



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



---

**CURSO DE GEOLOGIA**

---

João Gabriel Motta



**Geologia do Platô N6 – Província Mineral de Carajás (PA)**

Rio Claro-SP  
2011

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

**Campus de Rio Claro (SP)**

**GEOLOGIA DO PLATÔ N6 – PROVÍNCIA MINERAL DE  
CARAJÁS (PA)**

**JOÃO GABRIEL MOTTA**

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de  
Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de  
Rio Claro, como parte das exigências para o  
cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de  
Curso no ano letivo de 2011*

Rio Claro – SP

2011

553.0981 Motta, João Gabriel  
M921g Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA) / João Gabriel Motta. - Rio Claro : [s.n.], 2011  
70 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geologia) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Sebastião Gomes de Carvalho

1. Brasil – Geologia econômica. 2. Formação Parauapebas. 3. Minério de ferro. 4. Formações ferríferas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

João Gabriel Motta

**Geologia do Platô N6 – Província Mineral de Carajás (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso/ Dissertação/  
Tese apresentado (a) ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas. da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho” Claro, como requisito para  
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho, UNESP/IGCE/DPM

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antenor Zanardo, UNESP/IGCE/DPM

\_\_\_\_\_  
Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Rio Claro, SP, 30 de novembro de 2011

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos sinceros e incontáveis a meus pais Márcia e Sérgio, ambos sempre preocupadíssimos e devotados a mim e Guilherme, meu irmão, que sempre é um exemplo também. Meus avós paternos Sebastião, sempre curioso e de bom-humor e Maria, esta sempre amorosa, tiveram importância grande nesta empreitada, sempre presentes.

Sebastião que se tornou um grande amigo, Antenor que transmitiu um conhecimento vasto e sempre com gentileza, Nelson por demonstrar-me logo no primeiro ano o mundo dos recursos minerais, George que trouxe novos ares e idéias ao DPM além de sua boa conversa, Artur e Norberto, não menos importantes também inspiraram muito gosto pela ciência. Guillermo “Pepita” pela participação na banca examinadora e sugestões.

Grandes amigos como Alan “Bigato”, Cícero “Ema”, Fábio “Sacudo” pela amizade na nossa república, os choques, as conversas para o crescimento de todos, horas de música, os inúmeros filmes, as festas-amnésia, os vexames e as risadas que ecoaram na Masmorra. Também Andrey “Mofo” e Rodolfo “Baby”, que foram ‘bixos’ muito camaradas.

Dentre os amigos vão agradecimentos sinceros ao Ílio “Xapisco”, Adriano, Diego “Cinderela”, José Antônio “Zé”, Pedro “Fezes”, Vinícius “Cubaxo”, Felipe “Xuxa”, Thiago “Gigolô”, Yuri “Chunlee”, Thomás, Eduardo “Nhonho”, Ricardo “Didi”, Wagner “Caminhoneiro”, Rodrigo, Matheus “Smurf” entre tantos aí que eu já não lembro, valeu as risadas desses anos, amizade, conversas, esportes e zueiras por aí.

Já das amigas tenho que agradecer à Paula “Lesma”, Júlia “Torrinha”, Bárbara, Milena “Califórnia”, Letícia, Ana Luiza “Vampira”, Marina “Marinão”, estas camaradas em diversas trapalhadas, trabalhos, empréstimos, *delivery's*, panquecas, bolos, arroz-doce e tudo mais!

Aos amigos não-geólogos, Neilton, pela grande amizade e parceria de copo e mais outros da Matemática. Amigos Franco e Manzoni em Ariranha que sempre faziam as voltas para a casa da família serem ainda melhores.

Aos geólogos da Vale-GAEMF, Henry Galbiatti pela amizade antiga e solicitude demonstradas na cessão do estágio, ao Guilherme Gravina pela paciência na burocracia, boas conversas, dentre os geólogos em Carajás, no quente e barulhento Galpão de Testemunhos: Luiz, que foi paciente, grande camarada e auxiliou muito no trabalho, Kessiane, Camelo, Carlos e Adele, pelas dicas, discussões e demais ajudas para que o trabalho transcorresse, também pela amizade! Também ao Marco Braga por seu apoio.

Especialmente à querida Thaís devo agradecer por sua presença indescritível e sua graça nestes dias sombrios.

“Eu quase que nada não sei.

Mas desconfio de muita coisa.”

João Guimarães Rosa em “Grande Sertão: Veredas”

## RESUMO

O Platô N6 representa uma ocorrência de minério de Ferro no interior da Província Mineral de Carajás, estando adjacente a depósitos atualmente em operação. Seu mapeamento geológico na escala 1:10.000 e integração de dados geoquímicos, geofísicos, petrográficos e sondagens possibilitaram uma interpretação acerca de sua evolução geológica. A área mapeada apresenta litotipos do Grupo Grão Pará, de idade arqueana, compreendendo rochas metabásicas de grau metamórfico muito baixo e formações ferríferas e uma associação sedimentar proterozóica composta por arenitos conglomeráticos da Unidade Caninana. A estrutura da área se dá por um homoclinal de ampla escala, onde os estratos do Gr. Grão Pará mergulham para SW, concordante como parte do flanco Norte da Dobra de Carajás. Deformação posterior associada à instalação da Zona de Cisalhamento Carajás se faz presente por eixos aproximadamente E-W. Evidências geoquímicas permitem considerar a Fm. Parauapebas como a rocha que foi lixiviada por fluidos hidrotermais que foram responsáveis pela formação das formações ferríferas no sistema oceânico, permitindo observar assinaturas diferentes levando a considerar a possibilidade de sub-embaciamentos na Bacia Carajás. O minério de ferro encontrado em subsuperfície corresponde a hematita friável de granulação fina, formada a partir do enriquecimento supérgeno sobre as formações ferríferas. O modelo geológico concebido discorda da proposta corrente na literatura onde haveria atividade hidrotermal envolvida no enriquecimento dos jaspilitos. O metamorfismo registrado pela Formação Parauapebas apresenta paragêneses que podem ser consideradas como produto de metamorfismo de fundo oceânico e, portanto, anterior à deformação incidente, visto que a deformação não registra *fabric*, remetendo a uma possível situação de evolução de crosta rasa. Metodologia geofísica por magnetometria e gravimetria apresentaram bons resultados para interpretação estrutural em vista da exposição ruim no terreno.

**Palavras-chave:** Formação Carajás, Grupo Grão Pará, formações ferríferas.

## ABSTRACT

The N6 Plateau presents an iron-ore occurrence in Carajás Mineral Province, standing near to actually operating deposits. Geological mapping in 1:10,000 scale and integration of geochemical, geophysical, petrography and drilling turns possible interpretation of his geological evolution. The mapped area has lithotypes from Archean Grão Pará Group, comprising very low-grade metamorphic basic rocks and iron formation and an Proterozoic sedimentary association of conglomeratic sandstones called as Caninana Unity. The structural geology is given by a regional scale homoclinal, where the Grão Pará Group strata dips towards SW, as a part of the Northern Limb of the Carajás Fold. Subsequent deformation associated to the installation of the Carajás Shear Zone presents as E-W fold axis. Geochemical evidence permits to consider de Parauapebas Formation as the rocks which has been hydrothermally-altered to outsourcing fluids responsible to deposition of iron formations in the oceanic system, including different signatures which can be interpreted as possible sub-embayments in the Carajás Basin. The iron ore in the area occurs in subsurface as very fine friable hematite generated by supergenous enrichment of the iron formation. The conceived geologic model differs from the current academic proposal on the fact that hydrothermal alteration has been involved on the jaspelite enrichment. Metamorphism on the Parauapebas Formation presents paragenesis considered as ocean-floor metamorphism which precedes de deformation insofar as the rocks show no tectonic fabric referring to shallow crust evolution. Geophysical methods such as magnetometry and gravimetry presents excellent results for structural interpretation in uneven exposed terrain.

