÂNICAS – METAVULCÂNICAS E FORMAÇÕES FERRÍFERAS

FAIXA 3 – SEDIMENTOS – METASSEDIMENTOS

ZONA DE CAVALGAMENTO DÚCTIL FOTOINTERPRETADA

ZONA TRANSCORRENTE DÚCTIL-RÚPTIL

TRAÇO DE FOLIAÇÃO

ESCALA 1:2500

FIGURA 3.1 – Mapa geológico/estrutural da Serra dos Carajás – Serra Norte.

O arranjo lito-estrutural regional WNW-ESE é modificado localmente, a exemplo da região compreendida entre as jazidas de ferro N1 e N5, por zonas de cisalhamento transcorrente dextrais orientadas na direção N-S. Outra estrutura importante no contexto da Serra Norte é a falha transcorrente Carajás, caracterizada por um segmento reto E-W, que se ajusta a um segmento curvo NW-SE, em direção a sudeste; o segmento curvo corresponde a um duplex compressivo (Gouvêa 1990, Costa et al. 1990).

O granito Central corta todos os elementos lito-estruturais principais presentes na região da Serra Norte.

As unidades litológicas e estruturais apresentadas são descritas resumidamente a seguir.

3.2 - Unidades Litológicas

Considerando a natureza das rochas e o padrão dos elementos texturais de relevo e de drenagem, as unidades litológicas que ocorrem na região da Serra Norte podem ser naturalmente separadas em três faixas distintas (Fig. 3.1), orientadas preferencialmente na direção WNW-ESE e denominadas aqui de 1, 2 e 3 para efeitos de descrição.

3.2.1 - **Faixa 1**

Esta faixa compreende a parte norte da área e é composta por gnaisses diversos mais ou menos migmatizados, incluídos no Complexo Xingu e relacionados ao embasamento (Silva et al. 1974). No geral, trata-se de uma unidade litológica caracterizada por baixa densidade de relevo, alta densidade de drenagem e baixa tropia. As frações de quebras positivas e negativas que podem ser seguidas definem um arranjo anastomosado e a fraca assimetria do relevo indica que os corpos geológicos encontram-se fortemente inclinados para norte. As lineações de relevo e de drenagem, as quais refletem os traços de foliação, seguem rigorosamente as orientações das quebras negativas e positivas.

De acordo com Macambira et al. (1990) as unidades rochosas dominantes nesta região são gnaisses graníticos, granodioríticos e tonalíticos, além de anfibolitos subordinados. Em termos texturais, essas rochas são caracterizadas por faixas de quartzo e feldspato alternadas com faixas irregulares ricas em biotita e hornblenda. Contudo, nas frações mais grossas a textura é definida por ocelos de feldspatos envolvidos por faixas ou cordões de quartzo, biotita ou anfibólio. Nas faixas de alta concentração de deformação, as rochas adquirem textura predominantemente milonítica caracterizada por agregados de quartzo e/ou feldspatos contornados por faixas irregulares de micas e/ou anfibólio.

3.2.2 - Faixa 2

Esta faixa é caracterizada por camadas e lentes resistentes à erosão alternadas com outras menos resistentes , permitindo a definição do arranjo anastomosado em escala regional. Litologicamente, inclui rochas vulcânicas máficas com intercalações lenticulares de vulcânicas ácidas, formações ferríferas e rochas sedimentares que podem estar milonitizadas ou não.

As rochas vulcânicas fazem parte da Formação Parauapebas e as formações ferríferas integram a Formação Carajás (DOCEGEO 1988). Mais recentemente, Macambira et al. (1990) interpretaram essa faixa de rochas supracrustais como uma seqüência vulcano-sedimentar e propuseram a seguinte coluna lito-estratigráfica: rochas vulcânicas máficas com intercalações de vulcânicas ácidas na base (Formação Parauapebas), seguidas por jaspilitos (Formação Carajás), por rochas vulcânicas máficas e sedimentares clásticas e químicas (Formação Igarapé Cigarra), e por siltitos e folhelhos carbonáticos (Formação Igarapé Boa Sorte). Todas essas unidades compõem o Grupo Grão-Pará.

As rochas vulcânicas da Formação Parauapebas correspondem essencialmente a basaltos e diabásios compostos de plagioclásio e minerais máficos em proporções iguais, além de ocorrências localizadas de riolito e formação ferrífera bandada.

Os basaltos exibem texturas microporfirítica e intergranular e os diabásios têm arranjos ofíticos a subofíticos.

Os jaspilitos da Formação Carajás correspondem a uma formação ferrífera bandada de fácies óxido. Seu bandamento rítmico (milimétrico a centimétrico) é composto por bandas claras de cherte ou jaspe alternadas com bandas escuras de hematita e magnetita.

As rochas mais freqüentes na Formação Igarapé Cigarra são os basaltos e diabásios, semelhantes àqueles da Formação Parauapebas, sendo que os basaltos raramente conservam o piroxênio, estando geralmente transformado para anfibólio. Entre os sedimentos clásticos foram descritos quartzo-arenito e quartzo-wacke formados por grãos de quartzo angulosos a subarredondados, policristalinos, mal selecionados, além de fragmentos de cherte, rocha pelítica (mais raros), palhetas de muscovita e alguns cristais de zircão. Os sedimentos químicos estão representados por cherte e formação ferrífera bandada.

A Formação Igarapé Boa Sorte é constituída no topo por siltitos carbonosos e/ou manganesíferos, com intercalações de folhelhos também carbonosos e pequenos níveis arenosos em direção à base, sendo seus limites reconhecidos apenas na região do depósito de manganês.

3.2.3 - Faixa 3

Esta faixa é constituída essencialmente por arenitos com intercalações de pelitos atribuídos ao Grupo Uatumã por Silva et al. (1974), à Formação Gorotire pelo consórcio CVRD/CMM (1972), ao Grupo Rio Fresco por Hirata et al. (1982) e pela DOCEGEO (1988), e à Formação Águas Claras, parte superior do Grupo Grão-Pará por Araújo et al. (1988).

Excelentes exposições dessa unidade sedimentar podem ser observadas ao longo da estrada que liga a mina do Azul à mina do Bahia. Nesta região, ocorrem preferencialmente arenitos médios a microconglomeráticos com ou sem estratificação cruzada, além de expressivas camadas de argilitos e siltitos intercaladas. No geral, tais pacotes encontram-se dobrados, seccionados e deslocados por falhas transcorrentes e por cavalgamentos.

3.2.4 - Granito Central

É considerado o primeiro corpo granítico reconhecido na Serra dos Carajás (Knup 1971, Gomes et al. 1971) e seu posicionamento na parte central da Serra dos Carajás, entre as Serras Norte e Sul, emprestou-lhe o nome (CVRD/CMM 1972).

Foi inicialmente descrito como um batólito alongado, com relevo positivo, medindo aproximadamente 22x12 Km² e intrusivo nas rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco (Baisiegel et al. 1973). O seu caráter intrusivo foi corroborado por Santos (1978) que mostrou evidências de metamorfismo de contato nos arenitos adjacentes à parte norte do maciço.

Segundo Dall'Agnol (1982), a porção norte deste corpo compreende anfibólio-biotita granito muito grosso, equigranular e de coloração avermelhada, que pode ser classificado como sieno-granito. Ocorrem, localmente, outras variedades texturais, a exemplo de granular fino, porfirítico e rapakivi.

Os primeiros dados geocronológicos obtidos por Gomes et al. (1971) pelo método K-Ar, revelaram uma idade de 1.824 Ma. Idades de 1.828 Ma e 1.663 Ma foram apresentadas em seguida por Gomes et al. (1975) pelo método K-Ar, em anfibólios desse mesmo granito. A idade obtida, tanto pelo método K-Ar como Rb-Sr em torno de 1.800 Ma foi confirmada por Wirth et al. (1986), que dataram zircões e obtiveram a idade de 1.820 Ma pelo método U-Pb.

3.3 - Estruturas

A região da Serra Norte compreende unidades de rochas supracrustais alongadas na direção WNW-ESE e mergulhando

em direção a sul, mas os gnaisses imediatamente a norte estão inclinados para norte.

A análise visual de fotografias aéreas e imagens Landsat permitiu a individualização das várias unidades sob a forma de camadas e lentes resistentes à erosão, alternadas com camadas irregulares e lentes menos resistentes à erosão, caracterizando o arranjo interno anastomosado das diversas unidades litológicas.

A orientação dos elementos maiores de relevo, tais como quebras positivas e negativas, seguem a orientação geral WNW-ESE do quadro regional. As quebras negativas referem-se aos contatos entre as unidades rochosas distintas que, por sua vez, coincidem com as regiões caracterizadas por alta densidade de lineamentos de relevo e drenagem, sugerindo a presença de zonas de concentração de deformação ou zonas de cisalhamento; destacam-se as zonas de cisalhamento que marcam a passagem entre as três faixas de rochas descritas na região.

Segundo Araújo et al. (1988) essas quebras negativas correspondem a zonas de cisalhamento dúcteis e rúptil-dúcteis, com caráter de cavalgamento oblíquo. São caracterizadas, genericamente, por uma foliação milonítica que se assemelha a uma xistosidade, ou laminação, ou foliação de transposição, ou aleitamento composicional, dependendo do material rochoso envolvido e da taxa de deformação imposta.

Com base nas informações de campo diponíveis deduz-se que, entre as zonas de cavalgamento, as rochas estão pouco foliadas, mas em geral desenham dobras e/ou encontram-se fortemente basculadas.

Em perfil, o arranjo geométrico das zonas de cavalgamento define um sistema imbricado, o qual faz parte da estrutura em flor positiva definida por Araújo et al. (op.cit.).

O arranjo estrutural dessas zonas de cisalhamento é modificado, em particular, na região compreendida entre os alvos N1 e N5 por zonas de cisalhamento transcorrentes orientadas na direção N-S. São caracterizadas por alta densidade de lineamentos de relevo e podem definir faixas mais ou menos retilíneas de até 10 Km de largura por aproximadamente 100 Km de extensão.

Na região situada entre os alvos N3 e N5, as zonas de cisalhamento transcorrentes N-S impõem rotações nos corpos de minério de ferro e são responsáveis pelo desenvolvimento de dobras quilométricas, destacando-se aquelas desenhadas pelos corpos de formações ferríferas dos alvos N4 e N5. Estas rochas apresentam, internamente, uma foliação milonítica penetrativa, e acompanham a direção maior do corpo (N-S), geralmente mergulhando para W ou SW, com algumas exceções devidos à geometria do dobramento imposto. Os vários tipos de

minério de ferro e rochas metavulcânicas existentes internamente, ocorrem de forma lenticularizada ou budinada.

A movimentação dessas zonas de cisalhamento transcorrente é dominantemente dextral, com algumas sinistrais, que podem ser observadas a nível mesoscópico.

Ainda no contexto da Serra Norte, outra estrutura importante, que se destaca pela suas dimensões e forma, é a falha Carajás, caracterizada por quebras positivas e negativas retas e alinhadas na direção E-W, que se ajustam a outras quebras positivas e negativas curvilíneas NW-SE em direção a sudeste; segundo Gouvêa (1990) e Costa et al. (1990) o segmento curvo corresponde a um duplex compressivo. A movimentação geral da falha é sinistral.

CAPÍTULO 4

QUADRO LITO-ESTRUTURAL DAS MINAS DE FERRO N4E E MANGANÊS DO AZUL

4.1 - Mina de Ferro N4E

4.1.1 - Introdução

A partir do intenso programa de pesquisa iniciado no período de 1970 a 1972 nas áreas de ocorrência dos corpos de minério de ferro da Serra dos Carajás, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e a Companhia Meridional de Mineração (CMM), reconheceram a viabilidade econômica dos mesmos e escolheram o corpo de minério de ferro denominado N4 para dar início à exploração.

Neste programa, as informações sobre a geologia do corpo N4 foram baseadas sobretudo no comportamento dos corpos de minério. Por ser considerado portador das maiores reservas (medidas) de minério de ferro da região, o planejamento de lavra desta jazida foi intensificado e acompanhado por um amplo programa de sondagem.

O esboço geológico/estrutural da jazida só começou a ser estabelecido a partir dos sistemáticos trabalhos

de pesquisa realizados pela CVRD (Tolbert et al. 1971, 1973). Os resultados destas pesquisas mostraram que o minério "in situ" ocupava duas faixas paralelas, respectivamente situadas no braço oeste e no braço leste, descritas como desenhando um "N" assimétrico; o braço mais longo foi denominado N4W e o outro N4E. As duas áreas de afloramento de minério "in situ" distanciavam-se cerca de 1.500 m, e ligavam-se parcialmente por um trecho de clareira capeado por canga e o restante por um vale profundo e coberto por floresta.

O modelo geológico/estrutural proposto então para o corpo N4, foi o da existência de duas faixas de formação ferrífera (N4E e N4W), no qual o braço leste, ou corpo de N4E, foi interpretado como um sinclinal assimétrico com seus flancos orientados nas direções N-S e E-W, e o seu eixo mergulhando para NW. Por outro lado, o braço oeste, ou corpo N4W, foi descrito como um homoclinal, com mergulhos para W e atenuados na porção norte, indicando a proximidade de um eixo anticlinal.

Os mergulhos observados na formação ferrífera são predominantemente para oeste, com exceção da região periclinal do sinclinal que são para o norte.

Os trabalhos geológicos subseqüentes desenvolvidos pela CVRD, concentraram-se principalmente no corpo N4E, devido à sua melhor posição geográfica e onde se deu o início do processo da lavra.

O grande número de trabalhos geológicos regionais na Província Mineral de Carajás (Silva et al. 1974, Santos 1981, Beisiegel et al. 1973, Beisiegel 1982, Tassinari et al. 1982, Cordani et al. 1984, Santos & Loguércio 1984, Medeiros Neto & Villas 1985, e outros) contribuíram para o entendimento das unidades litológicas e estruturais das jazidas de N4E, possibilitando inclusive a elaboração de hipóteses genéticas para o minério.

Com a conclusão em 1985 da estrada de ferro que liga a Serra dos Carajás ao Porto da Madeira em São Luís, a jazida de N4E, em 1986, entra em ritmo de operação de lavra para produção de 15 milhões de toneladas de minério de ferro/ano.

Os trabalhos de interpretação geológico/estrutural da jazida N4E, a partir do início de sua lavra, puderam ser melhor desenvolvidos, pois basearam-se não somente nos dados de furos de sonda e comportamento do minério "in situ", mas também naqueles obtidos através de mapeamentos sistemáticos das frentes de lavra em decorrência do desmonte para a exploração do minério.

Nesta nova fase destaca-se o trabalho de detalhe desenvolvido por Ladeira & Cordeiro (1988), através do qual foram definidas três fases de dobramentos caracterizadas com base na atitude dos seus elementos geométricos planares e lineares; definiram ainda zonas de cisalhamento na escala da

jazida N4E, que deveriam refletir estruturas maiores regionais não descritas até aquele momento.

Estratigraficamente, os litotipos ocorrentes na jazida de N4E pertencem à Formação Carajás e a Formação Parauapebas do Grupo Grão-Pará. São constituidas por formações ferríferas bandadas, compreendendo corpos de minérios de ferro e por rochas metavulcânicas, respectivamente.

Para fins de lavra, a jazida de N4E foi subdividida em dois braços denominados de Aba Leste e Aba Sul. A forma geral do corpo assemelha-se a um "J" com concavidade voltada para noroeste, com sua parte mais longa e retilínea no quadrante NE e sua parte mais curta no quadrante SW. Atualmente, a extração do minério é realizada em níveis de bancadas de aproximadamente 15 m de altura, e em número de cinco.

Tanto na Aba Leste como na Aba Sul os litotipos envolvidos são representados por itabirito (hematita mole HM, hematita dura HD), metajaspilito, rochas metavulcânicas e canga. Na Aba Sul, ocorrem outros tipos de minério denominados de hematita compacta (hematita semibranda HSB e hematita semidura HSD). Tais unidades rochosas estão distribuídas sob a forma de lentes e faixas descontínuas e acunhadas, com orientação geral N-S na Aba Leste e E-W na Aba sul (Anexo 1).

Alguns dos diferentes tipos de minério são intergradacionais e podem ser caracterizados individualmente. O metajaspilito pode ser classificado como uma formação ferrífera de fácies óxido, constituída de faixas alternadas de hematita e sílica de cores cinza escuro/preto vermelho respectivamente; quando a sílica está coberta por uma película de óxido de ferro, a rocha adquire cor cinza claro/branca. O itabirito é o tipo litológico predominante na mina; apresenta-se sob aspectos variados, porém o que o define é a disposição em estratos alternados e de espessura variável de quartzo, mais ou menos granular, e de hematita. Há itabiritos friáveis e itabiritos compactos; para efeito de lavra, o itabirito friável é denominado na mina de hematita mole HM e o itabirito compacto de hematita dura HD. O itabirito friável ou hematita mole é o tipo predominante dentre os minérios de ferro existentes na mina, distribuindo-se ao longo de toda a jazida e normalmente constitui-se de placas milimétricas de hematita friável; podem ainda ocorrer variações químicas como hematita mole limonitizada (HML), hematita mole limonitizada aluminosa (HMLA) e hematita mole aluminosa (HMA). A hematita mole limonitizada (HML) representa a zona de transição entre a canga e a hematita friável; corresponde a zona de transformação da hematita para a limonita e é rica em fósforo. A hematita mole limonitizada aluminosa (HMLA) é similar à hematita mole limonitizada, com elevados teores de Al_2O_3. A hematita mole aluminosa (HMA) ocorre nas zonas de contacto da hematita mole com as rochas metavulcânicas no interior da mina e estão contaminadas por

minerais de argilas e filossilicatos; geralmente, apresentam distribuição irregular ou formam bolsões. O itabirito compacto ou hematita dura, além de ser resistente ao golpe de martelo é também ao trabalho com maquinário de perfuração. é constituída de placas de hematita compacta de até 5 cm de espessura intercaladas com hematita friável. O minério de hematita compacta ocorre sob aspectos variados e para fins de lavra são designados de hematita semibranda (HSB) e hematita semidura (HSD). A hematita semibranda tem coloração que varia do cinza ao negro, possui estrutura bandada milimétrica caracterizada por bandas brilhosas e compactas alternando-se regularmente com outras foscas e porosas, sendo que as primeiras são mais coesas e, nesse caso, o minério tende a desmembrar-se em pequenas placas e pó fino durante o manuseio; sua friabilidade permite a fragmentação entre os dedos. A hematita semidura é finamente bandada, com aspecto listrado característico, definido por bandas cinzento-azuladas ou negras, alternando-se com bandas avermelhadas; tende a se partir em placas devido à diferença de competência entre os leitos finos de material relativamente coerente e compacto, e as intercalações mais friáveis e porosas. A canga é uma crosta superficial e intemperizada do minério, com teor substancial em ferro. Apresenta um aspecto soldado das partículas bastante porosas.

O mapa geológico da mina de ferro N4E (Anexo 1) foi obtido a partir de levantamentos topográficos e mapeamentos geológico/estruturais nas frentes de lavra em escala 1:500,

realizados semanalmente pela equipe técnica da CVRD. Trata-se de uma compilação de mapas geológicos elaborados nos períodos de janeiro e fevereiro de 1989, julho de 1989 e fevereiro de 1990, acrescida de informações estruturais alcançadas durante a realização desta Dissertação.

A distribuição em mapa dos corpos de minério muda à medida em que os trabalhos de lavra avançam, porém a atitude geral dos elementos estruturais e as relações de contato entre os diferentes tipos litológicos têm se mantido.

Neste capítulo, os aspectos lito-estruturais das Abas Leste e Sul do corpo N4E são descritos, culminando com uma discussão inerente às relações entre os corpos N4E e N4W.

4.1.2 - Unidades Rochosas

Os perfis geológicos realizados na Aba Leste e Aba Sul da jazida N4E não permitiram delinear qualquer tipo de proposta de empilhamento estratigráfico, uma vez que as relações de superposição verificadas são tectônicas. Foi possível, tão somente, descrever e reconhecer as unidades rochosas já mencionadas na literatura e nos trabalhos técnicos internos da CVRD. Foram caracterizados 10 conjuntos litológicos na mina de N4E, que se encontram individualizados no mapa apresentado como anexo 1.

Embora a distribuição e a orientação preferencial das unidades sejam distintas nas Abas Leste e Sul, a natureza do conteúdo litológico é similar nas duas regiões, sendo, portanto, desnecessário discutí-lo separadamente.

4.1.2.1 - Distribuição das Unidades Rochosas da Aba Leste

A Aba Leste ocupa uma área de aproximadamente 7,4 KM e pode ser descrita como uma faixa alongada e ondulada de direção aproximada N-S, com ligeira inflexão em direção à Aba Sul. A lavra está ordenada em seis bancadas de 15 m de altura, entre os níveis 655 a oeste e 730 a leste, paralelos à direção geral das camadas.

As unidades rochosas individualizadas na Aba Leste são muito similares àquelas descritas na porção norte da Aba Sul; apresentam-se sob a forma de lentes e faixas descontínuas e acunhadas, e orientam-se preferencialmente na direção N-S, mas há desvios para as direções E-W e NW-SE (Anexo 1). Ao contrário da Aba Sul, não foi possível individualizar porções na Aba Norte, pois os diferentes tipos litológicos são encontrados ao longo de toda a extensão da área, quer sob a forma de corpos isolados, quer sob a forma de camadas regulares e contínuas.

Seguindo a classificação do quadro técnico da CVRD para efeito de lavra, foram identificados os seguintes tipos litológicos: itabirito friável (ou hematita mole HM com suas variações químicas de hematita mole limonitizada HML, hematita mole limonitizada aluminosa HMLA e hematita mole aluminosa), itabirito compacto (ou hematita dura HD), metajaspilito e rochas metavulcânicas.

O itabirito friável ou HM corresponde a 60% da área lavrada, ocupando principalmente as bancadas 655, 670, 685 e alguns trechos isolados nas bancadas mais superiores, em particular nos trechos norte e sul da mina.

O itabirito compacto ou HD está distribuído em frações alongadas em meio as camadas de HM, destacando-se cinco corpos maiores com comprimento de 200 m e largura de 30 m em média, posicionados no centro-norte da área; as lentes menores têm em média 30 m de comprimento por 7 m de largura e estão intimamente associadas aos corpos maiores. Existem corpos orientados nas direções E-W, N-S e NW-SE em função das peculiaridades estruturais da mina que serão discutidas adiante.

Os corpos de metajaspilito predominam na região centro-sul formando um conjunto de lentes com 15 m de comprimento e 7 m de largura em média, e orientadas preferencialmente nas direções E-W e NW-SE. Na parte norte ocorrem também algumas lentes de metajaspilitos.

As rochas metavulcânicas predominam na borda leste da Aba, compondo uma faixa com mais de 800 m de extensão e aproximadamente 120 m de largura na direção N-S, além de um corpo isolado a norte com orientação NW-SE. Alguns corpos menores e isolados, sob a forma de faixas estreitas N-S de 40 a 50 m de comprimento por 1 a 5 m de largura, ocorrem na região central da mina, mas predominam na região centro-oeste. Faixas estreitas orientadas na direção E-W também são observadas ao longo da área.

O itabirito friável aluminoso ou HMA ocorre bordejando as rochas metavulcânicas sob a forma de uma faixa de largura aproximada de 5 a 10 m, isoladamente nos extremos sul e oeste da área próximo ao limite da cava, formando corpos irregulares, e como pequenas lentes em meio aos corpos de metajaspilito na região centro-sul da aba.

O HML e HMLA ocorrem contornando os demais corpos de minério, exceto onde afloram as rochas metavulcânicas, a exemplo da borda leste da mina; formam longas faixas estreitas, com largura média de 7 m e bastante irregulares. Na região de ligação entre as duas abas (leste e sul), próximo ao escritório da mina, predominam esses corpos de minérios, sendo muitas vezes, confundidos com a canga.

4.1.2.2 - Distribuição das Unidades Rochosas da Aba Sul

A Aba Sul compreende a uma área de aproximadamente 3,3 Km^2, e seu eixo maior orienta-se perpendicularmente em relação ao da Aba Leste. Está aberta em seis bancadas de 15 m de altura, entre os níveis 670 e 745.

A distribuição em mapa das unidades litológicas permite individualizar três porções, denominadas de norte, central e sul. A porção central corresponde a uma faixa de cavalgamento onde ocorrem rochas metavulcânicas de direção aproximada E-W. As rochas que afloram nas bancadas da porção norte, não se repetem nas bancadas da porção sul, com exceção de alguns corpos de minério e rochas metavulcânicas.

Porção Norte

A porção norte corresponde aos níveis mais baixos da mina, onde afloram corpos de itabirito friável e compacto (HM, HD), metajaspilitos, rochas metavulcânicas, e variações químicas do itabirito friável (HML, de HMLA e de HMA).

Mais de dois terços da área desta porção é ocupada por itabirito friável, distribuído em todas as bancadas. São 14 os corpos de metajaspilito concentrados na área sudeste da porção, com formas de lentes de comprimento de até 10 m por 5 m de largura, em média, e em geral alinhados preferencialmente

na direção NW-SE, com exceção dos corpos situados nas bancadas 700 e 715, a sudoeste da área, que apresentam dimensões de 20 x 10 m.

O itabirito compacto ou HD ocorre na região mais central da porção norte entre as bancadas 700 e 715, representado por um corpo alongado na direção E-W, bastante irregular, com aproximadamente 100 m de comprimento por 40 m de largura. Corpos menores de itabirito compacto também existem e desenham lentes descontínuas, em média, de 10 m de comprimento por 5 m de largura. No extremo leste da porção sul ocorre um único corpo desse minério nas bancadas 745 e 730, e sua dimensão é comparável à do corpo situado na porção norte.

Os minérios de HML e HMLA contornam regularmente os demais corpos de minério da porção norte, formando uma faixa de 10 m de largura marcando o limite da lavra.

O minério de HMA ocorre no contato com as rochas metavulcânicas, à semelhança da Aba Leste, na porção central da Aba Sul, sob a forma de uma longa e estreita faixa de aproximadamente 600 m de comprimento e 20 m de largura, e rompida na região mais a oeste. Podem ser encontrados corpos isolados, desenhando lentes de 40 m de comprimento por 20 m de largura, no extremo oeste, bem como na região centro-sul da porção sul, com dimensões aproximadas de 160 m de comprimento e 20 m de largura.

As rochas metavulcânicas separam as porções norte e sul através de uma longa faixa de aproximadamente 600 m de comprimento e 40 m de largura, orientada na direção E-W e segmentada no extremo oeste da mina. No centro da porção norte ocorrem também pequenas e estreitas faixas dessas rochas, em média com 80 a 120 m de comprimento e no máximo 5 m de largura, além de faixas menores isoladas na parte nordeste e sudoeste dessa área, geralmente orientadas preferencialmente nas direções NE-SW e E-W. Na porção sul essas rochas ocorrem com maior freqüência e distribuídas na forma de estreitas e longas faixas que atingem 200 m de comprimento.

Porção Sul

A porção sul corresponde aos níveis mais altos, onde afloram três conjuntos litológicos distintos de hematita compacta: minérios de hematita semidura (HSD), hematita semibranda (HSB) e hematita dura de superfície (HDS).

Esses três tipos de minério ocupam conjuntamente 80% da área do domínio, e os 20% restantes incluem rochas metavulcânicas e minérios de hematita dura já descritos na porção norte.

Os minérios de hematita semidura (HSD), hematita semibranda (HSB) e hematita dura de superfície (HDS) ocorrem sob a forma de corpos irregulares, descontínuos e intergradacionais.

4.1.2.3 - Caracterização dos Tipos Litológicos das Abas Leste e Sul

Os vários tipos de minérios de ferro descritos nas Abas Leste e Sul da jazida N4E apresentam características texturais e constituição mineralógica muito semelhantes, bem como em termos da natureza das estruturas planares e lineares impressas.

No geral, tratam-se de rochas bastante friáveis e quebradiças, constituidas a base de hematita e quartzo, o que torna difícil a análise através dos procedimentos petrográficos de rotina. Por esse motivo, à exceção dos corpos de metajaspilitos e raras amostras de itabirito friável ou HM, não foi possível confeccionar seções delgadas das variedades de minérios de hematita que ocorrem na jazida, ficando, no momento, suas descrições limitadas em grande parte ao nível de observações mesoscópicas.

- **Metajaspilito**

Tratam-se de rochas de coloração vermelho-rosada e bastante compacta. Sua composição mineralógica é a base de quartzo microcristalino recristalizado, além de hematita, martita e quantidades subordinadas de magnetita e pirita.

Estruturalmente, são definidas por bandas alternadas de minério de ferro e quartzo de espessuras que variam de centimétricas a milimétricas (Fig. 4.1) e as relações geométricas entre as bandas podem ser uniformes e regulares ou não. Várias frações apresentam-se penetrativamente foliadas na zona da passagem para o itabirito friável (Fig. 4.2). São comuns frações de metajaspilitos dobrados, budinados e em forma de charutos (Fig. 4.3 e 4.4). Constata-se, que as lentes de metajaspilitos passam gradualmente para o itabirito friável em termos composicionais sem qualquer mudança estrutural.



Fig. 4.1 - Metajaspilito formado por mesobandas regularmente alternadas de quartzo e óxido de Fe (hematita).



Fig. 4.2 - Bloco de metajaspilito caracterizado por frações regularmente bandadas de quartzo e hematita. Localmente, define a passagem gradual para o itabirito em termos composicionais, sem qualquer mudança estrutural em decorrência da alteração intempérica.



Fig. 4.3 - Metajaspilito caracterizado por mesobandas de quartzo e de hematita alternadas e regularmente dobradas.



Fig. 4.4 - Metajaspilito formado por mesobandas de quartzo e ferro dobradas e budinadas.

Ao nível da seção delgada as bandas alternadas de ferro e quartzo constituem um bandamento composicional paralelo à foliação milonítica. Os minerais de ferro formam verdadeiros "comboios" de porfiroclastos pisciformes, envolvidos por faixas de grãos de quartzo achatados ("platy ribbon quartz"), impondo à rocha aspecto anastomosado (Figs. 4.5 e 4.6).

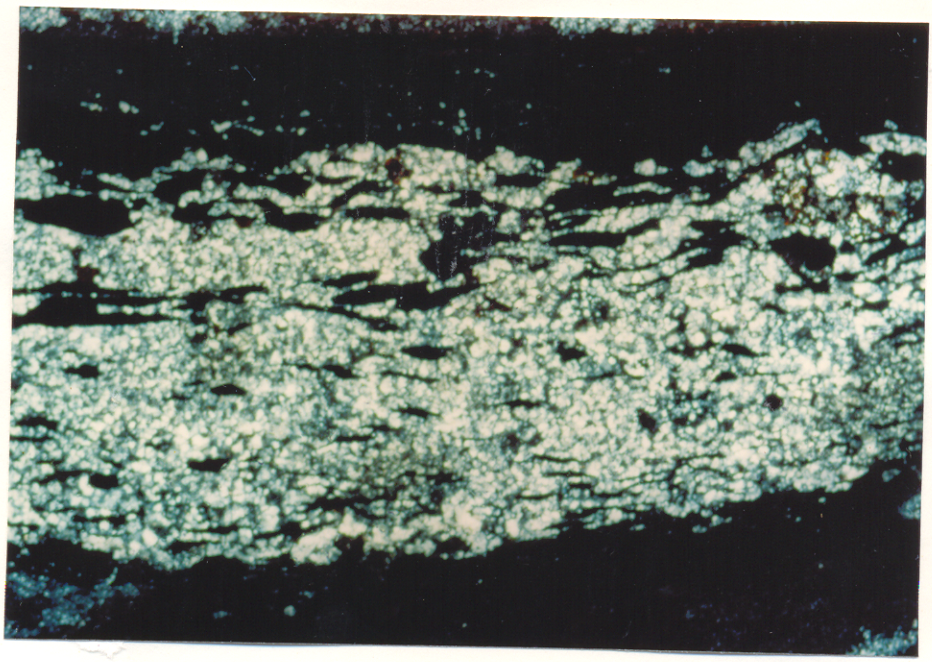


Fig. 4.5 - Fotomicrografia mostrando o bandamento composicional paralelo à foliação milonítica. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x.

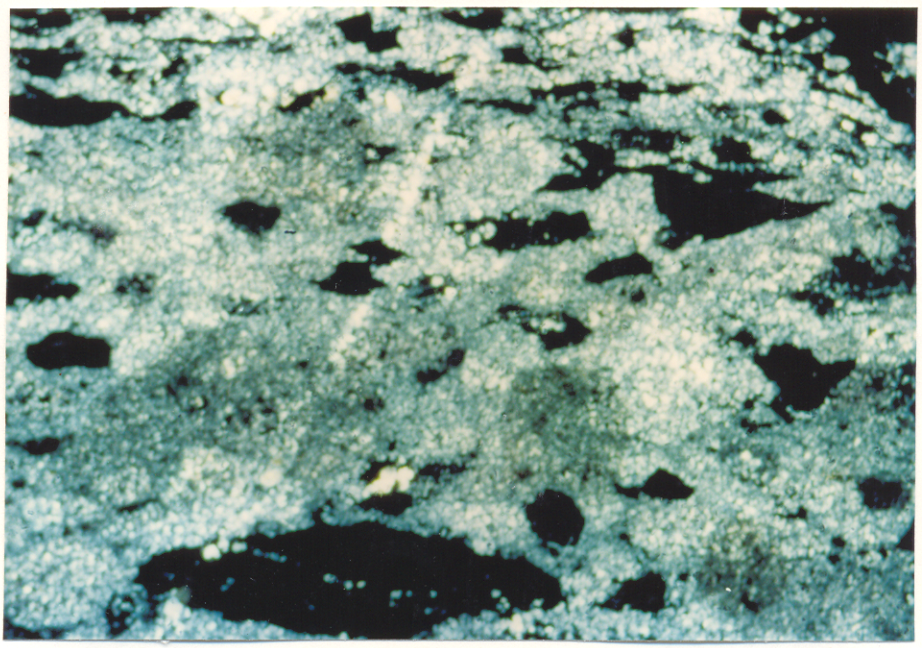


Fig. 4.6 - Fotomicrografia mostrando "comboios" de porfiroclastos pisciformes de hematita, envolvidos por agregados de cristais de quartzo estirados e recristalizados. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x.

As microbandas de ferro e quartzo muitas vezes também mudam de direção, bifurcam-se e desaparecem de forma acunhada; quando podem ser seguidas regularmente nas seções delgadas, desenham faixas tabulares equiespaçadas e suavemente onduladas (Fig. 4.7). Dentro das bandas de óxido de ferro é muito difícil individualizar cristais e, nesse caso, observa-se apenas um agregado de minerais de ferro, quimicamente soldado, que gera uma massa de cristais.