**Keywords:** Carajás Formation, Grão Pará Group, iron formation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.1</b> – Localização da área de estudo no contexto da porção Norte da Província Mineral de Carajás .....	2
<b>Figura 1.2.</b> – Mapa hipsométrico da Província Mineral de Carajás, produzido a partir de base cartográfica e modelo digital de terreno (MDT) baseado em imagens ASTER-SRTM (GLCF, 2005) .....	3
<b>Figura 1.3.</b> – Imagem aérea IKONOS da porção Norte da Serra dos Carajás com os platôs de minério de Ferro assinalados e a Mina de Manganhês do Azul. ....	4
<b>Figura 4.1.</b> – Arcabouço tectônico da plataforma sul-americana segundo Almeida et al (1981).....	8
<b>Figura 4.2.</b> – Divisão geocronológico-geológica do Cráton Amazônico, extraído de Tassinari & Macambira (2004) .....	9
<b>Figura 4.3.</b> – A) Mapa geológico da região de Carajás, indexada no Cinturão Itacaiúnas. Setores negros representam os afloramentos de formações ferríferas no interior do Grupo Grão Pará; CCG: Granito Central de Carajás, CG: Granito Cigano, EG: Granito Estrela. B) Coluna tectono-estratigráfica simplificada para a área. Traduzida de Pinheiro & Holdsworth (1997b).....	10
<b>Figura 5.1.</b> – Composições Landsat geradas e lineamentos extraídos .....	17
<b>Figura 5.2.</b> – Amostra do imageamento SAR, lineamentos extraídos e domínios observados a partir do mesmo. ....	18
<b>Figura 5.3.</b> – Diagramas de rosetas para os lineamentos extraídos dos sensores Landsat e SAR, distribuídos a partir de suas orientações e sua frequência estatística na área, o raio máximo das semicircunferências corresponde a 10%, sendo os internos de 2%, reduzidos de 360 para 180° de azimute, subdivididos em classes de 5°. ....	19
<b>Figura 5.4.</b> – Mapa dos alinhamentos totais extraídos das imagens Landsat e SAR para o platô N6, sendo o Norte para o topo. ....	19
<b>Figura 5.5.</b> Imageamento gravimétrico da área. ....	21
<b>Figura 5.6.</b> - Imageamento magnetométrico da área. ....	22
<b>Figura 5.7</b> – Coluna estratigráfica sintética para a área do Platô N6. ....	23
<b>Figura 5.8.</b> – A) Intervalo com rocha máfica típica da Fm Parauapebas, com pórfiros de clorita (setas vermelhas) e vesículas quartzo-carbonáticas. Testemunho de sondagem N6-0002 – 186,5m, topo para cima. B e c) B apresenta uma vesícula de anel externo clorítico, intermediário carbonático e central quartzoso; a vesícula apresentada em C apresenta anéis de clorita com porção central quartzosa. Testemunho N6-0005- 200,45 a 200,60m. ....	25
<b>Figura 5.9.</b> – A) Intervalo de meta-gabro de contorno ondulado. Testemunho N6-0005 - 178,10 a 178,20m. Topo para seta. B) Meta gabro com cristais ripiformes de plagioclásio de até 2,0mm e intersticiais de piroxênio cloritizados. Intervalo N6-0008-152,22m. C) Intervalo de rocha máfica grossa com a presença de intensa venulação carbonática em bolsões. Intervalo do testemunho N6-0005- 137,30 a 137, 40m. ....	25

**Figura 5.10** –A) Rocha máfica intensamente venulada com termos quartzo-carbonáticos (claros) e epidiosíticos (verdes) dispostos subparalelamente a contato inferior com jaspelito. Furo N6-0007 – 155,70m. B) Fragmentos de jaspelito maciço a discretamente bandado envolvido em basalto. Furo N6-0002 – 128,5m. C) Fragmento de peperito em meio à máfica. Intervalo N6-0004- 115,0 a 116,40m. D) N6-0005 – 137,30 a 137, 40. E) Fragmento de vidro vulcânico cloritizado em meio à rocha máfica com borda de carbonatos. Furo N6-0007-122,5m. Topo da seqüência para cima em todas as fotos. ....26

**Figura 5.11** – A e B) Aspecto geral do metadolerito/microgabro com a orientação de pseudomorfos de plagioclásio e a clorita 'intersticial'. Foto A em luz transmitida à polarizadores descruzados e B com polarizadores cruzados. Amostra N6-0001-169, 18 a 169,25m. C) Vesícula preenchida por quartzo, clorita e opacos, em meio a arcabouço de clorita e adularia. Polarizadores cruzados. Luz transmitida e polarizadores cruzados. Amostra N6-0002-125m. D)N6-Q – Vesícula preenchida por calcedônia com hábito granular e fibrosa, clorita e pirita. Luz transmitida e polarizadores cruzados. Amostra N6-0002-125m. ....27

**Figura 5.12** - A) Matriz de peperito com fragmentos de formação ferrífera, hematita tabular, turmalina, quartzo e carbonato. Luz transmitida plano-polarizada. Lamina N6-0004-134m. B) Cristais de pirita (amarelo esbranquiçado), calcopirita (amarelo-latão) e magnetita (cinza) em meio a matriz de carbonato. Luz refletida. N6-0004-134m. C e D) Fragmentos de jaspelitos soldados por matriz de quartzo, com grãos de hematita em seu interior, formação de hematita tabular na matriz. Luz transmitida plano-polarizada em C e cruzada em D. Lâmina N6-0003- 134,70 a 134,79m.....28

**Figura 5.13.** – A) Contato superior sinuoso a convoluto entre m-basalto e itabirito, onde há fragmentação da FF e seu envolvimento em fragmentos no interior da máfica, localmente o itabirito encontra-se maciço. Intervalo do testemunho N6-0004 -160,50 a 160,70. B) Amostra de peperito de matriz muito fina envolvendo fragmentos de jaspelito, incluindo a penetração de matriz máfica no mesmo. Esta amostra apresenta grande volume de sulfetos. Furo N6-0004 aos 134,0m. C) Peperito de matriz básica com grande quantidade de fragmentos de jaspelitos em variadas dimensões. Furo N6-0002-Intervalo de 85,24 a 85,54m. Topo para a esquerda. ....29

**Figura 5.14** – Afloramento de jaspelito com bandamento dobrado em padrão discordante com a tectônica registrada na área. Seta para o Norte. Afloramento 114 – (592307E/9322280N). ....30