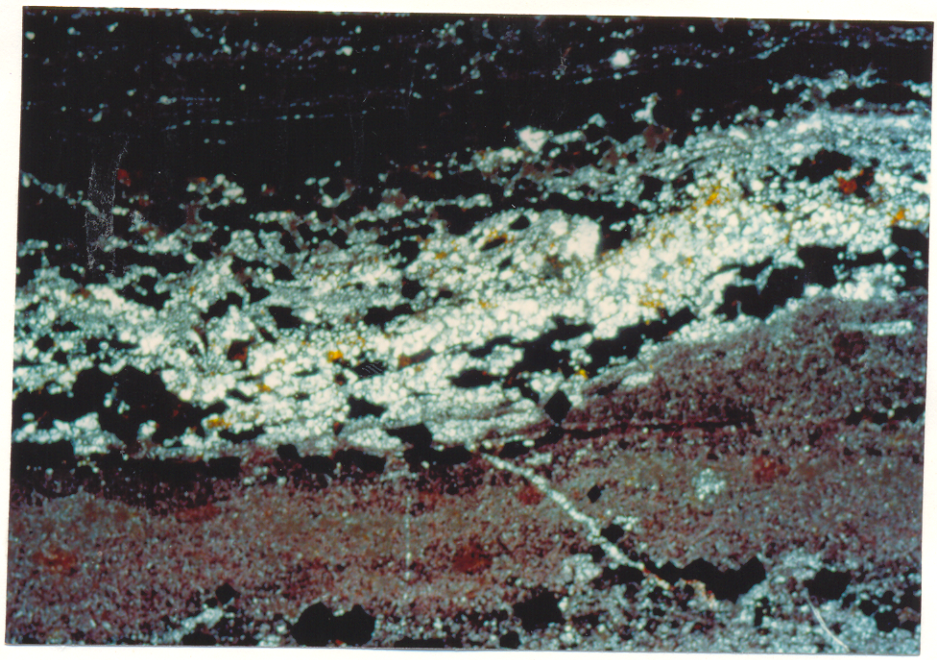


Fig. 4.7 - Fotomicrografia mostrando ondulações suaves nas faixas equiespaçadas das bandas de ferro e quartzo. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x.

Localmente, nas frentes de lavra, observa-se uma grande quantidade de veios de quartzo cortando as mesobandas de ferro e jaspe em direções variadas, mas há também veios paralelos à foliação, bem como frações de veios formando bolsões de dimensões milimétricas até poucos metros (Fig. 4.8). O quartzo aparece geralmente bastante recristalizado e impregnado de ferro. A nível de seção delgada, esses veios são observados também, localmente, em grandes quantidades, discordantes da ou paralelos à foliação milonítica (Fig. 4.9). Os veios discordantes parecem estar associados a fraturas de distensão.

- **Itabirito Friável**

Corresponde a uma rocha bastante friável, de coloração marron escura e, em geral, extremamente físsil, desagregando-se facilmente em pequenas placas milimétricas (Fig. 4.10). A granulação é bastante fina e localmente pode ser classificada como média a fina.

Tratam-se de rochas penetrativamente foliadas que podem adquirir aspecto bandado em função da alternância regular de bandas ricas em ferro com bandas de quartzo, mas raramente apresentam registro da feição anastomosada clássica da série milonítica (Fig. 4.10).

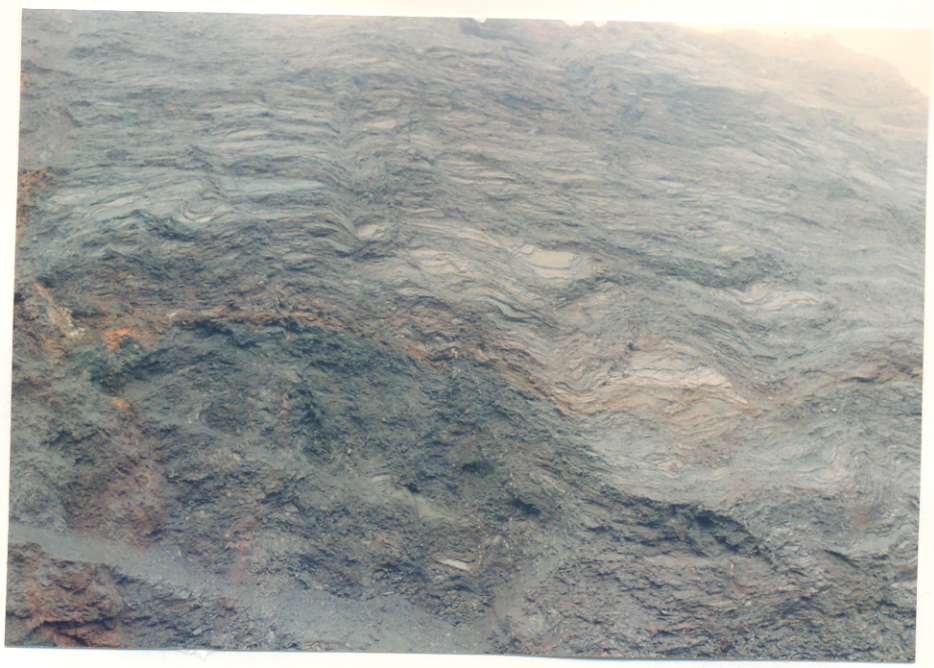


Fig. 4.8 - Itabirito friável na frente de lavra, mostrando veios de quartzo paralelos ás mesobandas de hematita.

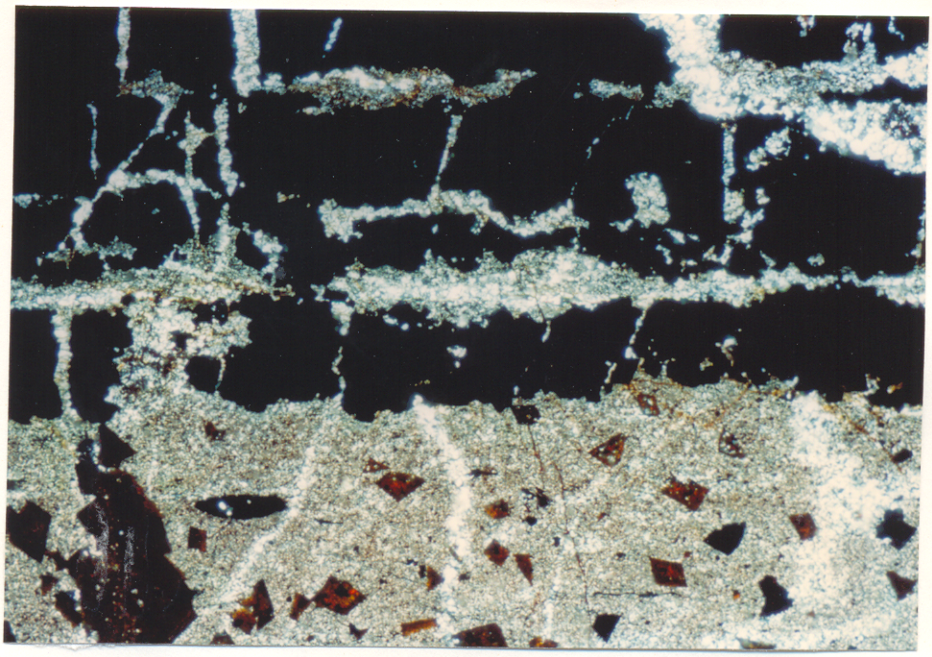


Fig. 4.9 - Fotomicrografia mostrando veios de quartzo discordantes e concordantes da foliação milonítica. Os veios discordantes estão associados a fraturas de distensão. Metajaspilito. NX, aum. 2,5x.



Fig. 4.10- Itabirito friável mostrando o aspecto geral da foliação milonítica penetrativamente desenvolvida.

É possível observar nessas rochas, com certa freqüência, uma incipiente lineação de estiramento formada por bastões de quartzo e/ou por pequenos cristais alongados de hematita, os quais se orientam nas superfícies das bandas quartzosas e /ou hematíticas.

Sua passagem para os outros tipos de minérios de ferro é gradacional em decorrência da alteração intempérica e do metamorfismo (Fig. 4.11).



Fig. 4.11- Lente de metajaspilito envolvida por camadas de itabiritos friáveis. A passagem entre elas é gradacional em decorrência da alteração intempérica e do metamorfismo atuantes nestas rochas.

A nível de seção delgada esta rocha apresenta uma textura milonítica bandada, desenhada por uma alternância de quartzo e hematita, anastomosadas ou não. Comumente observa-se que os níveis hematíticos podem ser mais espessos (3 a 4 vezes) que os níveis quartzosos, resultando em uma rocha composta basicamente por hematita.

São reconhecidas nas finas laminações de quartzo, o quartzo criptocristalino recristalizado, com forte extinção ondulante, formando agregados com contatos em ponto tríplice e com tonalidades do vermelho devido à variação na concentração e percolação de óxidos de ferro disseminados (hematita muito fina e eventualmente alguns pequenos cristais octaédricos de magnetita). Os níveis de ferro consistem basicamente de hematita, com quantidades subordinadas de quartzo e de cristais euédricos de magnetita; freqüentemente, apresentam-se desenhando verdadeiros cordões milimétricos de porfiroclastos assimétricos, nitidamente anastomosados (Fig. 4.12).

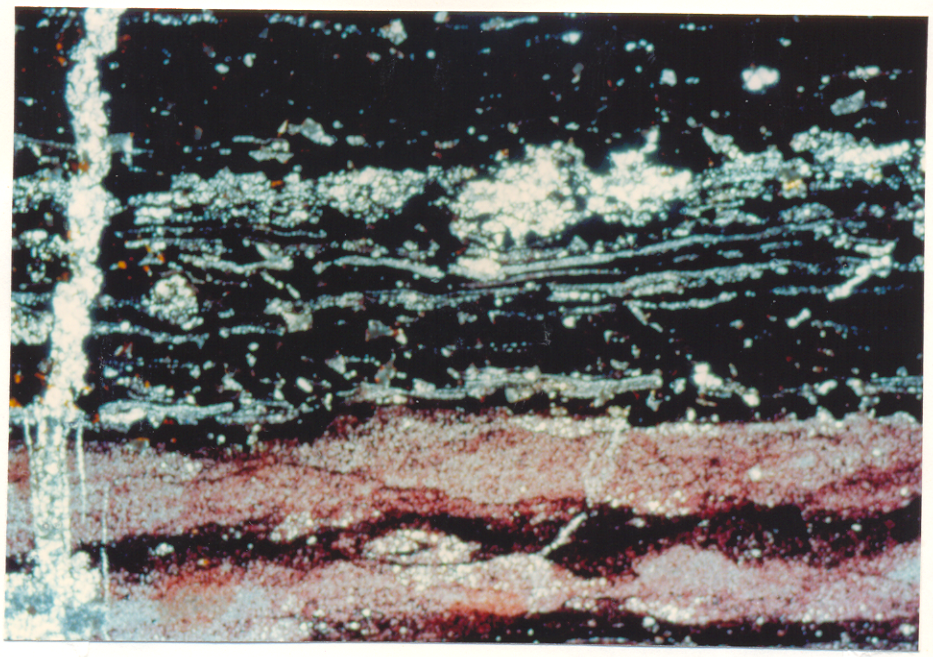


Fig. 4.12- Fotomicrografia mostrando cordões milimétricos de porfiroclastos assimétricos de ferro e quartzo, fortemente anastomosado. Itabirito friável. NX, aum. 2,5x.

- **Itabirito Compacto**

É uma rocha bastante compacta, de cor cinza escuro e brilho metálico. Localmente pode apresentar uma laminação caracterizada pela alternância de hematita compacta, em camadas de aproximadamente 10 cm de espessura, com lâminas centimétricas de hematita friável que, em geral, têm 3 cm de espessura média. A granulação varia de muito fina a média (em determinados pontos), predominando a fina. Os minerais constituintes são a hematita (predominante) e a magnetita, com raros cristais de quartzo. Na região da Aba Sul, este conjunto rochoso apresenta teores altos de P (fósforo) e Al_2O_3, e são denominadas de hematita compacta ou hematita dura de superfície (HDS) e hematita dura aluminosa (HDA), respectivamente.

Estruturalmente não apresenta a foliação milonítica penetrativamente desenvolvida. A relação de contato com o itabirito friável é gradacional, com mudanças apenas em termos composicionais.

- **Metavulcânicas**

Este conjunto rochoso é correlacionável à Formação Parauapebas, conforme definida por Meireles (1974).

São rochas metamorfizadas, sempre muito alteradas intempericamente, de coloração amarelo-avermelhada e granulação fina.

Os corpos mapeados podem corresponder a derrames amigdaloidais de metavulcânicas de idades mais antigas caracterizados através de contatos por falhas normais, e a corpos intrusivos de rochas básicas mais jovens (diques, "sills" e "stocks"), provavelmente do Proterozóico Médio, que se caracterizam através de contatos secantes indicativos de intrusão.

Textural e estruturalmente caracterizam-se por uma fina foliação milonítica, fortemente anastomosada. Devido ao grau de alteração intempérica não foi possível caracterizar sua mineralogia e nem observar qualquer tipo de estrutura linear a nível mesoscópico (Figs. 4.13 e 4.14).



Fig. 4.13- Rochas metavulcânicas na porção central da Aba Sul.



Fig. 4.14- Rochas metavulcânicas bastante intemperizadas intercaladas com itabirito friável na parte central da Aba Sul.

Em seção delgada caracteriza-se mineralogicamente por um agregado de minerais, formando uma espécie de massa "homogênea", onde é possível identificar apenas cristais de quartzo e óxido de ferro e muito localmente, cristais de anfibólio (Fig. 4.15). Próximo ao contato com os corpos de minério de ferro, apresenta uma foliação milonítica bem desenvolvida (Fig. 4.16).

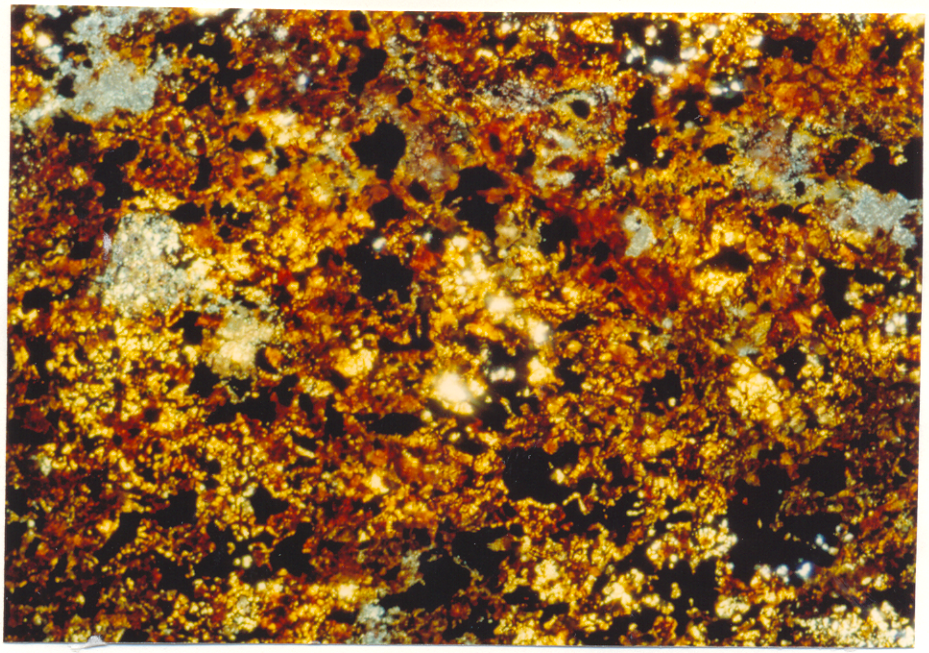


Fig. 4.15- Fotomicrografia mostrando uma massa "homogênea" de cristais de quartzo, óxido de ferro e anfibólio em metavulcânica. NX, aum. 2,5x.

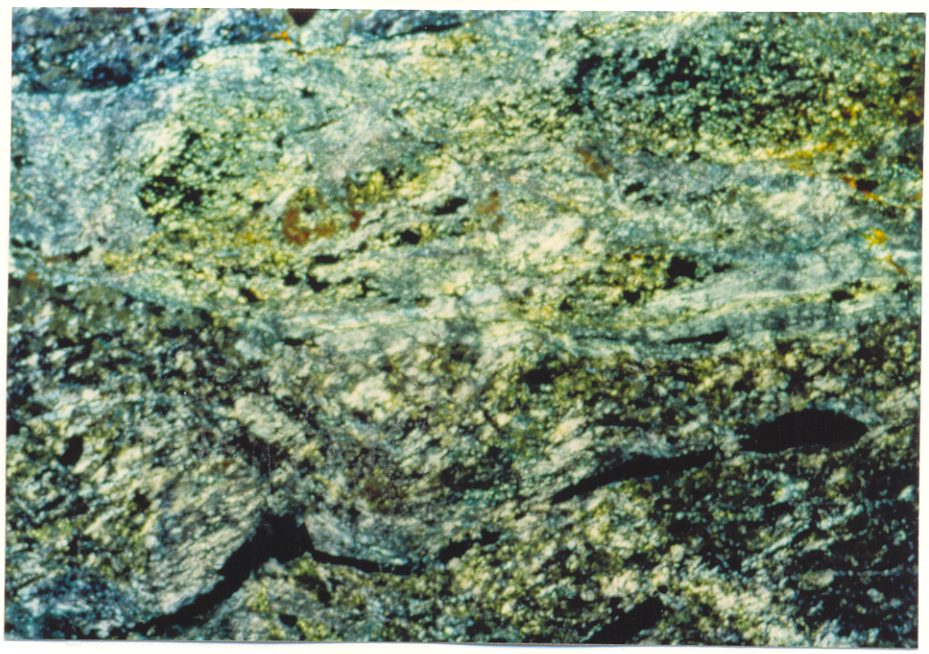


Fig. 4.16- Fotomicrografia mostrando a foliação milonítica bem desenvolvida, próximo ao contato com minério de ferro. Metavulcânica. NX, aum. 2,5x.

De acordo com as descrições disponíveis para as áreas adjacentes, as metavulcânicas são rochas derivadas de derrames diversos, com possíveis contribuições piroclásticas. A mineralogia típica destas rochas inclui plagioclásio sódico, actinolita, clorita e piroxênio reliquiar nas frações não deformadas, local onde podem também preservar textura ígnea.

- **Hematita Semibranda**

é uma rocha pouco compacta, de coloração cinza a negro, composta essencialmente de hematita e exibe uma estruturação bandada milimétrica, onde bandas mais brilhosas e compactas milimétricas alternam-se com bandas menos compactas e mais porosas ou friáveis milimétricas. A granulação é bastante fina e quebra-se em pequenas placas e pó fino durante o manuseio.

Apresentam uma foliação milonítica penetrativa caracterizada, no geral, pela alternância de bandas milimétricas de ferro, com raros cristais de quartzo . Devido à sua grande friabilidade, é muito difícil obter-se seções delgadas, prejudicando a descrição petrográfica.

- **Hematita Semidura**

Trata-se de uma rocha pouco compacta, de coloração cinza-azulada a negra, constituída basicamente de hematita e magnetita e subordinadamente sílica.

Exibe comumente um bandamento entre minerais de hematita mais compacta com a hematita mais friável. Possui uma granulometria bastante fina, e tem o mesmo comportamento quebradiço da hematita semibranda. Apresenta também uma foliação

milonítica bem desenvolvida, com alternância incipiente de bandas milimétricas de minerais de ferro com sílica.

- Hematita Mole Limonitizada(HML), Hematita Mole Aluminosa (HMA) e Hematita Mole Limonitizada Aluminosa(HMLA)

Estes minérios são considerados em conjunto por representarem a transição entre o minério de hematita mole para o minério de canga ou minério de superfície.

Correspondem a variações químicas do itabirito friável, sendo mais pulverulentas e friáveis e é difícil definir suas posições espaciais nas frentes de lavra.

4.1.3 - Elementos Estruturais

4.1.3.1- Aba Leste

No contexto da Aba Leste, os principais corpos de minérios de ferro, juntamente com as camadas e lentes de rochas metavulcânicas, orientam-se preferencialmente na direção submeridiana e mergulham, em média, 50° para oeste. A alternância regular de faixas contínuas ou não de itabirito friável aluminoso e de metavulcânicas define, em escala macroscópica, o bandamento composicional (Anexo 1). Dentro da faixa de itabirito friável individualizam-se várias lentes de rochas metavulcânicas, de itabirito compacto e de

metajaspilitos, as quais contribuem para a formação do arranjo anastomosado ou amendoado dos corpos rochosos. Através do mapa apresentado no anexo 1, vê-se que o bandamento composicional passa gradualmente para o padrão amendoado.

A nível mesoscópico, os principais termos petrográficos são caracterizados estruturalmente por uma foliação paralela ao arranjo geométrico regional dos corpos rochosos. Nos corpos de metajaspilito a foliação é definida basicamente pela alternância de bandas quartzosas com bandas ferríferas, regulares ou não (Fig. 4.17); nos locais onde as bandas quartzosas são muito irregulares, ocorrendo sob a forma de lentes ou de frações alongadas e estriccionadas ("pinch and swell"), o bandamento composicional assemelha-se a uma foliação de transposição (Fig. 4.17). Nas rochas mais finas, a exemplo das camadas de itabirito friável e de metavulcânicas, a foliação pode ser descrita como uma xistosidade ou laminação, mas, quando ocorrem frações quartzosas associadas, o aspecto milonítico ou anastomosado é realçado. Os corpos de itabirito compacto são maciços no centro, no entanto, à medida que se caminha em direção ao contato com o itabirito friável deixam de ser maciços, de modo que se pode falar, sistematicamente, em passagem gradacional para os corpos de hematita mole.

O diagrama da figura (4.18) mostra o comportamento espacial da foliação ao longo da Aba Leste. A grande dispersão dos polos é atribuída ao arranjo geométrico

anastomosado e a presença de zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE e E-W que impõem ondulações métricas na foliação.

Os cristais de quartzo e de hematita, orientados preferencialmente na superfície da foliação, definem dois tipos de lineação: de estiramento e mineral (Fig. 4.19). A lineação de estiramento é paralela à lineação mineral. Sua direção geral é NW-SE, mas há desvios para as direções WNW-ESE e E-W; de qualquer modo, verifica-se que a lineação orienta-se obliquamente em relação ao "trend" geral da foliação milonítica.

Os critérios cinemáticos analisados, a exemplo de dobras assimétricas, relações entre foliações S e C, bandas de cisalhamento e frações rochosas sigmoidais e assimétricas indicam movimentação essencialmente dextral.



Fig. 4.17- Metajaspilito mostrando que a foliação é definida pela alternância de bandas quartzosas com bandas ferríferas, regulares ou não.

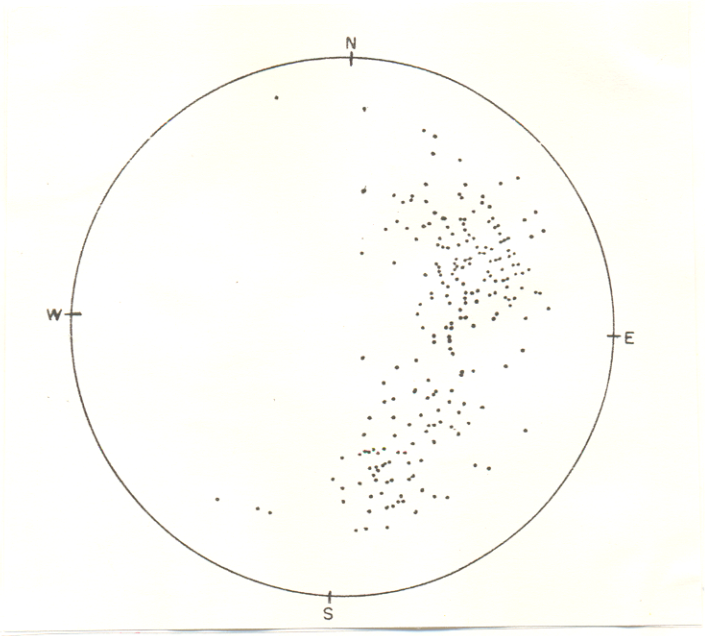


Fig. 4.18- Estereograma integrado de polos da foliação milonítica na Aba Leste. 250 medidas.

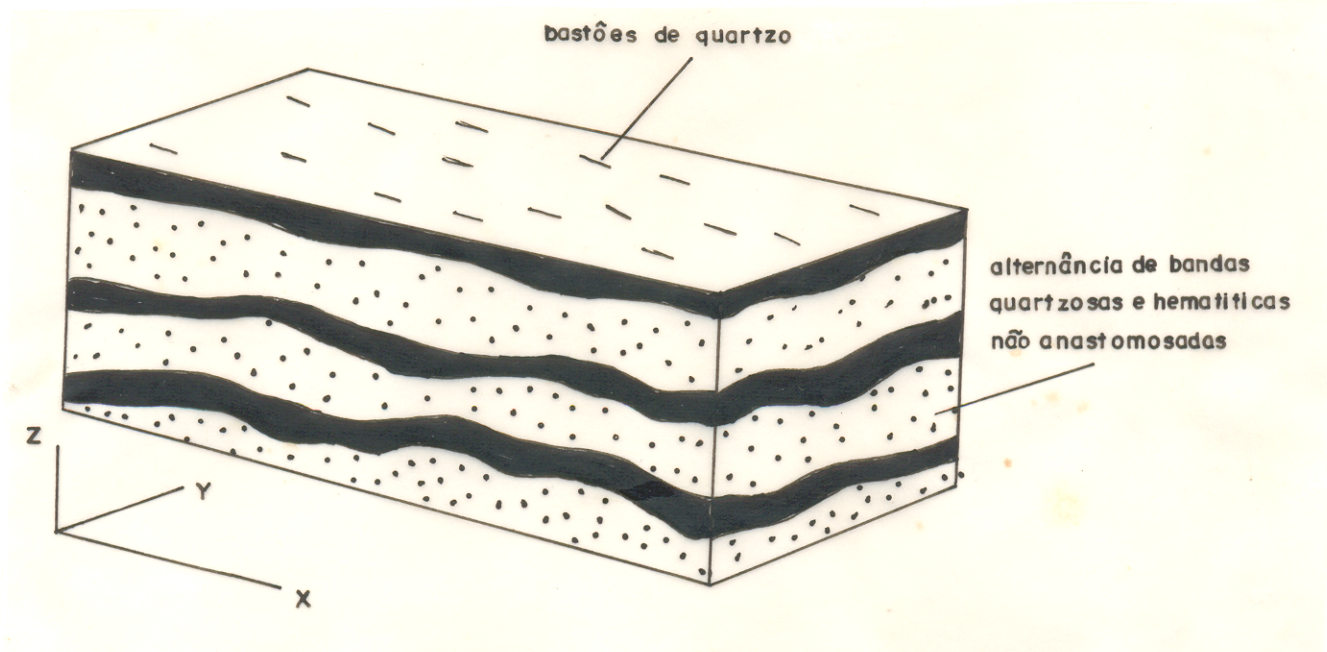


Fig. 4.19- Bloco- diagrama mostrando a lineação de estiramento e mineral desenvolvida na superfície do bandamento composicional.

As zonas de contato entre os corpos de metajaspilito e de itabirito compacto, intercalados com corpos de itabirito friável são gradacionais e marcadas basicamente por uma passagem composicional dos termos petrográficos, sem qualquer mudança estrutural. A maioria dos corpos de rochas metavulcânicas apresentam contatos secantes com o minério de ferro, indicando a existência de "sills" e diques no interior da mina (Fig. 4.20 e 4.21). Os perfis apresentados na figura (41.22) mostram o comportamento amendoado dos corpos de minério de ferro e das rochas metavulcânicas compondo um sistema imbricado com caráter de cavalgamento.



Fig. 4.20- Itabirito friável na frente da lavra da Aba Leste com intercalações de rochas metavulcânicas, indicando possivelmente tratarem-se de "sills" e diques no interior na mina.

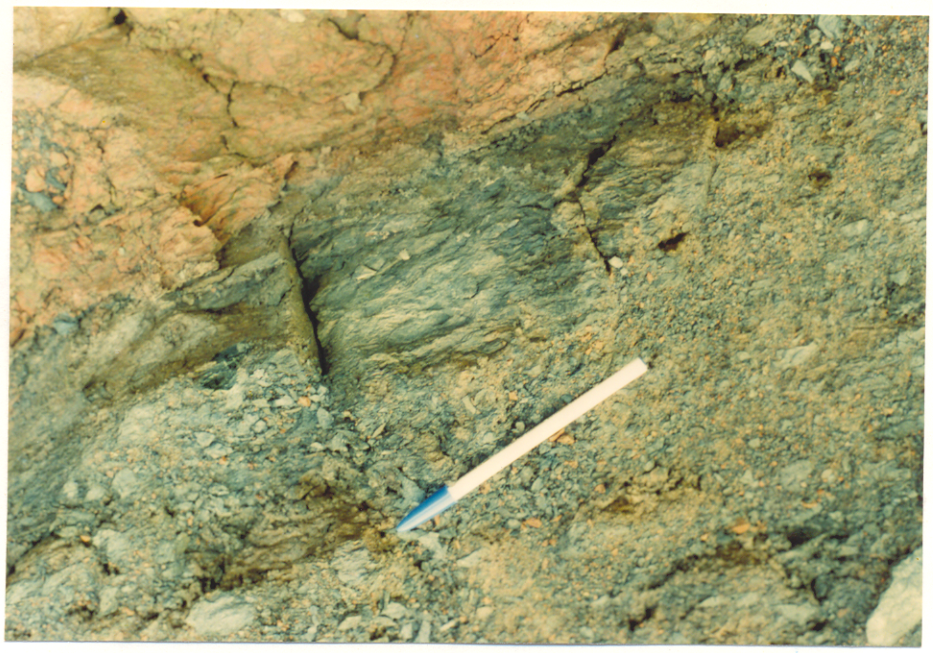


Fig. 4.21- Detalhe do contato entre camadas de rochas metavulcânicas e de itabirito friável. Verifica-se o contato do tipo secante.

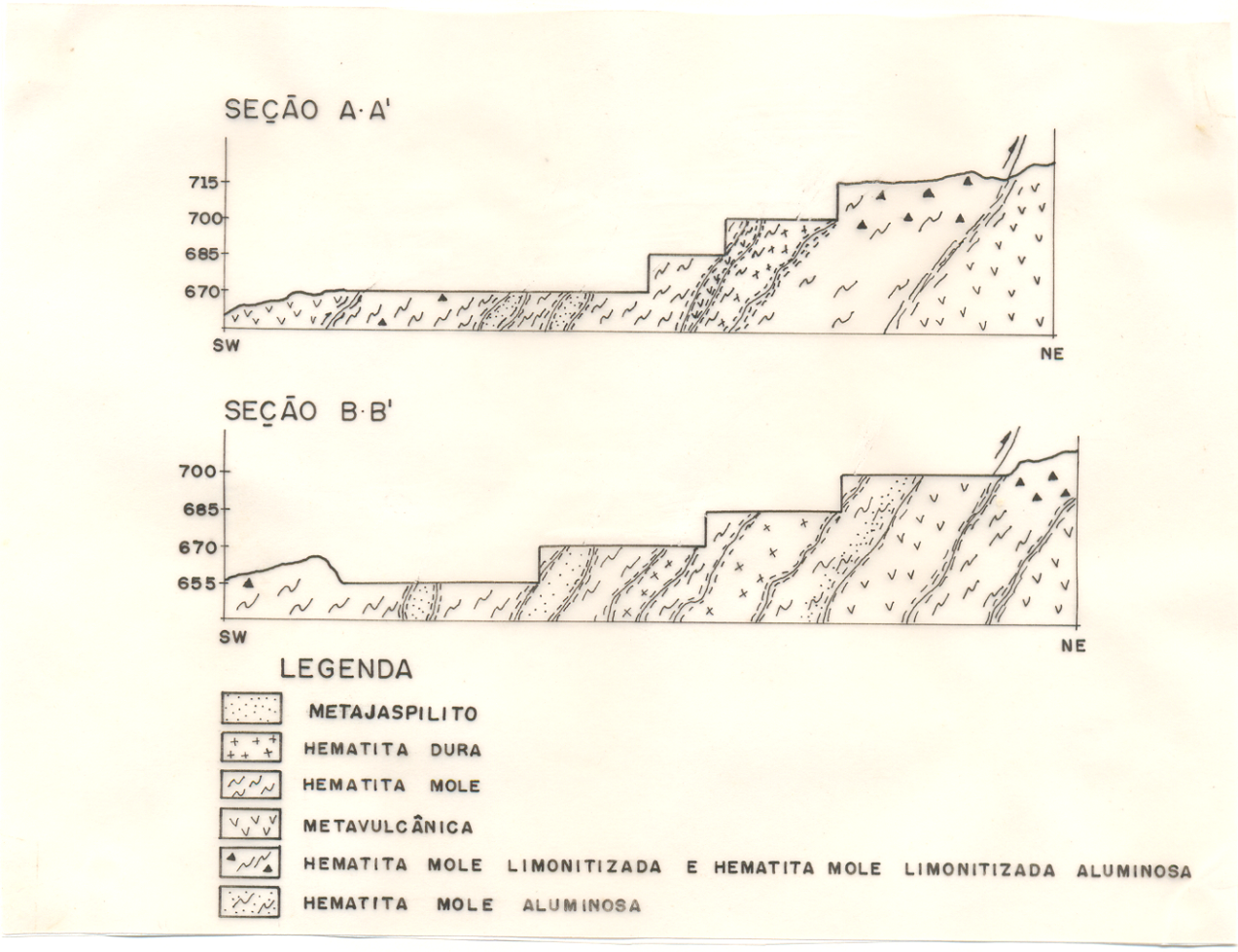


Fig. 4.22- Seções transversais à estruturação geral da jazida N4E - Aba Leste.

Conjuntos de dobras holomórficas orientadas na direção NW-SE, com estilos variados e desenhadas pela foliação milonítica e pelas zonas de cisalhamento são observadas ao longo da Aba Leste como um todo. Nas frações de metajaspilitos, as dobras são isópacas, assimétricas e, localmente, há registros de conjuntos com topos chatos, de tipo "kink"; nas camadas de itabirito friável as dobras apresentam os ápices espessados e os flancos adelgaçados ou mesmo rompidos. Crenulações também podem ser descritas em vários locais e têm eixos e planos axiais paralelos aos das dobras maiores (Fig. 4.23).

Na extremidade sul da área (Aba Leste), a foliação milonítica e as zonas de cisalhamento ganham a direção NE-SW, de modo que se pode definir uma megaondulação com eixo orientado na direção NW-SE mergulhante para NW (Anexo 1).

A estruturação geral N-S aparece seccionada por zonas de cisalhamento discretas, de caráter transcorrente dextral e orientadas preferencialmente nas direções NW-SE e E-W (Anexo 1). Tratam-se de zonas de cisalhamento com espessuras até da ordem de 40 m, caracterizadas por uma foliação milonítica vertical (Figs. 4.24 e 4.25) e uma lineação de estiramento sub-horizontal. Dentro das zonas de cisalhamento, os diferentes corpos rochosos foram fortemente rotacionados até tornarem-se paralelos à foliação milonítica vertical; alguns corpos rochosos experimentaram budinagem, a exemplo do corpo de hematita dura



Fig. 4.23- Minério de itabirito friável mostrando crenulação. Aba Leste.



Fig. 4.24- Zona de cisalhamento transcorrente NW-SE projetada na interface metajaspilito-HM na parte centro-sul da Aba Leste.