**Figura 5.15** – A) Bandas de jaspe com gradação superior para porções com maior quantidade de microgrãos de hematita/goethita interlaminais com bandas maciças de hematita onduladas. Luz transmitida à polarizadores cruzados. Lâmina N6-0002- 56,20 a 56,25m. B) Banda de jaspe com micro-esférulas e bandas de hematita Luz transmitida e polarizadores cruzados. Lâmina N6 – 0011- 103,03 a 103,08m. C) Banda de jaspe com a formação de leitos de hematita granular descontínuos subparalelos. Luz refletida. Lâmina N6-0001- 121,85 a 121,90. D) Detalhe de conjunto triplo de microsferóides com núcleos de hematita. Luz transmitida à polarizadores paralelos. Lâmina N6-0011- 103,03 a 103,08m. E) Bandamento ondulado e segmentado em

bandas de hematita e magnetita, com contatos pouco ondulados das bandas de jaspe, havendo interpenetrações locais entre as mesmas. Luz refletida. N6- 140,08 a 140,15m. F) Laminação disrupta em jaspelito. Luz transmitida à polarizadores cruzados. Lâmina N6-0004- 96,25 a 96,35m. ....32

**Figura 5.16** – A) Grânulo de calcedônia com micro-esférulas de sílica e óxido-hidróxidos de Fe com filamento ondulado em seu centro composto por sílica e goethita. Luz transmitida, seção N6-0002- 56,20 a 56,25m. B) Grânulo composto por micro esférulas coalescentes ou não de hematita-calcedônia, com achatamento paralelo ao bandamento e formação de leito coalescente de microesférulas paralela ao bandamento em sua porção média. Seção N6-0004 - 173,85 a 174m. Luz transmitida à polarizadores cruzados. C) Grânulo sílico-ferroso arredondado com zoneamento mal definido. Seção N6-0008 - 75,92 a 76,00m. Imagem de MEV. ....33

**Figura 5.17** – Amostra de siltito que ocorre intercalado com jaspelitos no interior da Fm Carajás. Intervalo N6-0008-89,50 a 91,10m. ....33

**Figura 5.18.** – A) Afloramento de HLL laminada de modo ondulado aberto e com deslocamento, como o detalhe B. Afloramento 53 (591660E/9322460N). C) HLL pouco intemperizada, laminada e com vacúolos entre as lâminas de hematita. Afloramento 8 (591729E/9322714N). ....35

**Figura 5.19** – Fragmento de hematita friável com a preservação de bandamento original. Intervalo do testemunho N6-0005 - 18,60 a 19,60m. Fragmento de aproximadamente 4 cm.....36

**Figura 5.20.** – Aspectos texturais dos arenitos conglomeráticos da Unidade Caninana à luz do microscópio petrográfico. A) Aspecto do arcabouço da rocha, com cristais de arredondamento variável e matriz sericítica intersticial. B) Detalhe da matriz sericítica. Ambas da seção N6-JGM-111.....38

**Figura 5.21.** – Afloramento de arenitos conglomeráticos da Unidade Caninana apresentando estruturas de corte e preenchimento (linhas tracejadas) entre porções mais ou menos grossas. Afloramento 112 (592340E/9322242N), martelo com aproximadamente 40,0 cm.....38

**Figura 5.22.** – A) Intervalo do Furo N6-00005- 0 a 20,0cm mostrando CQ com vacúolos, porções mais limonitizadas e a presença de fragmentos de HLL. B) Detalhe da foto A. C) Amostra de mão do Afloramento 77 (591866E/9322556N), onde se observa a variação de composições da matriz goethítica-limonítica. ....40

**Figura 5.23.** – Perfil da CQ, onde se observa a penetratividade do aspecto vacuolar da unidade, sua variação de coloração para termos mais escuros, orgânicos e manganíferos nas porções inferiores. Afloramento no bordo de lagoa intermitente, grande alinhamento N-S (visada da foto W-E). Afloramento 29 (591063E/9322328N).....40

**Figura 5.24** – A) Intervalo de 1,0 a 1,40 cm do Furo N6-0004, com CM formada por fragmentos centimétricos de HLL e HC. B) Aspecto em afloramento da CM. Afloramento 43 (591700E/9323270N). C) Aspecto em afloramento de CM intensamente alterada com a redução e desprendimento de fragmentos de minério. Afloramento 62 (591977E/9323458N) .....41

<b>Figura 5.25.</b> – Perfil geológico esquemático do platô N6 .....	43
<b>Figura 5.26</b> - Estereograma para acamamentos ao longo da área, total de 37 medidas, à esquerda e com sua contagem estatística à direita. Projeção no hemisfério inferior, projeção equiárea em rede de Schmidt.....	44
<b>Figura 5.27</b> - Estereograma para eixos da fase Dn em total de quatro medidas. Projeção equiárea no hemisfério inferior em rede de Schmidt .....	45
<b>Figura 5.28</b> - Estereogramas de mergulhos provocados pelo dobramento tardi-dn, total de três medidas. Projeção equiárea no hemisfério inferior em rede de Schmidt.....	46
<b>Figura 5.29</b> – Estereograma para os eixos da fase tardi-Dn, total de quatro medidas. Projeção no hemisfério inferior, equiárea e em rede de Schmidt.....	46
<b>Figura 5.30</b> - Estereograma dos acamamentos divergindo nas proximidades da Falha de empurrão que justapõe o Gr Grão Pará/Fm Carajás (N250/80) e Unidade Caninana (N250/30 e N210/40). Rede de Schmidt, projeção equiária no hemisfério inferior.....	47
<b>Figura 5.31.</b> – Fraturas de traçado retilíneo a ondulado em canga química, foto da esquerda, afloramento 79; foto da direita afloramento 80. Martelo apontando para Norte .....	49
<b>Figura 5.32</b> – Estereograma para essa família de fraturas, total de 49 medidas, à esquerda planos e à direita contornos estatísticos. Projeção no hemisfério inferior, equiárea e em rede de Schmidt .....	50
<b>Figura 5.33.</b> – A) Seção delgada de metamáfica vesiculada do intervalo entre 120 e 125m do furo N6-0002. Preservação de calcedônia associada a adularia em vesícula. B) Lâmina delgada de metadolerito do intervalo entre 169. 18 a 169.25 do furo N6-0001, onde observa-se pseudomorfos de adularia sobre plagioclásio tabulares, com textura em fluxo e clorita pseudomorfisando piroxênio em textura ofítica .....	51
<b>Figura 5.34</b> A) - Diagrama de discriminação química de rochas magmáticas com base na relação $Na_2O+K_2O \times SiO_2$ , segundo Le Maitre (1989). B) Diagrama de Álcalis Totais ( $Na_2O+K_2O$ ) $\times SiO_2$ de Irvine & Baragar (1971).....	52
<b>Figura 5.35.</b> – Diagrama spider para as composições de ETR das duas amostras da Fm Parauapebas, normalizadas em relação a condritos, segundo Sun & McDonough (1989) .....	53
<b>Figura 5.36</b> –A) Diagrama de correlação entre $SiO_2$ e $Fe_2O_3+FeO$ . B) Diagrama de correlação entre $SiO_2$ e o Teor total de ETR contido nas amostras .....	56
<b>Figura 5.37</b> – A) Diagrama de normalização das formações ferríferas da Fm Carajás em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989). B) Diagrama de normalização das amostras de formações ferríferas em relação ao padrão NASC.....	56
<b>Figura 5.38</b> – Diagramas discriminatórios de fracionamentos e anomalias de ETR. A) Diagrama $(La/Sm)_N \times Sm_N$ para a discriminação de anomalias e ETRL. B) Diagrama $(Gd/Yb)_N \times Yb_N$ para a identificação de anomalias em ETRP. C) Diagrama par a razão $(La/Sm)_N \times Eu/Eu^*$ para a identificação de anomalias de Eu. Amostras normalizadas em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989).....	57

<b>Figura 5.39.</b> – Agentes e interferências geoquímica para a precipitação de Formações Ferríferas precambrianas. Segundo Bau & Moller (1993) .....	59
<b>Figura 5.40</b> – Diagrama de normalização dos ETR das Formações Carajás e Parauapebas, normalizados em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989) .....	59
<b>Figura 5.41</b> – Diagrama Eh-pH com os campos de solubilidade dos íons Fe e Al em soluções intempéricas a 25°C. Segundo Norton (1973), extraído de Robb (2005) .....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b> – Limites de detecção para os elementos químicos medidos divididos por método empregado.....	7
<b>Tabela 5.1</b> – Estatística para as análises químicas dos jaspelitos da Formação Carajás. ....	55
<b>Tabela 5.2.</b> – Comparação entre os teores médios de elementos maiores em FF do platô N6, Fm Carajás como em Macambira & Schrank (2002), para FF tipo Lago Superior e Algoma, extraídos de Gross(1990).....	55

## ABREVIATÓES

3D-FTG – *Tree-dimension full-tensor gravity gradiometer*

ASA – Amplitude do Sinal Analítico

ETR – Elementos de Terras Raras

ETRL – Elementos de Terras Raras Leves

ETRP – Elementos de Terras Raras Pesados

HD-TDR – *Horizontal derivative of tilt derivative*

PMC - Província Mineral Carajás

SR – Sensoriamento remoto

TDR ou MAG-TDR – *Tilt derivative* (sinal magnético)

## SUMÁRIO

1)INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Localização e vias de acesso.....	1
1.2.Aspectos fisiográficos.....	2
2)OBJETIVOS.....	4
3)MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO.....	5
3.1.Revisão bibliográfica.....	5
3.2.Análises por sensoriamento remoto.....	5
3.3.Geofísica.....	6
3.4.Atividade de campo .....	6
3.5.Geoquímica.....	6
3.6.Estudos em laboratório.....	7
4) QUADRO GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.....	8
4.1. Contextualização tectônica.....	8
4.2.Estratigrafia.....	9
4.3. Aspectos estruturais.....	12
4.4. Modelos Evolutivos.....	14
4.5. Contexto metalogenético das formações ferríferas.....	14
5)RESULTADOS.....	16
5.1. Sensoriamento remoto.....	16
5.2. Geofísica.....	20
5.3. Geologia local.....	22
5.3.1. Estratigrafia.....	22
5.3.1.1. Formação Parauapebas.....	23
5.3.1.2. Formação Carajás e seus produtos de alteração.....	29
5.3.1.3. Unidade Caninana.....	36
5.3.1.4. Coberturas detrito-lateríticas.....	38
5.3.2. Geologia estrutural.....	42
5.3.3. Metamorfismo.....	50
5.4. Geoquímica.....	51
5.5. Gênese da hematita friável.....	59
5.6. Evolução geológica.....	61
6)DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	63
7)REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65

### ANEXOS

ANEXO A – MAPA GEOLÓGICO DO PLATÔ N6 E SEÇÕES GEOLÓGICAS

ANEXO B – MAPA ESTRUTURAL

ANEXO C – MAPA DE PONTOS

### APÊNDICES

APÊNDICE A – PRANCHA DE ESTRUTURAS ATECTÔNICAS

APÊNDICE B – MODELO 3-D DAS SONDAGENS ANALISADAS

APÊNDICE C – DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

## 1. INTRODUÇÃO

A Província Mineral de Carajás (PMC) definida por Dardenne & Schobbenhaus (2001), consiste em um terreno portador de ocorrências de diferentes tipos de bens minerais metálicos, com uma metalogênese ainda poucos conhecida onde ocorre também minério de ferro de alto teor, cuja descoberta data da década de 1970, até então um *greenfield*. Inicialmente descobriram-se também importantes jazimentos de Mn e com o avanço do conhecimento geológico um grande número de *commodities* também foram identificadas, como Au, Cu, Al entre outros, associados a seqüências supracrustais, rochas intrusivas graníticas e ultramáficas, além de depósitos associados à intensa lateritização no terreno.

Na região Norte da PMC a Vale, antiga CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) tem explorado e desenvolvido o grande potencial para Fe desta província, nos diversos platôs que ocorrem na região, descobertos nos idos de 1970, associados diretamente à lateritização de formações ferríferas arqueanas.

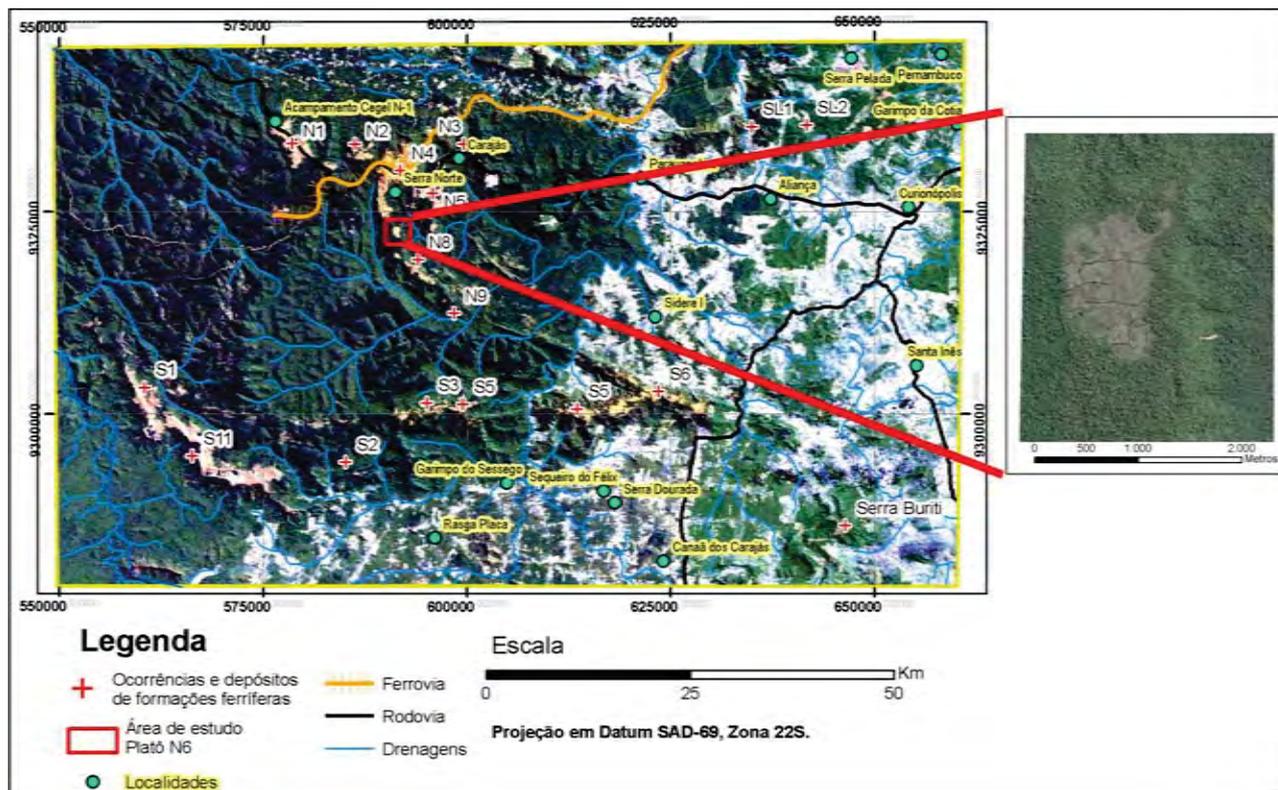
No “Platô N6” (N6) a Vale desenvolve trabalhos de prospecção e pesquisa mineral em *brownfield/near mine*, visando ampliação de suas reservas de minério de Ferro nas proximidades de depósitos já em operação, no caso N4 e N5, situados a Norte de Nordeste da área. O trabalho apresentado retrata a geologia do platô N6, especialmente de suas coberturas detrítico-lateríticas, que são os escassos materiais aflorantes e também descrições das rochas que ocorrem em subsuperfície cobertas pelas coberturas citadas.