Fig. 4.25- Zona de cisalhamento transcorrente desenvolvida no minério de hematita mole, orientada na direção NW-SE e caracterizada por uma foliação milonítica vertical. Aba Leste.

situado na zona de cisalhamento E-W que passa na parte central da mina. A movimentação associada a essas zonas de cisalhamento promoveu também a formação de dobras de arrasto. (Anexo 1).

Outras complicações geométricas na parte centro-sul da mina estão relacionadas a presença de zonas de cisalhamento orientadas preferencialmente na direção NNW-SSE, que impõem rotação nos corpos de metajaspilito e de itabirito friável (Anexo 1). Ao longo das zonas de cisalhamento, a foliação é vertical, a lineação de estiramento tem postura horizontal e os critérios cinemáticos indicam movimentação dextral. Nos corpos de itabirito friável, dentro das zonas de cisalhamento, aparece crenulação e uma clivagem de crenulação impressas de modo importante (Fig. 4.26).

4.1.3.2 - Aba Sul

A macroestruturação da Aba Sul é dada pela disposição de camadas e lentes alternadas dos diversos tipos de minério de ferro e de rochas metavulcânicas. A geometria geral é de um arco com concavidade voltada para norte (Anexo 1).

A foliação milonítica, paralela ao macrobandamento composicional, se amolda à estruturação em arco, com a direção NE-SW no quadrante NE da Mina passando



Fig. 4.26- Dobras de crenulação e clivagem da crenulação impressas de modo importante nos corpos de itabirito friável. Aba Leste.

gradativamente para a direção E-W na parte central, até adquirir postura ENE-WSW no extremo oeste (Anexo 1 e Fig. 4.27). Os aspectos mesoscópicos da foliação milonítica descritos na Aba Leste se repetem no contexto da Aba sul.

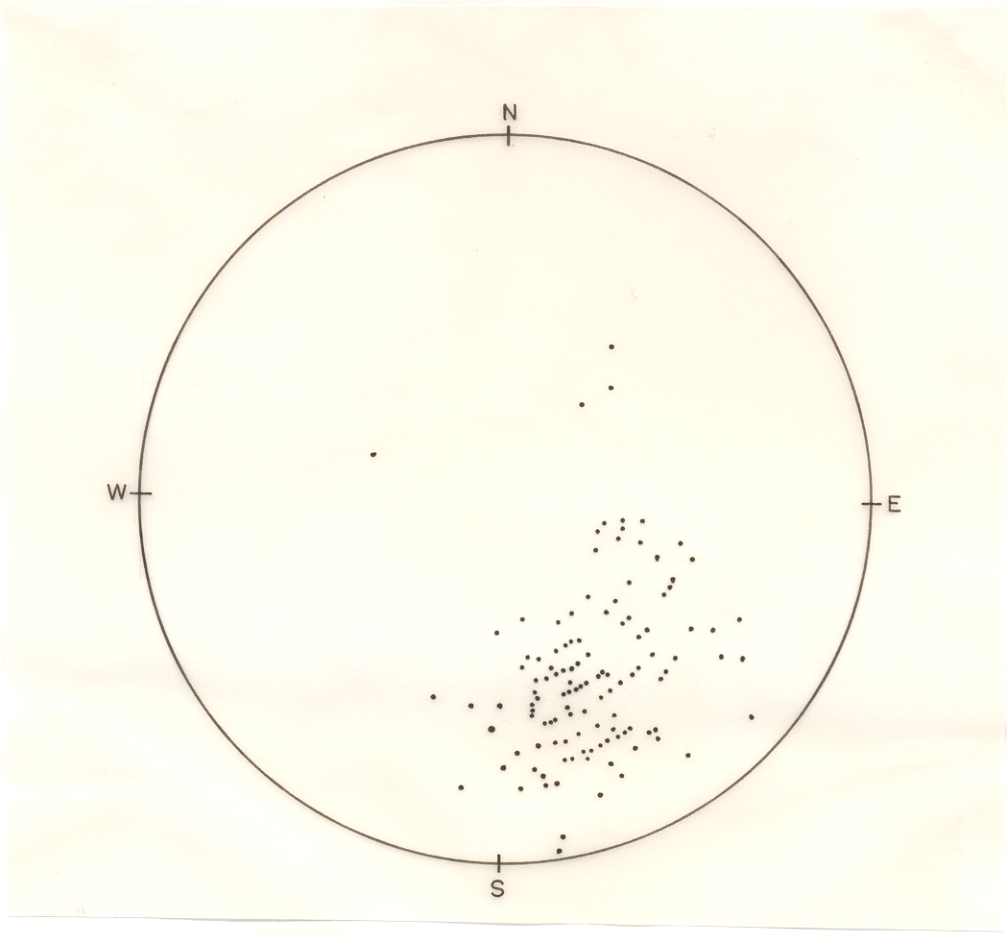


Fig. 4.27- Estereograma integrado de polos da foliação milonítica na Aba Sul. 150 medidas.

As lentes de itabirito compacto, de metajaspilito, de hematita semibranda, de hematita semidura e de metavulcânicas, em meio ao pacote de itabirito friável, expressam o arranjo amendoado ou anastomosado da Mina.

A lineação de estiramento e mineral são definidas por grãos de quartzo e de hematita. São observadas facilmente, mas não foi possível definir sua orientação preferencial, pois, há desvios importantes da sua direção para os quadrantes NW e NE, bem como para N-S.

As zonas de contato entre os diversos tipos litológicos se caracterizam pela passagem gradativa dos termos composicionais e em geral compõem um feixe anastomosado inclinado, em média, 40° para norte. Ao longo das zonas de cisalhamento verifica-se que os corpos geológicos, no geral, estão budinados, mas a segmentação é mais acentuada na seção vertical, acompanhando a posição espacial da lineação de estiramento. Os perfis da figura 4.28 mostram o comportamento amendoado dos corpos de minério de ferro, o qual compõem um sistema imbricado, a exemplo da Aba Leste.

As dobras desenhadas pela foliação milonítica são menos freqüentes do que na Aba norte, mas quando presentes variam de centimétricas a decimétricas, são assimétricas e podem ter ápices espessados. Por outro lado, há registro de forte

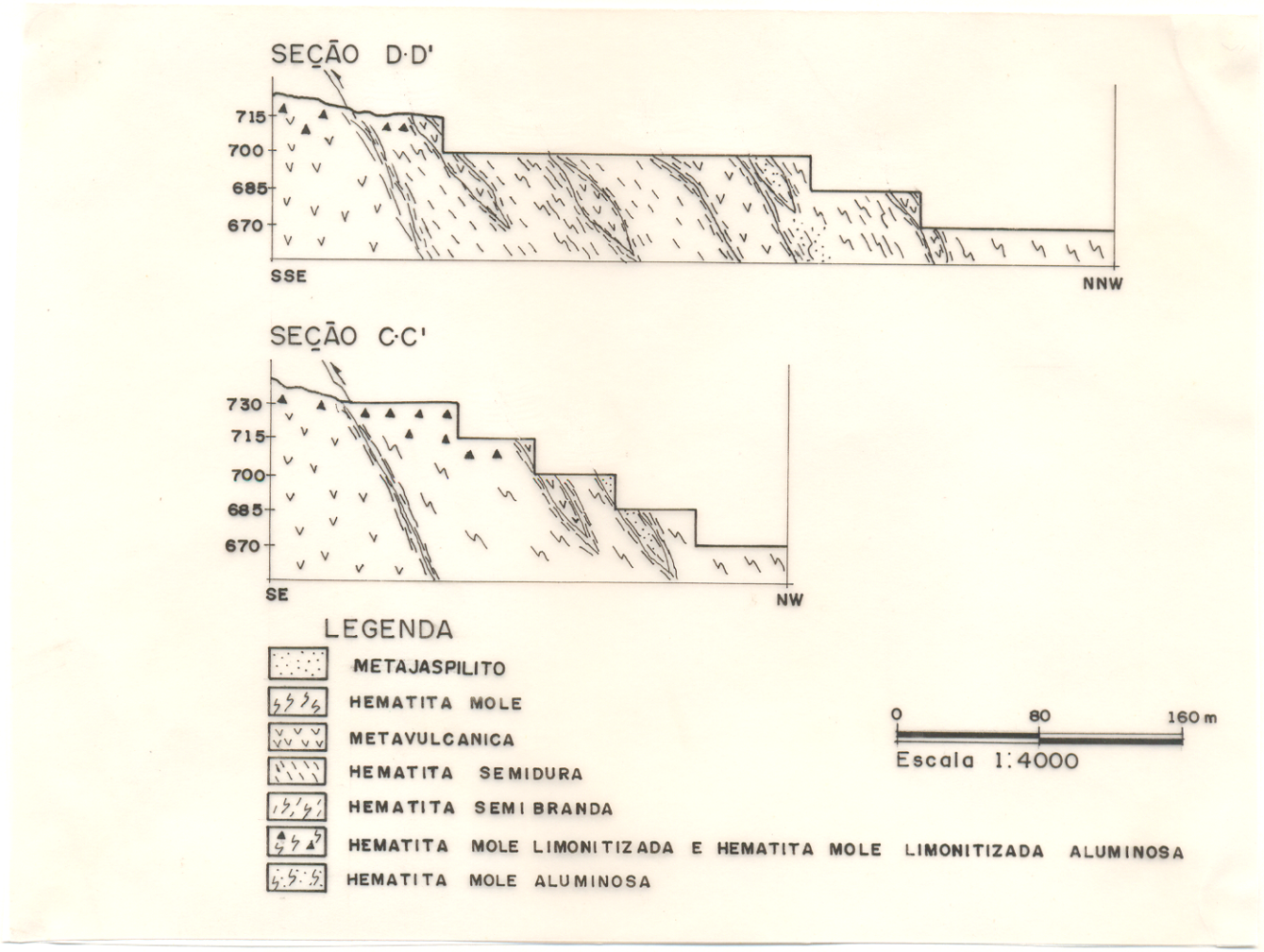


Fig. 4.28- Seções transversais à estruturação geral da jazida N4E - Aba Sul.

cataclase, em particualar na parte sul da Mina (porção sul), materializada por uma clivagem de fratura.

Na parte centro-norte da Mina (porção norte) individualizou-se uma zona de cisalhamento transcorrente dextral, orientada na direção NW-SE e que impõe rotação nos corpos de metajaspilitos, de itabirito compacto e de metavulcânicas.

No canto sudoeste da Mina há indicações da existência de uma zona de cisalhamento vertical orientada na direção N-S. Sua movimentação não foi definida, mas considerando a posição horizontal da lineação pode-se deduzir, pelo menos, que se trata de uma zona de cisalhamento transcorrente.

4.1.4 - Relações entre as Abas Leste e Sul

As principais unidades lito-estruturais presentes no contexto da Aba Leste estendem-se em direção à Aba Sul, por baixo da região onde se encontra o antigo escritório da Mina. Tal relação é corroborada através do mapa magnetométrico da jazida (Fig. 4.29), no qual o padrão amendoado das anomalias, reflexo da imbricação generalizada dos diversos corpos de minério, pode ser facilmente seguido nas duas Abas. No entanto, algumas diferenças são destacadas:

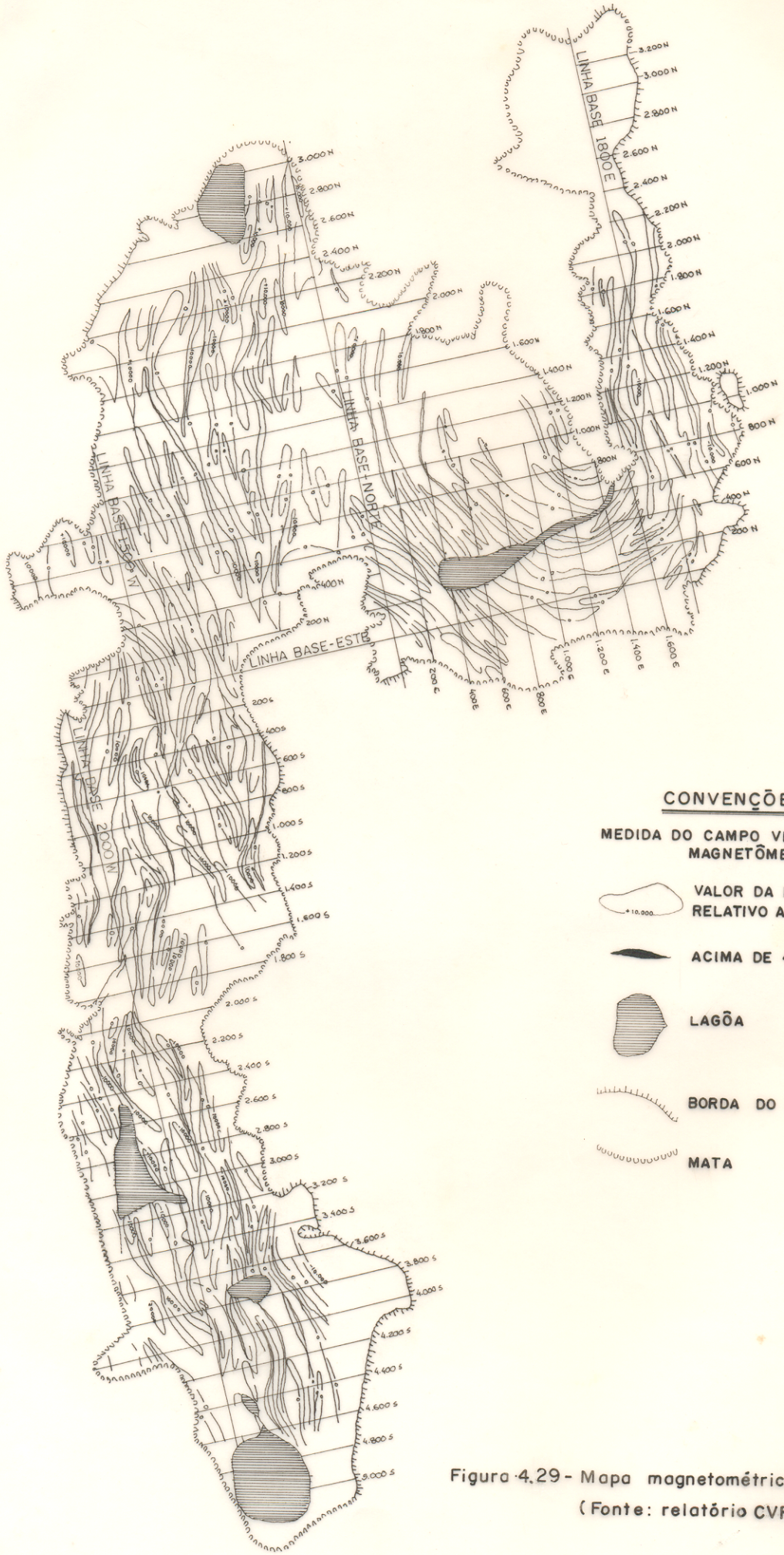


Figura 4.29 - Mapa magnetométrico da jazida N4.
(Fonte: relatório CVRD - 1972).

- A diferença mais fotogênica reside na orientação preferencial dos corpos rochosos, N-S e E-W nas Abas Leste e Sul, respectivamente. Porém, considerando a continuidade física entre os corpos, vê-se que as duas abas são flancos de uma dobra aberta, de dimensões quilométricas e com seu eixo inclinado para noroeste;

- as zonas de cisalhamento transcorrente dextrais, orientadas na direção NW-SE, aparecem em menor número na Aba Sul;

- os conjuntos de dobras orientados na direção NW-SE e desenhados pela foliação milonítica são vistos também na Aba Sul;

- há registro de intenso quebramento dos corpos mais competentes presentes na Aba Sul, provavelmente relacionado à maior competência nos processos deformativos;

- a porção sul da Aba Sul, composto essencialmente por hematita semidura e hematita semibranda, não se repete na Aba norte; e

- a quantidade de corpos de minério de hematita dura é bem mais significativa na Aba Leste.

4.1.5 - Relação entre os corpos N4E e N4W

Através do mapa magnetométrico do alvo N4 (Fig. 4.29) verifica-se que o padrão anastomosado das anomalias magnéticas existentes na região da mina de N4E se repete no ramo submeridiano N4W. Tal fato sugere que a forte imbricação dos corpos geológicos é previsível no contexto do corpo N4W.

É importante destacar também que as anomalias magnéticas da região de N4W desenham ondulações que podem ser descritas como dobras de arrasto, indicando a presença de várias zonas de cisalhamento dextrais orientadas na direção NW-SE, a exemplo das zonas de cisalhamento que ocorrem na Aba Leste do corpo de N4E. Vê-se, portanto, que a geometria geral em "dog leg" ou ziguezague pode ser visualizada também na região de N4W.

As informações alcançadas através das fotografias aéreas, do mapa magnetométrico e da geologia de campo, permitam que se discuta pelo menos três interpretações para que se avance no sentido de restaurar os movimentos cinemáticos responsáveis pela formação dos diversos produtos geológicos existentes na área.

Uma primeira alternativa de interpretação baseia-se nos trabalhos desenvolvidos pela CVRD/CMM (1972) que descrevem o corpo de N4 como um "N" assimétrico. Dessa forma, a

geometria pode ser interpretada como justaposição de um par antiformal-sinformal (interligação entre N4W e N4E), associados ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento transcorrente N-S, responsáveis pela mudança local da estruturação regional WNW-ESE da Serra Norte (Fig. 4.30). A estruturação em "N" resultaria em um binário dextral N-S com importante componente compressiva NE-SW associada (Fig. 4.31).