### 1.1. Localização e vias de acesso

A área encontra-se inserida no contexto da Província Mineral de Carajás, localizada no sudeste do Estado do Pará, no município de Parauapebas, com acessos a partir da capital Belém podendo ser percorrido pelas rodovias BR-316, BR-010, BR-222, PA-150, PA-257 e PA-275, perfazendo um trajeto em rodovias asfaltadas ou não, levando ao município supracitado e ao Núcleo Urbano de Carajás, constituído em virtude das atividades mineradoras da Companhia Vale, contando com um aeroporto próprio.

O alvo deste trabalho é limitado pelas seguintes coordenadas em sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) 590000-593000E/9324000-9321000N, com acesso através de picadas em meio à cobertura vegetal local e acessos não-pavimentados de sondagens, abertos em meio à extensa vegetação local. A situação geográfica da área é dada pela Figura 1.1.

**Figura 1.1** – Localização da área de estudo no contexto da porção Norte da Província Mineral de Carajás. Composição LANDSAT RGB 752, detalhe da área imagem IKONOS.



## 1.2. Aspectos fisiográficos

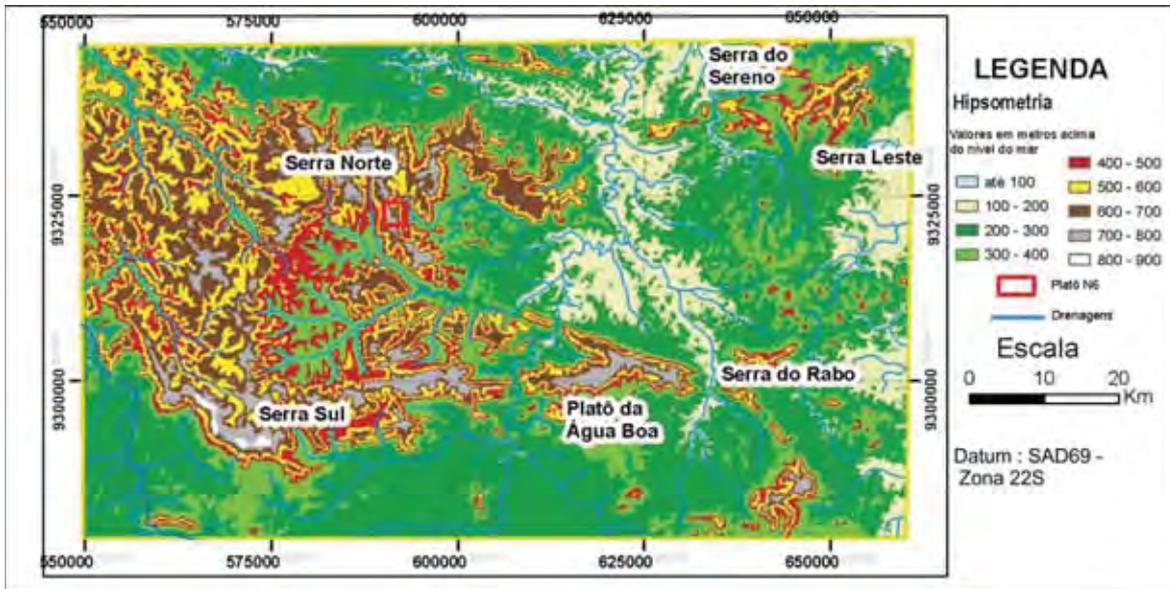
A região da Serra dos Carajás, encontra-se inserida numa área de clima equatorial tropical úmido de monção, classe Am, transição para o tipo Aw segundo Köpen, com uma temperatura média anual maior que 18°C, mínima entre 10 e 26°C e máxima entre 25 e 35°C, com umidade relativa do ar alta, em torno de 85%, contando com uma época relativamente seca entre junho a outubro, uma estação úmida que vai de novembro a maio, com médias pluviométricas entre 2000 e 2500 mm/ano (IBGE, 1989).

A rede hidrográfica da área pertence à bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, tributário da margem leste do Rio Itacaiúnas, sendo que ambos apresentam direção aproximadamente Norte-Sul, com diversas cachoeiras e corredeiras em seu trajeto, especialmente onde os mesmos cruzam grandes acidentes geográficos regionais, como a Serra dos Carajás. Diversos afluentes de menor expressão, denominados “igarapés”, ocorrem de forma ampla na área e cabe a eles especialmente a denominação de diversos grupamentos estratigráficos da região, em vista da abundância de afloramentos de rocha em seus cursos.

O relevo da área é dado por um conjunto de serranias de orientações aproximadamente E-W, NE-SW e NW-SE, como as serras dos Carajás, dos Gradaús, do Bacajás e da Seringa, incólumes em meio a depressões profundamente entalhadas no relevo, onde ocorrem especialmente as drenagens de maior expressão, além de planaltos residuais de orientações similares às serras. Em especial a Serra dos Carajás pode ser subdividida em dois domínios

especiais, a serra Sul e serra Norte, que se interligam através do platô da Água Boa, os diversos elementos geomorfológicos encontram-se no mapa hipsométrico a seguir, dado na Figura 1.2.

**Figura 1.2.** – Mapa hipsométrico da Província Mineral de Carajás, produzido a partir de base cartográfica e modelo digital de terreno (MDT) baseado em imagens ASTER-SRTM (GLCF, 2005).



Os platôs são as elevações de maiores cotas, de topos planos, arredondados a angulosos, que se destacam das áreas ao seu redor por ter topos em geral cobertos por cangas lateríticas ferruginosas, com vegetação escassa típica de cerrado, denominada de savana metalófito, circundadas por exuberante vegetação latifoliada, situada sobre litologias mais propícias às mesmas. Tais platôs consistem em escarpamentos alongados, de cotas por vezes superiores a 700-800m, representando desníveis abruptos de até 300m, com perfis de encosta retilíneos, declividades de até 5% em seus interiores e de até 20-30% em seu sopé e encostas (IBGE, 1989).

Nos espaços entre os platôs desenvolvem-se relevos aplainados a arredondados, de pequena amplitude topográfica, alcançando máximos topográficos de 200m, com vertentes retilíneas drenagens em padrão dendrítico e planícies aluvionares.

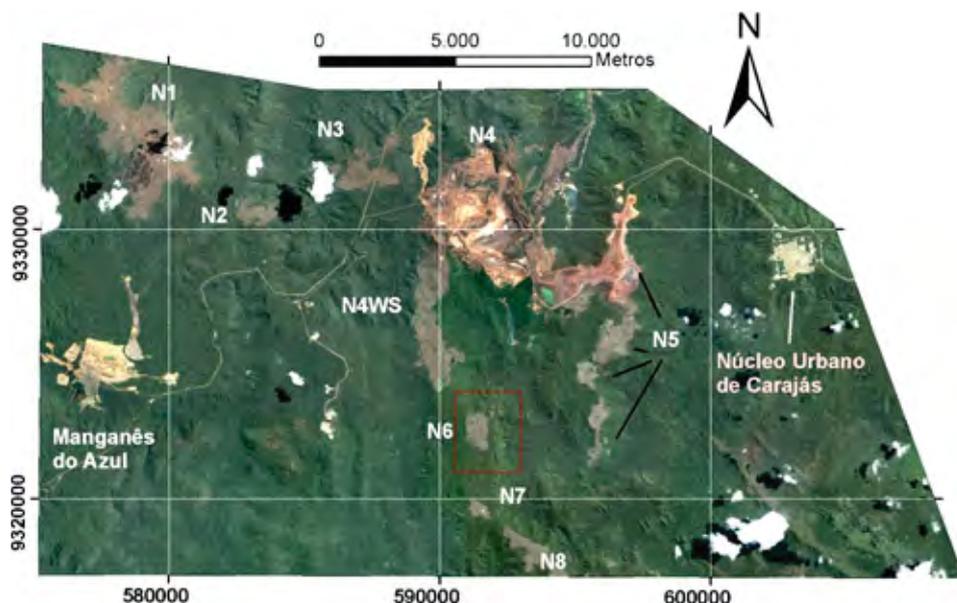
Segundo IBGE (2004) a vegetação predominante trata-se de grandes áreas cobertas por florestas equatoriais latifoliadas, ombrófilas densas a abertas, com árvores de grande porte, formando um elevado dossel florestal, homogêneo, com frondosas árvores que representam pequena variação quanto a seu tipo se comparadas com os tipos de solos sob o qual se desenvolve, exceção faz-se aos topos dos platôs, onde a vegetação é composta por espécies típicas de cerrado, em vista da carência nutricional advinda das crostas lateríticas, como mostra a Figura 1.3.

Cabe ressaltar ainda a formação de lagos nos platôs, formados a partir da água pluvial, que completam um quadro biótico exclusivo, fato contemplado pela instauração da “Floresta

Nacional de Carajás” – FLONA Carajás, segundo o decreto Nº 2.486, de 2 de Fevereiro de 1998, publicado no Diário Oficial da União de 3 de fevereiro de 1998.

Tais lagos se formam especialmente na época de chuvas, sendo a maioria efêmeros que não persistem na época da seca, tais corpos d’água estão associados a zonas de baixa permeabilidade e possivelmente a condições pseudo-cársticas, fato não comprovado, mas aventado dada a quantidade de cavernas na área, mesmo nos platôs ferríferos.

**Figura 1.3.** – Imagem aérea IKONOS da porção Norte da Serra dos Carajás com os platôs de minério de Ferro assinalados e a Mina de Manganês do Azul. A área em vermelho trata da área em estudo, sobre o Platô N6.



## 2. OBJETIVOS

O trabalho de conclusão de curso ora apresentado visou o mapeamento geológico de superfície do alvo N6 em escala 1:10.000, cobrindo uma área de 7,28 km<sup>2</sup>, e descrição de testemunhos de sondagens, análises petrográficas e geoquímicas buscando refinar os aspectos geológicos da área, a partir de campanhas de mapeamento em escalas maiores.

O foco do trabalho situa-se na centralização de informações de campo, sondagens e métodos indiretos, como sensoriamento remoto (óptico e radar) e informações geofísicas (magnetometria e gravimetria), caracterizar os tipos de formações ferríferas que ocorrem em sub-superfície, identificar as estruturas principais, os processos geológicos envolvidos na gênese das rochas ali presentes e elaborar modelos acerca da gênese do minério ali contido, mesmo que de modo superficial; buscando um modelo geológico para explicar a evolução da área.

### 3. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

Considerando os objetivos do trabalho foram compreendidas as seguintes etapas de trabalho e procedimentos metodológicos:

#### 3.1. Revisão bibliográfica

Levantamento das bibliografias existentes sobre a PMC, que contemplem a geologia do terreno onde a área de trabalho se inclui referentes à geologia de formações ferríferas, tipologias de minério de ferro, utilização de técnicas de sensoriamento remoto e métodos geofísicos.

#### 3.2. Análises por sensoriamento remoto

Utilização de produtos de sensoriamento remoto permite o delineamento regional de grandes traços estruturais, caracterização de diferentes zonas de comportamento de relevo homólogo, auxiliando no desenvolvimento do mapeamento.

As imagens de sensoriamento remoto óptico utilizadas tratam-se de cenas do satélite óptico Landsat, sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), órbita-ponto 224/64, datadas de 09 de julho de 2001, com resolução aproximada de 30m para as bandas de 1 a 7 e de 14,5 m para a banda 8, sendo caracterizadas por um azimute e elevação solar de 49° e 43° respectivamente. Estas imagens receberam tratamentos para projeção espacial, correção atmosférica, redução de ruído e re-amostragem de resolução espacial. Métodos de correlação entre bandas e combinações das mesmas foram empregados, buscando extrair informações acerca do terreno e separadas por critérios qualitativos manualmente.

Para a extração de informação produziram-se além as citadas composições análises por meio da correlação entre o sinal entre bandas do sensor de diferentes sensibilidades por meio do método da análise por componentes principais, *Principal Component Analysis* (PCA), um algoritmo matemático que busca decorrelacionar o espectro das emissões para cada banda levantada.

A análise dessas imagens apresenta para as zonas equatoriais florestadas um problema difícil de solução devido da grande umidade relativa do ar, indiferente do período sazonal do levantamento, além da já referida cobertura vegetal, sendo preferido a outros métodos. Sua utilização em terrenos de clima seco-árido apresenta bons resultados, como referido por Sabins (1999).

Amostras de imagens de radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) da Missão Sossego – RADARSAT, de 2000, com modo de imageamento Quad L+X, dispo de quatro bandas, de polarização HH-HV-VH e W, com resolução efetiva de 6,0m datadas de 2005 foram utilizadas para a extração de informação geológica.

As informações geológicas devem ser utilizadas com cautela em relação ao direcionamento do sensor quando a execução da imagem, pois podem influenciar na extração das feições devido ao 'fortalecimento' do sinal e à formação de superfícies de alta reflexão-emissão.