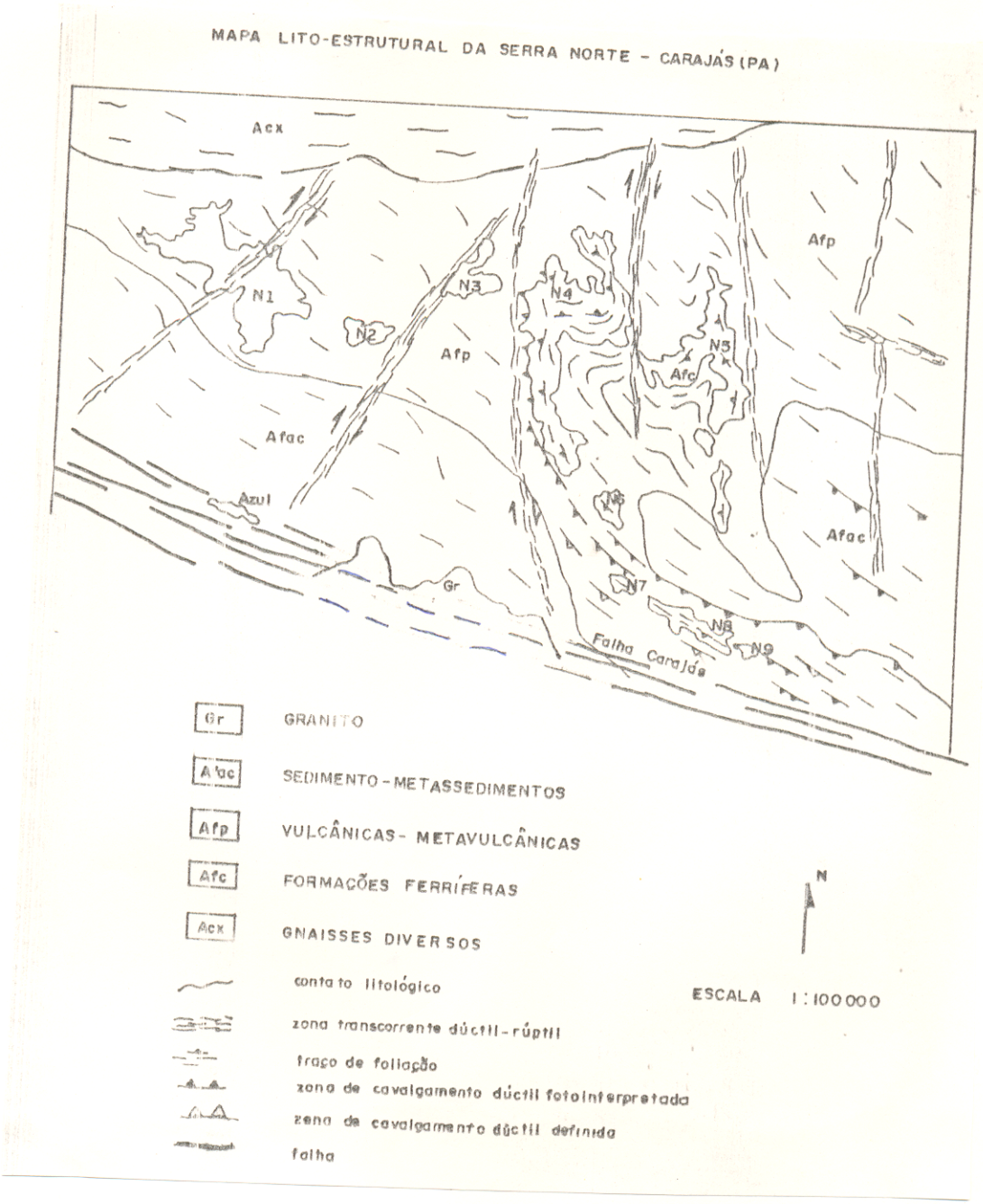


Fig. 4.30- Mapa geológico-estrutural da Serra Norte mostrando as zonas transcorrentes R' N-S seccionando a estruturação regional WNW-ESE.

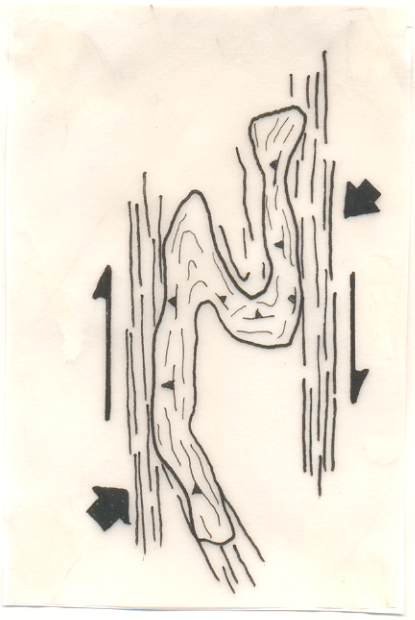


Fig. 4.31- Esquema do corpo de minério de ferro N4 submetido a um binário dextral N-S, com importante componente compressiva NE-SW.

Uma segunda alternativa pode ser colocada em discussão ao se considerar que os dados magnetométricos esboçam uma zona de cisalhamento N-S a oeste (que corresponderia ao corpo de N4E) e uma outra a leste de N4E; entre as duas zonas de cisalhamento transcorrente, o corpo de minério N4E desenha um "J" (Fig. 4.32A). Adimitindo as zonas transcorrentes N-S passando por N4W e a leste de N4E, pode-se concluir que o "J" corresponde a um grande arrasto entre as zonas de deformações concentradas.

Porém, os dados de geologia estrutural observados na mina de N4E (Anexo 1) aliados aos da magnetometria, em que se configura as duas zonas transcorrentes N-S a oeste (N4W) e a leste de N4E, mostram que a jazida de N4E pode ser entendida

como uma dobra em "S" invertido, explicada pela rotação horária no bloco como um todo (Fig. 4.32B). Ao se considerar esse terceiro modelo para a geometria das jazidas, alguns dados factuais observados no interior da mina podem ser melhor entendidos, como por exemplo a variação da foliação e da lineação de estiramento para o quadrante SW na porção sul da Aba Sul, além do caráter essencialmente dextral das zonas transcorrentes NW-SE e E-W, e da formação das dobras que ondulam o corpo.

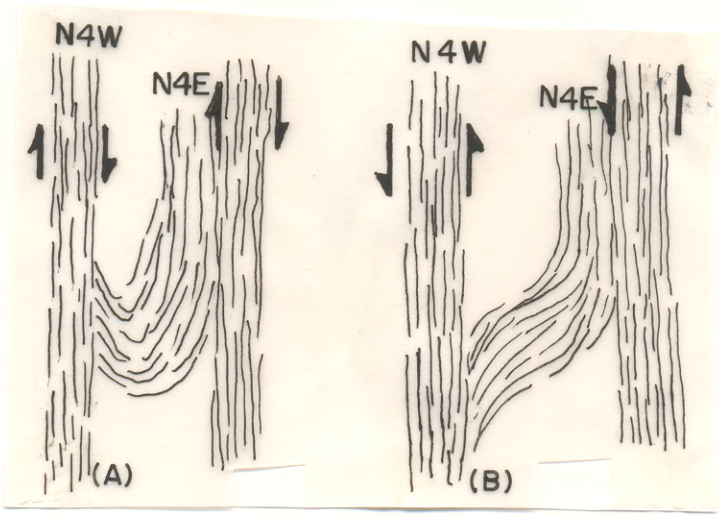


Fig. 4.32- Modelos interpretativos integralizando a geometria das jazidas N4W e N4E do corpo de minério de ferro N4. (A) Considera-se que os dados da magnetometria esboçam uma zona de cisalhamento N-S a oeste (N4W) e uma outra a leste de N4E. O corpo de minério desenha um "J". (B) Alternativa baseada em dados factuais, difere da primeira interpretação quando considera que o corpo N4E desenha um "S" invertido. Nesse caso as zonas de cisalhamento adjacentes teriam movimentação sinistral.

Em todos os casos apresentados, ao se restaurar os efeitos da movimentação transcorrente N-S, submeridiana, pode-se deduzir que a foliação milonítica e a lineação de estiramento impressas nas rochas do corpo de N4E se ajustam ao quadro estrutural regional descrito na Serra Norte (Araújo et al. 1988), porém deve-se considerar a possível existência de instabilidades internas no corpo de minério de ferro, a exemplo de feições de estricção ("pinch and swell") e ondulações. Tais instabilidades são observadas, por exemplo, no corpo S11. Na progressão da deformação, a movimentação diferencial submeridiana acentuou a ondulação e impôs rotação expressiva no corpo de N4E, resultando na geometria que se verifica atualmente.

4.1.6 - Integração dos Dados Estruturais

A análise dos elementos estruturais presentes na mina de N4E, em consonância com as informações disponíveis para a região da Serra Norte, permite que se visualize três conjuntos de estruturas principais que compõem o quadro geométrico-cinemático da área estudada.

O conjunto mais antigo compreende a foliação milonítica, as zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo, a lineação de estiramento oblíqua e as dobras associadas. Considerando a assimetria sinistral e a posição espacial da lineação de estiramento e removendo-se os efeitos da

rotação posterior, deduz-se que as estruturas desse conjunto se formaram a partir de um pulso cinemático responsável pelo transporte de massas rochosas de SW para NE, como já havia sido proposto por Araújo et al. (1988).

O segundo conjunto de estruturas se refere às zonas de cisalhamento transcorrentes dúcteis NW-SE, E-W e N-S que cortam e limitam o corpo de N4. A movimentação associada ao desenvolvimento dessas zonas de cisalhamento, impôs rotação horária importante no corpo de minério e subordinadamente, promoveu dobramentos nas estruturas mais antigas, bem como quebramento dos pacotes rochosos competentes na parte sul da Aba Sul.

O último conjunto de estruturas corresponde às dobras e cranulações presentes ao longo de todo corpo de minério.

Essas conjuntos de estruturas são interpretados no contexto de um único evento cinemático ou evento deformacional, ligado à atuação de um binário sinistral orientado na direção E-W. Assim, após a formação da zona de cavalgamento oblíquas em regime de transpressão, implantaram-se as zonas de cisalhamento dextrais dúcteis N-S, que correspondem as zonas R' ou zonas antitéticas, seguidas de movimentação sintética responsável pela formação das zonas de cisalhamento NW-SE e E-W, as quais devem ser entendidas como zonas P e Y = D,

respectivamente. Como último pulso dessa evento tectônico, aparecem as dobras e crenulações.

4.2 - Mina de Manganês do Azul

4.2.1 - Introdução

O depósito de manganês do Azul foi descoberto em 1971 pela Companhia Meridional de Mineração, durante a campanha de reconhecimento geológico voltada para a implementação do programa de pesquisa de minério de ferro.

O primeiro alvará de autorização de pesquisa da área foi concedido à Amazônia Mineração S/A-AMZA (1973-1977). Em 1982, a Companhia Vale do Rio Doce adquiriu a concessão de lavra do depósito e colocou-o em operação de produção no ano de 1985, a partir da implantação de uma unidade de tratamento de minério na própria área do Azul.

As pesquisas realizadas na área da jazida restringiram-se principalmente, a programas de sondagem e de poços, aliados a mapeamentos geológicos superficiais, através dos quais foram definidos os limites da área de ocorrência do minério.

Os trabalhos iniciais envolveram a execução de 158 poços com profundidade média de 16 m, os quais foram

mapeados e descritos na escala 1:50, e de 40 furos de sonda com amostragem em intervalos de 1 m e análises químicas para manganês.

O estudo dos dados de poços e furos de sonda permitiu a interpretação de seções verticais na escala de 1:500, distribuídas perpendicularmente em relação ao corpo mineralizado.

Os resultados dos trabalhos de pesquisa na área (Amazônia Mineração 1977, Valarelli et al. 1978, Silva 1988) definiram que o corpo mineralizado desenha uma estrutura anticlinorial assimétrica, orientada preferencialmente na direção E-W.

Trata-se de uma estrutura formada por dobras métricas a centimétricas, com anticlinais e sinclinais alternados regularmente. Falhas de alto ângulo com caráter de cavalgamento, também foram indicadas na área a partir da interpretação de fotografias aéreas e dados de sondagem.

Com relação aos tipos de rochas e de minérios, Bernardelli & Beisiegel (1978) definiram que a jazida de manganês encontra-se associada aos sedimentos pelíticos da parte superior da Formação Rio Fresco, os quais foram incluídos no Membro Azul. Apresentaram uma coluna estratigráfica que pode ser resumida da seguinte forma, da base para o topo:

- Siltitos e argilitos de cor cinza clara a preta, com espessura em torno de 65 m e menos de 14% de Mn;
- Unidade Manganesífera Inferior com 18 a 40 m de espessura e teor de Mn entre 21 a 26%; 50 m de siltito carbonoso cinza escuro a preto, com menos de 4% de Mn;
- Siltitos de coloração cinza e violeta, com espessura entre 17 a 44 m e menos de 5% de Mn;
- Unidade Manganesífera Superior com espessura entre 33 e 54 m e teor de Mn em torno de 15%; e
- Siltitos de cor marron a vermelho, com espessura superior a 70 m e 6% de Mn.

O mapa geológico/estrutural de superfície da mina de manganês do Azul (Anexo 2) foi obtido a partir dos dados de levantamentos topográficos, mapeamentos geológicos e informações dos poços e furos de sonda, em escala 1:4000, reduzido para 1:8000.

O mapa geológico correspondente à área de operação de lavra da jazida no mês de dezembro/89, mostra o avanço dos desmontes já realizados na área.

A exemplo da mina de ferro N4E, a distribuição em superfície dos minérios muda à medida em que novas frentes de lavra são abertas, porém a atitude geral dos elementos

estruturais e as características geológicas dos minérios têm sido mantidas.

4.2.2 - Unidades Litológicas

As discussões acerca do posicionamento estratigráfico e caracterização litológica dos vários tipos de minérios manganesíferos observados na área da jazida basaiam-se, em grande parte, nos estudos apresentados por Valarelli et al. (1978).

Os minérios manganesíferos do depósito foram classificados em três tipos: Protominérios, Depósitos Superficiais e Depósitos Subsuperficiais.

Os Depósitos Superficiais são representados por pisolitos, blocos, plaquetas e brechas manganesíferas, que segundo Valarelli et al. (op.cit.), são materiais estruturados em superfície, devido à ação dos agentes intempéricos, às condições topográficas e às variações no lençol freático.

Os pisolitos manganesíferos (PIS) correspondem a um material argiloso superficial, que após a lavagem apresentam teores que variam de 14 a 18% de Mn. Os blocos manganesíferos (BL) e plaquetas manganesíferas (PLT) ocorrem associados e constituem os materiais superficiais mais ricos em manganês, com os teores variando de 48 a 54% nos blocos e de 40 a 50% de Mn nas plaquetas. As brechas manganesíferas (BLM) correspondem a

uma crosta superficial, cujos teores em manganês variam bastante, podendo atingir até 50% de Mn quando o cimento é preferencialmente manganesífero.

Os Depósitos Subsuperficiais são constituídos essencialmente pelas unidades manganesíferas intemperizadas e enriquecidas, preservando ainda sua estruturação original (estratificação). São classificadas em : Pelitos Manganesíferos, material Manganesífero Granulado, Material Manganesífero Maciço, Siltitos Impregnados de Manganês e Siltitos Enriquecidos em Manganês.

Os pelitos manganesíferos (PM) são formados por estratos alternados de material manganesífero, com níveis de material argiloso. O material manganesífero granulado (MMG) corresponde ao minério rico de Carajás, de propriedades aletrolíticas, de grande valor econômico e com teores de manganês acima de 43%. O material manganesífero maciço (MMM) possui teores próximos de 45%, porém, sua importância econômica é pequena por apresentar-se restrito a finos leitos contidos em siltitos estéreis. Os siltitos impregnados de manganês (SIM), ocorrem sob a forma de concreções ou finas lâminas manganesíferas interestratificadas, com teores de Mn entre 8 e 10% e sem importância econômica. Os siltitos enriquecidos em manganês (SRM) não diferem geneticamente dos pelitos manganesíferos; são constituídos de estratos milimétricos caulínicos-silticos intercalados com laminas de mesma espessura

de material manganesífero; possuem teores entre 12 e 17% Mn e só adquirem importância econômica quando são considerados em conjunto na exploração dos PM ou dos MGR.

Os Protominérios representam as Unidades Manganesíferas inalteradas, onde se reconhecem duas unidades primárias : a Unidade Manganesífera Superior definida como uma marga manganesífera e a Unidade Manganesífera Inferior representada por uma rocha carbonática manganesífera.

O estágio atual de exploração do minério permite observar, nas frentes de lavra, tipos litológicos relacionados aos níveis mais inferiores, o que tem ajudado sobremaneira os estudos mais detalhados de descrições mesoscópica do corpo mineralizado.

4.2.2.1 - Distribuição e Classificação das Unidades Litológicas ao Longo do Corpo Mineralizado

O depósito de manganês do Azul corresponde a um corpo alongado de direção variando de N75W a E-W, com aproximadamente 4.500 m de extensão por 50 a 300 m de largura.

O mapa geológico de superfície elaborado pela CVRD, mostra a distribuição em faixas contínuas e descontínuas ou em manchas irregulares e isoladas dos vários tipos de

minérios, classificados como Depósitos Superficiais por Valarelli et al. (op.cit.) (Anexo 2).

A lavra está sendo realizada, atualmente, na parte central da jazida, compreendida entre as linhas LT00 e LT800E, ordenada em bancadas de 4 m de altura, entre os níveis 548 e 488, geralmente paralelas ao comprimento maior do corpo mineralizado (E-W) e com algumas bancadas dispostas perpendicularmente à esta direção.

Seguindo a classificação proposta por Valarelli et al. (op.cit.), foram identificados os seguintes conjuntos litológicos:

1) Depósitos Superficiais: Pisolito (PIS), blocos (BL), plaquetas (PLT) e brechas manganesíferas (BLM).

2) Depósitos Subsuperficiais: Pelitos manganesíferos (PM), material manganesífero granulado (MMG) e material manganesífero maciço (MMM).

Para efeito de lavra e utilização no mercado, a CVRD reclassifica os minérios manganesíferos, de acordo com sua granulometria, em:

- Minério rico ou granulado correspondendo a um minério eletrolítico, não metalúrgico, que nas frentes de lavra são designados bióxidos de manganês natural de Carajás (BMNC);

- Minério pelítico considerado metalúrgico e corresponde aos pelitos manganesíferos; e
- Minério detrítico, também metalúrgico, constituído de blocos, plaquetas e brechas manganesíferas.

Outras denominações para os minérios são utilizados na jazida, visando a sua melhor classificação para efeito de lavra, a saber: Transição de minério metalúrgico para bióxido (TR) e transição para detrítico (TRD).

4.2.2.2 - Caracterização dos Tipos Litológicos

Os vários tipos de minérios de manganês descritos e reconhecidos na área da mina do Azul apresentam-se, no geral, como rochas bastante friáveis e/ou quebradiças, com algumas exceções, maciças, constituídas a base de materiais manganesíferos, o que torna difícil a análise através dos procedimentos petrográficos de rotina.

Por esse motivo, não foi possível confeccionar seções delgadas das variedades de minério, ficando suas descrições limitadas ao nível de observação mesoscópica.

- Pisolitos Manganesíferos

Correspondem a mineralizações de material argiloso superficial, com formas de pequenas esferas, cujo

diametro pode variar entre 2 a 10mm. Estas pequenas esferas possuem coloração marrom-avermelhada e são bastante compactas (Fig. 4.33).



Fig. 4.33- Pisolitos manganesíferos de coloração marrom-avermelhada da mina de manganês do Azul.

São constituídas por um núcleo escuro manganesífero, essencialmente de criptomelana, e externamente apresentam uma carapaça constituída de gibbsita, caolinita e goethita.

Aparecem prioritariamente nas regiões de topografia mais baixa ou em dispersões locais.

- **Minério Detrítico**

Compreende os blocos, plaquetas e brechas manganesíferas, com coloração azul-avermelhada, dispostos superficialmente e sem orientação em meio a uma matriz argilosa.

Dentro das especificações granulométricas atualmente utilizadas pela CVRD, para comercialização, estes minérios são os que não geram "granulados", ou seja, apresentam uma curva granulométrica muito "fina" e com baixa recuperação.

Os blocos manganesíferos são rochas maciças e apenas localmente apresentam relictos de estratificação; são muito densas, com formas irregulares e de dimensões que variam de poucos centimetros até 2 m e em superfície geralmente ocorrem em meio a uma matriz argilosa, pouco representativa.

As plaquetas manganesíferas ocorrem associadas aos blocos e pisolitos, e correspondem a fragmentos lamelares de 3 a 5 cm de comprimento por 0.5 a 2 cm de espessura. São duros, densos e com freqüentes vestígios de estratificação. A matriz argilosa que envolve as plaquetas representa cerca de 10 a 35% em peso.

As plaquetas estão distribuídas aleatoriamente em superfície, mas ganham orientação nas adjacências dos contatos com os pelitos manganesíferos ou minério eletrolítico, na mesma direção dos planos de estratificação. Neste ponto, caracteriza o chamado TRD, que corresponde a uma subdivisão do minério detrítico, após testes de caracterização.

A brecha laterítica manganesífera é constituída por fragmentos de blocos e plaquetas, cimentados por soluções ferruginosas e manganesíferas. Ocorrem como crostas superficiais ou como corpos tabulares em subsuperfície.

- Pelitos Manganesíferos ou Minério Pelítico

Constituem um pacote de rochas bastante alterados, de coloração cinza escuro, friáveis que mantêm a estratificação rítmica original caracterizada pela alternância de leitos escuros manganesíferos com leitos esbranquiçados, argilosos e caoliníticos mais friáveis.

Nas exposições mais recentes deste pacote, observa-se um pelito pouco endurecido na base, que se torna mais resistente em direção ao topo, onde a coloração é mais escura em virtude da baixa porcentagem de níveis argilosos.

- Material Manganesífero Granulado ou Minério Rico

Trata-se de uma rocha friável, de coloração marrom escura a azulada. Corresponde a uma camada com espessura média de 15 m, situada abaixo do pacote de minério pelítico.

O minério apresenta-se sob a forma de granulado, placóide ou maciço. Quando granulado, mostra um arranjo de vazios entre plaquetas muito desenvolvido, com as paredes dos vazios recobertas por saliências estalactiformes. Em estágio avançado de desenvolvimento dos vazios, o material se torna friável, gerando uma matriz pulverulenta negra contendo grânulos angulosos.

Grande parte do minério tem aspecto placóide friável, fragmentando-se em placas de 10 a 20 cm, também friáveis. Quando maciço, o minério apresenta-se em blocos centimétricos, muito endurecidos de coloração cinza metálico.

Estruturalmente, são definidos por uma estratificação plano-paralela preservada, com mergulhos moderados de 20 a 35º (Fig. 4.34).

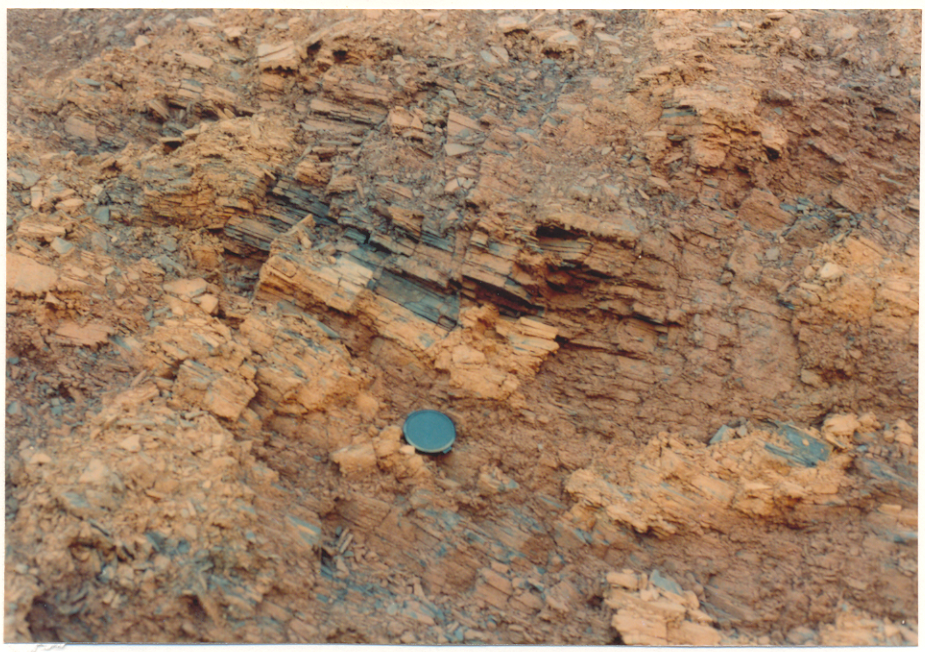


Fig. 4.34- Material magnesífero granulado ou minério rico, mostrando os planos de estratificação com mergulhos suaves, em torno de 20 a 35º.

Os estratos formam dobras centimétricas, interrompidas frequentemente por estreitas zonas de clivagem de crenulação, que podem alcançar 1 m de comprimento por 20 a 30 cm de largura. Estas dobras menores (centimétricas) formam em conjunto, dobramentos maiores de dimensões métricas ao longo do minério

4.2.3- Estruturas

As interpretações acerca da geometria da mina do Azul estão baseadas, sobretudo, nos dados de poços e furos de sonda realizados durante o período de exploração do minério pela Amazônia Mineração (1977) e, nos levantamentos de mapeamento geológico sistemáticos feitos durante o trabalho nas frentes de lavra.

As pesquisas iniciais proporcionaram a elaboração de mapas e seções geológicas que mostram a distribuição em superfície e subsuperfície dos diversos tipos de minério de manganês e os principais elementos estruturais observados. Com base nesse mapa (Anexo 2) e nas seções verticais deduzidas a partir da análise das diversas medidas de poços e furos de sonda, pode-se destacar os seguintes pontos:

- a jazida corresponde a um corpo alongado preferencialmente na direção E-W. Os principais tipos de minério dispõem-se em

faixas contínuas a descontínuas que acompanham a forma do corpo;

- o corpo mineralizado, em mapa, representa um pacote de rochas sedimentares, com dobras métricas a centimétricas associadas a zonas de cavalgamento,principalmente na parte sul da jazida (Anexo 2);

- as dobras definem estruturas antiformais e sinformais assimétricas de eixo E-W, como mostra as seções verticais (N-S) das linhas LT400E, LT800E e LT1600E (Fig. 4.35 A,B e C), obtidas a partir dos dados de poços e furos de sonda. Os flancos apresentam mergulhos suaves e abertos, sendo que os flancos do lado norte geralmente são mais empinados e isópacos, no geral;

- observa-se nestas seções, que na parte sul do corpo mineralizado, os dobramentos estão intimamente associados a cavalgamentos orientados paralelamente aos eixos ou planos axiais das dobras (E-W). Tais planos de movimentação impõem deslocamentos consideráveis nos pacotes manganesíferos, colocando em contato camadas de natureza distintas (Fig. 4.35 B);

- importantes falhamentos N-S foram fotointerpretados e constatados em campo (Amazônia Mineração 1977) como por exemplo, a falha que condicionou o traçado do Igarapé Boa

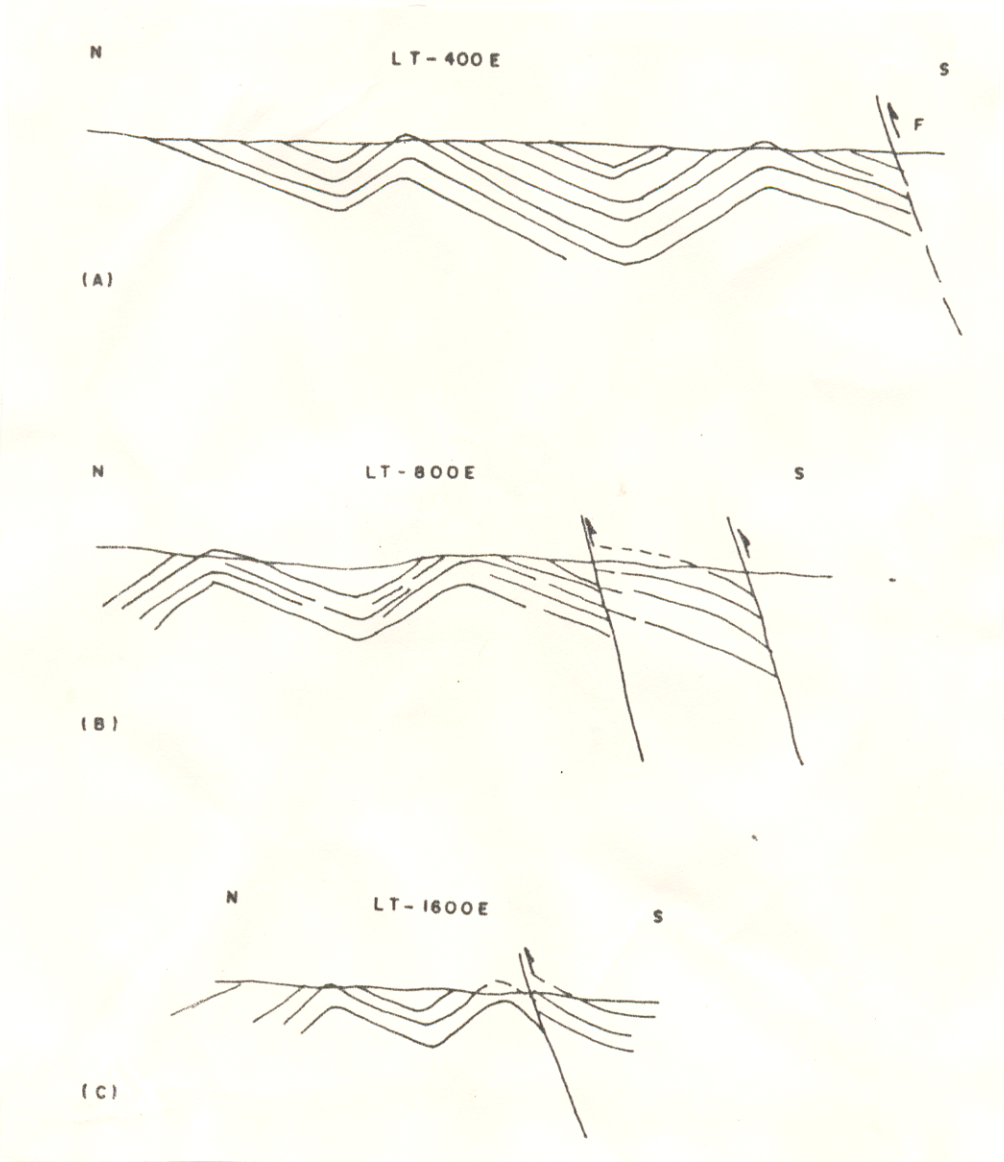


Fig. 4.35- Seções verticais interpretados a partir dos dados de furo de sonda.

Sorte, além de duas falhas que truncam a jazida em seus extremos oriental e ocidental. A falha do Igarapé Boa Sorte separa a parte central da jazida da parte ocidental e é caracterizada por alta densidade de lineamentos de relevo e de drenagem.

Com os avanços da exploração do minério na parte central da jazida, foi possível definir, a nível mesoscópico algumas feições estruturais que são melhor observadas no minério detrítico e no minério rico (bióxido).

Na escala métrica, estes minérios apresentam dobras desenhadas pela estratificação plano-paralela. Tratam-se de dobras abertas, assimétricas, com planos axiais geralmente orientados aproximadamente na direção E-W, seus flancos têm espessuras uniformes e são freqüentemente interrompidos por zonas de cavalgamento menores (métricas a centimétricas), paralelas aos planos axiais (Figs. 4.36 e 37).

é comum o desenvolvimento de uma clivagem de fratura nos minérios detrítico, rico e TRD (transição para detrítico), mergulhando em torno de 40 a 65° predominantemente para SW e W e subordinadamente para NW (Fig. 4.38). As dobras associadas são apertadas, mostram espessamentos dos ápices e podem ser simétricas ou assimétricas (Fig. 4.39). Seus flancos geralmente estão interrompidos por pequenas zonas de

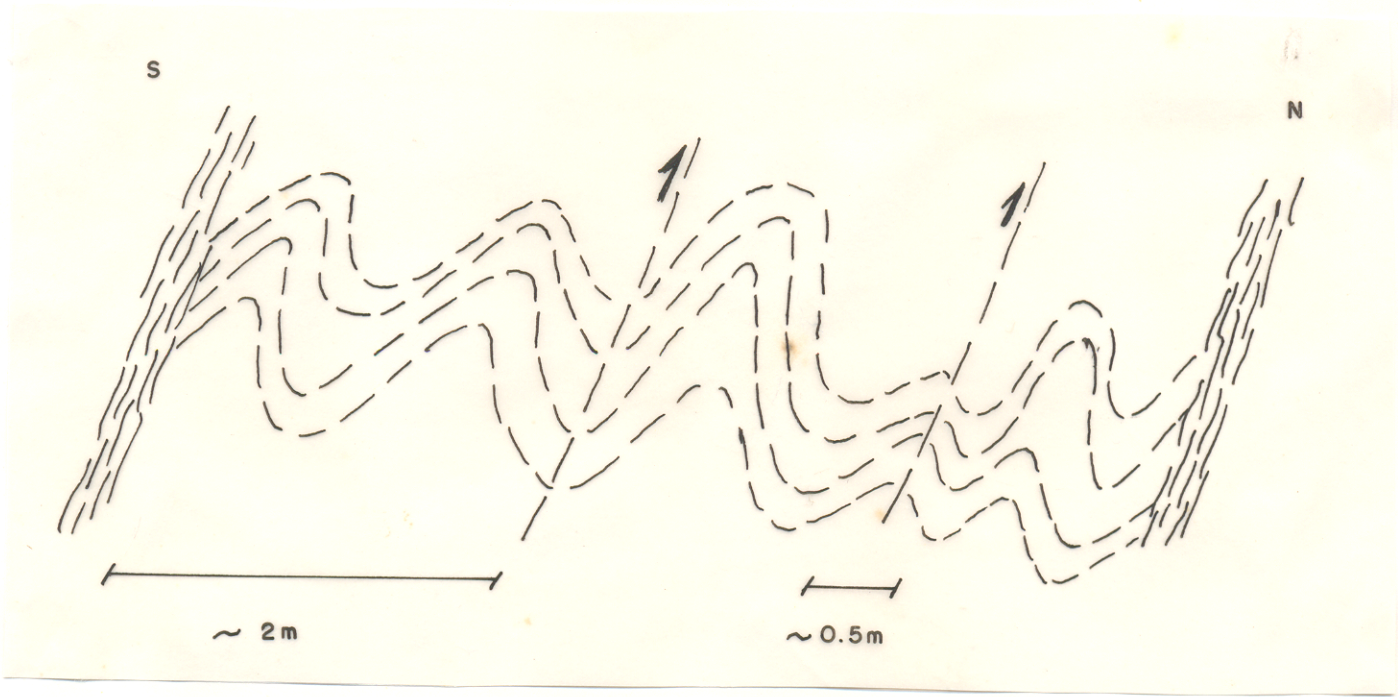


Fig. 4.36- Perfil esquemático N-S no minério de bióxido mostrando dobras métricas, assimétricas cortadas por zonas de cavalgamento, centimétricas a métricas (E-W).