Informações detalhadas sobre imageamento Landsat e SAR podem ser encontradas em Sabins (1999).

Dentre os softwares utilizados nesta etapa estão o “ENVI – *Environment for Visualizing Images*” versão 4.7, além do Sistema de Informações Geográficas ESRI® ArcGIS, versão 9.3, utilizado para centralizar os produtos de sensoriamento remoto e de cartografia.

### **3.3. Geofísica**

A disposição de dados geofísicos por parte da Companhia Vale e sua análise empreendeu parte do projeto, contribuindo para a elaboração do modelo geológico. Cabe ressaltar que os dados recebidos eram pré-processados, não sendo contemplado o processamento dos dados por parte do autor.

Os métodos empregados tratam especialmente de sistemática gravimétrica, 3D-FTG (*Full Tensor Gravity Gradiometer*) e magnetométrica. Já no caso do sinal magnético foram utilizados processamentos incluindo a Amplitude do Sinal Analítico (ASA), *Tilt Derivative (TDR)* e *Horizontal derivative of Tilt Derivative (HD-TDR)*. Para ambos os métodos o trabalho de Braga et al (2010) serve como uma referência acerca de seu uso.

### **3.4. Atividades de campo**

Os trabalhos de campo foram realizados em 15 dias no intervalo entre 28 de Agosto e 19 de Setembro de 2011, contando com 135 pontos em campo, buscando o mapeamento da distribuição de associações rochosas e suas estruturas e caracterizá-las quanto à mineralogia a nível de afloramento, distribuição e relação entre os litotipos além das transformações hipógenas e supérgenas e coleta de amostras para estudos de laboratório. Parte do trabalho de campo compreendeu também de análise de testemunhos de sondagem.

### **3.5. Geoquímica**

Dentre os elementos analisados figuram Elementos Maiores (Si, Al, Ca, Ti, Mg, K, Fe, P e Mn), por Fluorescência de raios-X através de Fusão com tetraborato de lítio; FeO foi determinado por volumetria/titulação à dicromato de potássio; pelo método ICP - espectrometria de emissão por plasma – através de digestão por Água Régia foram medidos os teores de Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr, com limites variados para os elementos; para os ETR (elementos de terras raras) foram medidos Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Y, Yb além dos elementos não-ETR Hematita friável, Pd, Th, U, onde os valores foram obtidos por análise via ICP-MS, por meio de fusão com Tetraborato de lítio via espectroscopia de massa por plasma induzido (*Inductively coupled plasma mass spectroscopy*).

A perda ao fogo das amostras foi determinada por calcinação da amostra a 405°C / 1000°C.

As análises químicas foram realizadas pelo laboratório SGS Geosol, sendo referidos os limites inferiores de detecção dos elementos na tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** – Limites de detecção para os elementos químicos medidos divididos por método empregado.

<b>Fluorescência de Raios-X</b>	
CaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, MnO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , e TiO <sub>2</sub>	0.01%.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Na <sub>2</sub> O e SiO <sub>2</sub>	0.1%.
<b>ICP por digestão em água régia</b>	
Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sr, Zn, Zr, Y	1 ppm
Co, Pb, Sc, V	3 ppm
As, Sb	5 ppm
B, Bi, La, Se, Sn, Th, Tl, U, W	10 ppm
Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti	0,01%
<b>ICP-MS</b>	
Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Pr, Tb, Tm e U	0.05 ppm
Ce, La, Nd, Sm, Th e Yb	0.1 ppm
Y	0.5 ppm

### 3.6. Estudos em laboratório

As atividades iniciais de laboratório constituíram na seleção e preparação de amostras para estudos em microscópio petrográfico e microscopia eletrônica de varredura, quando da dúvida quanto à sua mineralogia e quando se tratarem de materiais de granulação muito fina.

As atividades de laboratório se concentraram na caracterização petrográfica, para tal procederá à descrição macroscópica das amostras obtidas nas atividades de campo e sondagens, visando à seleção para a confecção de secções delgadas.

Um total de 20 seções petrográficas, delgadas e polidas, foram descritas para a caracterização mineralógica e estrutural dos litotipos, com ênfase nos jaspilitos encontrados em subsuperfície.

Os resultados provenientes dessa metodologia foram processados e interpretados para a compreensão da geologia da área e elaboração de um modelo geológico

Estas atividades foram realizadas muitas vezes ocorrendo em paralelo entre si, a fim de se evitar lacunas na obtenção dos dados, que comprometam a interpretação final. Dessa forma, à medida que os dados petrográficos, estratigráficos, estruturais e geoquímicos foram gerados, eles foram tratados através de gráficos, tabelas, figuras, histogramas, modelos e mapas, etc.

## 4. QUADRO GEOLÓGICO DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS (PMC)

### 4.1. Contextualização tectônica

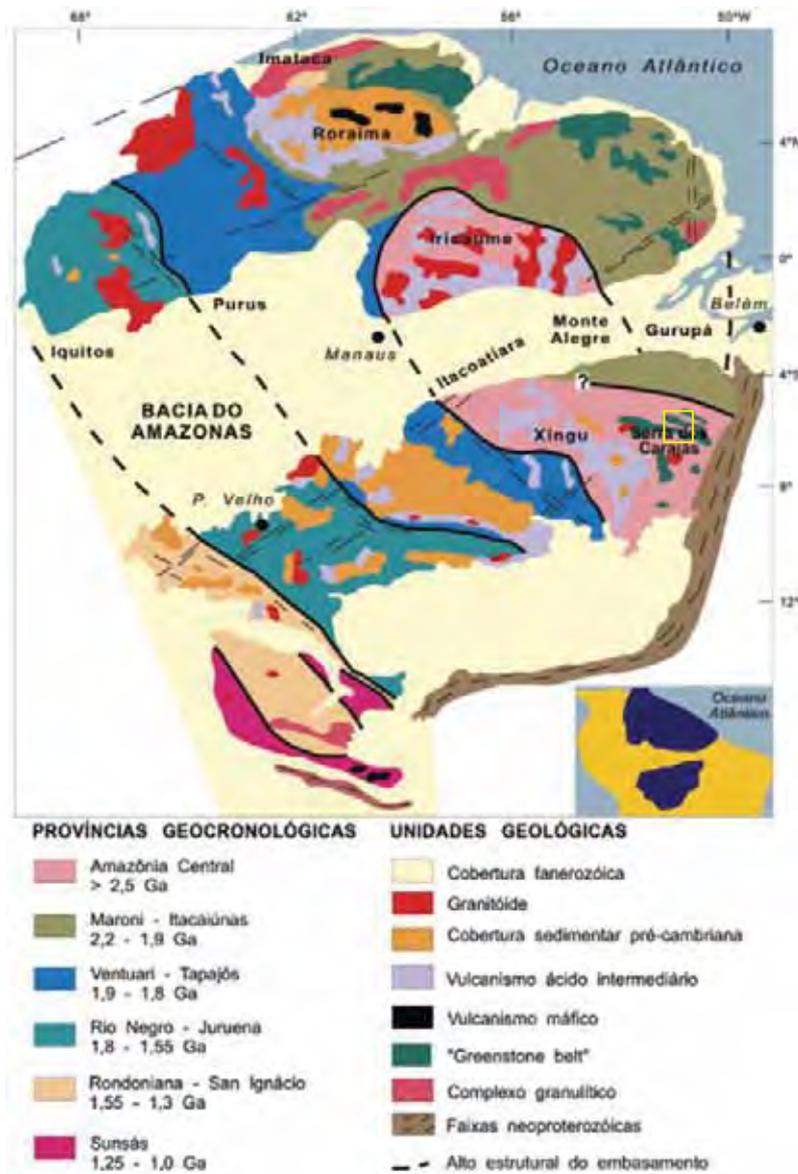
A evolução da PMC apresenta-se como um importante alvo de pesquisa científica atual, devido à ocorrência de jazimentos minerais de diversas filiações, com *commodities* variadas, especialmente no que tange a metais ferrosos e preciosos, incluso em seqüências vulcano-sedimentares arqueano-proterozóicas, além de diversos corpos graníticos de variadas idades, associados especialmente a atividades hidrotermais tectono-controladas, inseridas no Cráton Amazônico, definido inicialmente por Almeida et al (1981), com sua extensão observada na Figura 4.1. E subseqüentemente compartimentado em segmentos geocronológico-estruturais com características diversificadas, segundo Tassinari & Macambira (2004), como na figura 4.2.