Fig. 4.37- Perfil da uma zona de cavalgamento métrica no minério de detrítico.



Fig. 4.38- Clivagem de fratura no minério detrítico.



Fig. 4.39- Crenulação no minério de bióxido.

transposição (centimétricas) e seus eixos são inclinados de 10 a 20º predominantemente para NW e W.

No contexto da Serra Norte, as feições estruturais observadas na mina do Azul acompanham o trend geral WNW-ESE, que caracteriza o aspecto anastomosado das várias unidades litológicas da região.

Os tipos de deformações observadas na mina devem corresponder, em menor proporção, as mesmas observadas no ferro, porém, as feições mais rúpteis a rúptil-dúcteis no sul da mina, se ajustam ao segmento curvo (NW-SE) do duplex compressivo da falha Carajás (Gouvêa 1990) que passa imediatamente a sul da jazida.

CAPíTULO 5

RELAÇÃO DAS ESTRUTURAS DAS JAZIDAS N4E E AZUL COM O ARCABOUÇO ESTRUTURAL REGIONAL

A estruturação interna da jazida N4E é formada por corpos lenticulares e camadas irregulares de metajaspilitos, itabirito compacto e metavulcânicas (e intrusivas) envolvidas por pacotes expressivos de itabirito friável. Tais termos petrográficos são caracterizados estruturalmente por um bandamento composicional paralelo a xistosidade e à foliação milonítica. Nas regiões de contato entre os diversos tipos litológicos há indicação de concentração de movimentação, permitindo que se fale, localmente, em zonas de transposição, as quais poderiam compor um sistema imbricado. A lineação de estiramento associada tem orientação geral NW-SE, com desvios para N-S e NE-SW. Tais estruturas foram geradas, provavelmente, em condições de fácies anfibolito baixa a xisto verde e experimentaram importante rotação na progressão da deformação, decorrente da instalação de zonas transcorrentes submeridianas, resultando na estrutura em "J" que se observa na mina. O quadro estrutural torna-se ainda mais complexo em função da presença de zonas de cisalhamento na direção NW-SE e E-W, que afetam todos os conjuntos de estruturas mais antigas. As intrusivas são posteriores.

Na jazida do Azul as estruturas sedimentares (So) dos diversos pacotes de rochas desenham dobras hectométricas a centimétricas, orientadas preferencialmente na direção E-W e associadas a cavalgamentos fortemente inclinados para o norte. Há indicações também, nesta região, de falhas orientadas nas direções N-S e NE-SW cuja natureza da movimentação ainda não foi definida.

Conforme se mostrou nos capítulos 2 e 3, a estruturação divergente da Serra dos Carajás corresponde a uma estrutura em flor positiva ligada à atuação de um binário sinistral orientado na direção E-W (Araújo et al. 1988). O seu arranjo geométrico é composto por zonas de cisalhamento dúcteis e dúctil-rúpteis nas bordas e no centro respectivamente, além de zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis dextrais submeridianas que modificam localmente a estruturação regional (Araújo & Maia 1990; Costa et al. 1990a). No contexto da evolução dessa macroestruturação, a falha Carajás é entendida como uma zona de cisalhamento P tardia (Costa et al. 1990b).

A jazida de N4E e do Azul estão situadas na borda norte e na parte centro-norte da macroestruturação divergente, respectivamente.

Dos aspectos abordados pode-se deduzir que:

- a foliação milonítica e os planos de forte movimentação impressos nas rochas da jazida N4E podem ser seguidos nas bordas norte e sul da estruturação divergente;

- a estruturação geral em "J" da jazida N4E deve estar intimamente associada com a presença de zonas transcorrentes N-S, comparáveis as zonas dextrais existentes nas adjacências de Curionópolis (Costa et al. 1990a), na jazida S11 (Araújo & Maia 1990; Gouvêa 1990) e nas proximidades de São Félix do Xingu (Macambira & Vale, no prelo), as quais têm sido interpretadas como feições antitéticas ou R' do binário sinistral E-W;

- a lineação de estiramento na jazida N4E tem orientação geral NW-SE, mas ganha orientação NE-SW, fora dos domínios das zonas transcorrentes N-S, mergulhando para NE e SW nas bordas S e N da estruturação divergente, respectivamente. Nesse caso, removendo-se a rotação horária do corpo N4E a lineação de estiramento se ajustará ao padrão do quadro regional;

- as zonas de cisalhamento NW-SE e E-W que afetam todas as estruturas mais antigas da jazida N4E devem ser similares as zonas P e Y tardias na evolução da estrutura em flor positiva; e

- os cavalgamentos e as dobras associadas presentes na jazida do Azul são correlacionáveis as estruturas observadas em

outros pontos na parte central da estrutura divergente, em particular na estrada que leva à mina do Igarapé Bahia. No momento, não se elimina a possibilidade de tais estruturas estarem relacionadas ao segmento compressivo da falha Carajás que passa imediatamente a sul da mina do Azul.

Vê-se, portanto, que as áreas investigadas nesta dissertação são frações particulares de uma estrutura transcorrente maior, cuja complexidade da evolução estrutural é inerente a própria natureza do sistema transcorrente. Em outras palavras, além das alternâncias de pulsos transtensivos e transpressivos, previsíveis na evolução de um sistema transcorrente, podem também se formar zonas P, R, R',Y, e T em qualquer instante na progressão da movimentação.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Os estudos de análise estrutural nas minas de N4E e do Azul, de interpretação dos diversos produtos de sensores remoto em escala regional e de integração do acervo bibliográfico disponível permitiram que fossem alcançadas as seguintes conclusões:

1- A ocorrência sob a forma de lentes dos corpos de metajaspilitos, de itabirito compacto e de metavulcânicas em meio as rochas de itabirito friável e a presença de uma foliação (bandamento composicional, xistosidade e foliação milonítica), com uma lineação de estiramento associada, indicam a incidência de um processo de cisalhamento generalizado na região da jazida de N4E;

2- As relações entre os principais tipos litológicos existentes nas Abas Leste e Sul da mina de N4E são gradacionais. Não é possível estabelecer o empilhamento estratigráfico da região, uma vez que a forte transposição associada ao processo de milonitização modificou de modo importante as relações espaciais originais dos diferentes corpos geológicos;

3- A evolução estrutural da mina de N4E é entendida a partir de três etapas principais de formação de estruturas, relacionadas a um único evento deformacional. A etapa mais antiga proporcionou a lenticularização dos corpos geológicos, a foliação, a lineação de estiramento, as zonas de deformação concentrada e as dobras associadas. A etapa seguinte se refere a implantação de zonas de cisalhamento transcorrentes dúcteis NW-SE, E-W e N-S que cortam e limitam o corpo de N4. A movimentação associada ao desenvolvimento dessas zonas de cisalhamento, impôs rotação horária importante no corpo de minério e subordinadamente, promoveu dobramentos nas estruturas mais antigas. A terceira etapa corresponde às dobras e crenulações presentes ao longo de todo corpo de minério;

4- A geometria da jazida do Azul é definida por um conjunto regular de dobras de So orientadas na direção E-W, associadas a zonas de cavalgamento fortemente inclinadas para norte. Uma clivagem de fratura, paralela aos planos axiais das dobras, pode ser descrita em vários locais da jazida. Tratam-se de estruturas de níveis crustais superiores que contrastam com a natureza das estruturas existentes na jazida de N4E;

5- As estruturas evoluiram a partir de um binário sinistral E-W responsável pela formação da estrutura em flor positiva da Serra dos Carajás. No âmbito desta macroestruturação a

jazida de N4E situa-se na borda norte onde dominou intensa deformação por milonitização e a jazida do Azul encontra-se na parte centro-norte onde começa a prevalecer o comportamento rúptil das rochas. Nessa ótica, após a implantação do sistema imbricado sinistral na jazida N4E houve movimentação antitética, materializada pelas zonas transcorrentes dextrais N-S (R'), que impuseram ondulação no corpo de minério, seguido de movimentação sintética responsável pela formação das zonas de cisalhamento sinistrais NW-SE e E-W, as quais devem corresponder a zonas P e Y, respectivamente. A deformação nas rochas da jazida do Azul podem estar relacionadas a primeira fase de movimentação da história evolutiva da macroestruturação divergente, mas não se descarta, no momento, a interpretação que a relaciona ao desenvolvimento da falha Carajás;

6- A análise do quadro estrutural regional permite sugerir que as estruturas miloníticas existentes nas rochas da jazida de N4E devem estar presentes nas demais jazidas de ferro da região de Carajás. Pode-se prever também que a geometria descrita na jazida do Azul deve dominar na parte central da macroestruturação divergente.

CAPíTULO 7

REFERêNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARAÓJO, O.J.B. & MAIA, R.G.N. 1990. Folha Serra dos Carajás. Programa Grande Carajás. Conv. DNPM/CPRM (Relat. inéd.).

ARAÓJO, O.J.B ; MAIA, R.G.N.; JOAO, X.S.J.; COSTA, J.B.S. 1988. A megaestruturação da folha Serra dos Carajás. In: CONGR. LATINOAMER. GEOL., 7, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG, p. 324-338.

AMAZÔNIA MINERAÇAO. 1977. Projeto Azul. Belém, 5 V. (Relatório Final de Pesquisa).

BARBOSA, O.; RAMOS, A.; GOMES, F.; HEMBOLD, L. 1966. Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da Area Projeto Araguaia. Rio de Janeiro, DNPM. 94p. (Monografia 19).

BASEI, M.A.S. 1978. O vulcanismo ácido-intermediário na região amazônica. In: CONG. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, V.6, p. 2408-2422.

BEISIEGEL, V.R.; BERNARDELLI, A. L.; DRUMMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. 1973. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. Rev. Bras. Geoc. 3(4):215-242.

BEISIEGEL, V.R. 1982. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1, Belém, 1982. Anais...Belém, SBG. NO. Anexo, p.21-46.

BERNARDELLI, A.L. & BEISIEGEL, V.R. 1978. Geologia econômica da jazida de manganês do Azul. In: CONG. BRAS. GEOL.,30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, V.4, p. 1431-1444.

CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K. 1984. A Serra dos Carajás como Região Limítrofe entre Províncias Tectônicas. Ciências da Terra, 9:6-11.

COSTA, J.B.S.; PINHEIRO, R.V.L.; JOÃO, X.S.J.; ARAÞJO, O.J.B. 1990 a. Esboço estrutural do Proterozóico Médio da Amazônia Oriental (inédito).

COSTA, J.B.S.; GOUVÊA, J.L.; SOARES, A.D.V. 1990 b. A falha Carajás é Arqueana? VII Semana de Seminários CPGG. Resumo (inédito).

CVRD/CMM. 1972. Distrito Ferrífero de Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL.,26, Belém, 1972. Resumo das Comunicações, Boletim no. 2, Belém, SBG. p. 78-80.

DALL'AGNOL, R. 1982. Estudo comparativo de alguns maciços graníticos pós-Transamazônicos da Amazônia Oriental. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Salvador, 1982. Anais...Salvador, SBG, V 2, p. 500-513.

DOCEGEO. 1987. Lithostratigraphic review of the Carajás District and Southern Pará-Brazil. In: IGCP Project 204. Final meeting of the working group. Carajás. Extended abstract. p.11-19.

DOCEGEO. 1988. Revisão Lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congr. Bras. Geol.,35. Belém, 1988. Bol. Esp. Belém, SBG, p.11-54.

FIGUEIRAS, A.J.M. & VILLAS, R.N.N. 1984. Estudo Petrológico e Sedimentológico da Sequência Clástica (pós-Grupo Grão-Pará) da Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG. V.2, p.832-846.

GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; OLSZEWSKI JR., W.I. 1986. Age and Composition of the Grão Pará Group Volcanics, Serra dos Carajás. Rev. Bras. Geoc., 16(2): 201-211.

GOMES, C.B.; AMARAL, G.; KAWASHITA, K.; GIANCURSOI, F. 1971. Geocronologia da Área de Carajás. PA. In: CONG. BRAS. GEOL. 25, São Paulo. Resumo das Comunicações. São Paulo, SBG. p.162-163.

GOMES, C.B.; CORDANI, V.G.; BASEI, M.A.S. 1975. Radiometric Ages from the Serra dos Carajás Area, Northern Brazil. Geological Society of America Bulletin, 86: 939-942.

GOUVêA, J.L. 1990. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas em pesquisas geológicas na Amazônia (Região de Carajás). São José dos Campos, 150 p. (Dissert. Mestr. INPE).

HIRATA, W.K.; RIGON, I.C.; KADEKARU, K.; COPRDEIRO, A.A.; MEIRELES, E.M. 1982. Geologia da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1, Belém, 1982. Anais...Belém, SBG, V.1, p. 100-110.

KNUP, P.E. 1971. Reconhecimento Geológico na Região dos Rios Itacaiúnas e Tocantins, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 25, Sao Pauklo, 1971. Resumo das Comunicações. São Paulo, SBG. p. 61-62.

LADEIRA, E.A. & CORDEIRO, J.R.C. 1988. Jazida N4E: Reavaliação dos Corpos de Hematita Dura e Metajaspilitos. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. Anais...Belém, SBG. Anexo, p. 55-69.

LIANDRAT, E. 1972. Reconhecimento ao Longo dos Rios Itacaiúnas e Parauapebas, município de Marabá, Estado do Pará. Rev. Bras. Geografia (34): 165-184.

MACAMBIRA, J.B.; RAMOS, J.F. da F.; ASSIS, J.F.P.; FIGUEIRAS, A.J.M. 1990. Projeto Serra Norte-Convênio SEPLAN/DOCEGEO/ UFPA. Projeto Pojuca-Convênio DNPM/DOCEGEO/UFPA. Belém, 150p.

MACAMBIRA, J.B. & VALE, A.G. 1990. Projeto São Félix do Xingu. Programa Grande Carajás. Conv. DNPM/CPRM (Relat. inéd.).

MATTA, M.A.S. & TEIXEIRA, N.P. 1990. Mapeamento e Análise Estrutural das Unidades Lito-Estruturais aflorantes na região do Platô N-5, Serra Norte/Carajás, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. Anais... Natal, SBG, V 5, p. 2309-2320.

McCLAY, K.R. 1987. The Mapping of Geological Structures. 1 ed. London, Handbook Series, 162 p.

MEDEIROS NETO, F.A. & VILLAS, R.N.N. 1985. Geologia da Jazida de Cu-Zn do Corpo 4E- Pojuca, Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ, 2, Belém, 1985. Anais...Belém, SBG- Núcleo Norte, V. 3, p.97-112.

MEYER, D.J. & FARIAS, N.F. 1980. O Depósito de Cobre Salobo 3 alfa- Serra dos Carajás. In: CONG. GEOL. AMAZ., 31,Camboriú-SC, 1980. Anais...Camboriú-SC. SBG. Resumo das comunicações. Bol. 2. p.382.

RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1983. The Techniques of modern structural geology. London, Academic Press, V. 1.

RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1987. The Techniques of modern structural geology. London, Academic Press, V. 2.

SANTOS, B.A. 1981. Amazônia: Potencial Mineral e Perspectivas de Desenvolvimento. São Paulo, Ed. da USP. 256p.

SANTOS, M.D. 1978. Contribuição à Petrologia do Granito Central da Serra dos Carajás - Pará. Belém, UFPA, 21 p. (manuscrito).

SANTOS, J.O.S. & LOGUéRCIO, S.O.C. 1984. A parte meridional do craton Amazônico (Escudo Brazil-Central) e as bacias do Alto Tapajós e Parecis- Alto Xingu. In: SCHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.). Geologia do Brasil. p. 93-127.

SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.; GUIMARAES, G. 1974. Geologia da Folha SB-22 Araguaia e parte da JC-22 Tocantins. In: BRASIL-MME. Projeto RADAMBRASIL, Lev. Rec. Nat. Rio de Janeiro, DNPM, V 4,, p I/2-I/143.

SILVA, J.L. 1988. Mina de Manganês do Azul. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG. Anexo, p. 71-94.

SIMPSON, C. 1986. Determination of Moviment Sense in Milonites. Jour. of Geol. Educ., 34:246-261.

SOARES, P.C. & FIORI, P.A. 1976. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Notícias Geomorfológicas. Campinas. 16(32): 71-104.

TASSINARI, C.C.G.; HIRATA, W.K.; CORDANI, V.G.; KAWASHITA, K 1982. Geologic Evolution of the Serra dos Carajás-Pará, Brazil. Rev. Bras. Geoc., 12 (1-3): 263-267.

TOLBERT, G.E.; SANTOS, B.A.; ALMEIDA, E.B.; RITHER, J.E. 1968. Recente descoberta de ocorrências de minério de ferro no Estado do Pará. Min. Met. 48 (288): 253-256.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits northern Brazil. Econ. Geology, 66:985-994.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. 1973. Geology and iron ore deposits of Serra dos Carajás, Pará, Brazil. In: Genesis of Precambrian iron and manganese deposits: Kiev Symposium 1970, Proc., Paris, Unesco, p. 271-280.

VALARELLI, J.V.; BERNARDELLI, A.; BEISIEGEL, W.R. 1978. Aspectos genético do minério de manganês do Azul. In: CONG. BRAS. GEOL. , 30, Recife, 1978. Anais...Recife, SBG, V 4, p. 1670-1679.

WHITE, S.H.; BRETAN, P.G.; RUTTER, E.H. 1986. Fault-zone reactivation: Kinematics and mechanics. Phil. Trans. R. Soc. London, A-317:81-97.

WIRTH, K. R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI JR., W.J. 1986. U-Pb Ages os zircons from the Grão Pará Group and Serra dos carajás Granite, Pará, Brazil. Rev. Bras. Geoc., 16(2):195-200.