Os denominados *greenstone belts* da região de Carajás representam bacias arqueanas mais ou menos deformadas instaladas sobre o Cráton Amazônico, estabilizado ainda no Arqueano, com a formação posterior de bacias de retro-arco sobre o mesmo, associadas à subducções de blocos adjacentes e granitogênese episódica no arqueano, sin-colisional, e também episódios de granitogênese e magmatismo básico intra-placa no Proterozóico (Tassinari & Macambira 2004), observa-se também influencia do ciclo brasileiro no bordo leste do Cráton onde metasedimentos e associações ígneas de variadas idades estão amalgamadas e empurradas por sobre o cráton.

Figura 4.1. – Arcabouço tectônico da plataforma sul-americana segundo Almeida et al (1981).



**Figura 4.2.** – Divisão geocronológico-geológica do Cráton Amazônico, extraído de Tassinari & Macambira (2004). Em amarelo os arredores da área de trabalho

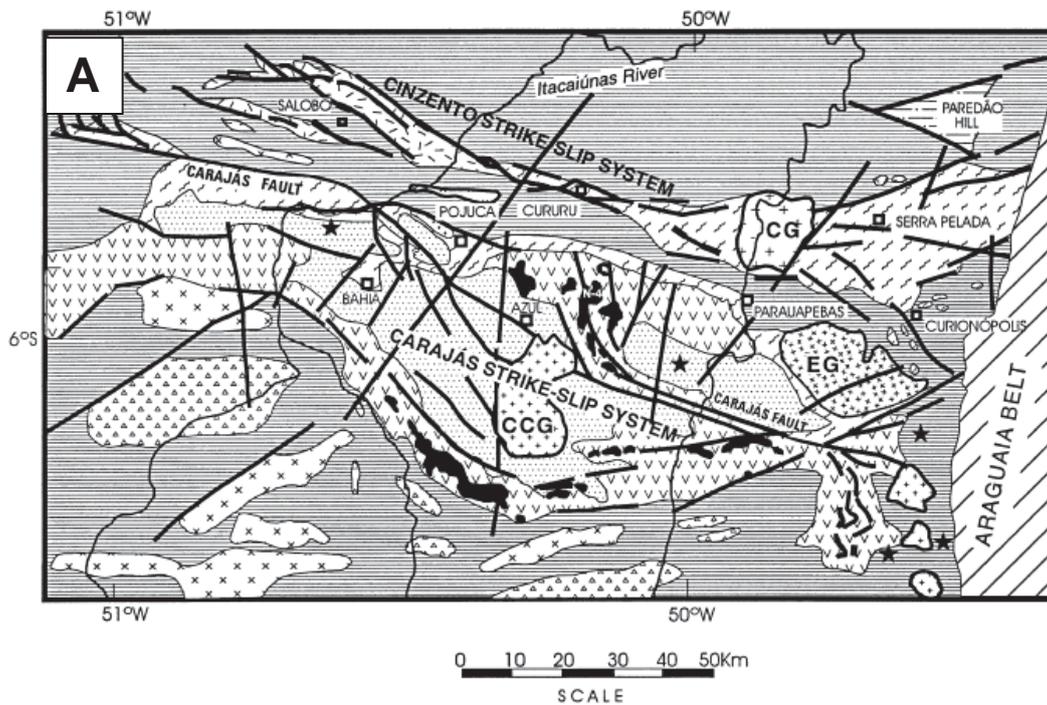


#### 4.2. Estratigrafia

O Cinturão Itacaiúnas contém seqüências vulcano-sedimentares metamorfizados em variados graus, apresentando grandes volumes de litotipos máfico-ultramáficos e sedimentos diversos, sendo que esta unidade tectono-estratigráfica apresenta-se compartimentada através de domínios graníticos, granito-gnáissicos e maciços ultrabásicos, portadores de diferentes graus metamórficos e de distribuição heterogênea da deformação, desmembrando as seqüências e dificultando a sua correlação. A presença de associações gnáissicas remete aos complexos Xingu e Pium, enquanto que os granitóides apresentam-se como corpos estruturados ou não, de idades arqueanas e proterozóicas, além de coberturas sedimentares também arqueanas e não metamorfizadas (Grainger et al. 2008).

As unidades estratigráficas presentes no Cinturão Itacaiúnas e uma coluna estratigráfica pertinente estão representadas na Figura 4.3. A.

**Figura 4.3.** – A) Mapa geológico da região de Carajás, indexada no Cinturão Itacaiúnas. Setores negros representam os afloramentos de formações ferríferas no interior do Grupo Grão Pará; CCG: Granito Central de Carajás, CG: Granito Cigano, EG: Granito Estrela. B) Coluna tectono-estratigráfica simplificada para a área. Traduzida de Pinheiro & Holdsworth (1997b). Legenda consiste na coluna estratigráfica dada pela figura 4.2. B.



Unidades litológicas		Idade	Meta mor fismo	Deformação
Assembléia de cobertura	GRUPO SERRA GRANDE siltitos e arenitos	SIL - ORD		Rúptil
	FM GOROTIRE:☆ arenitos líticos e conglomerados polimíticos	Neo-proterozoico	Sem deformação	
	GRANITOIDES AND DYKES	Meso-proterozoico		Ausente
	FM AGUAS CLARAS sedimentos clásticos	1.9-1.0 Ga	Alteração hidrotermal	
	GRUPO GRAO PARA m-basaltos m-sedimentos ferríferos m-riolitos	2.7-2.6 Ga		
GRUPO IGARAPE POJUÇA m-sedimentos vulcânicos básicos ferríferos	2.7 Ga	XV Baixo	Rúptil dúctil a rúptil (temperatura muito baixa)	
Assembléia de Embasamento	GRUPO IGARAPE SALOBO quartzitos, gnaissos anfíbolitos e ferríferos	3.0-2.7 Ga	Anfíbolito a granulito	Dúctil (Baixa temp.)
COMPLEXO GRANITO-GNAISSICO C. Xingu C. Plum Granito Plaque Gnaissos tonalítico-granodioríticos polimetamórficos e migmatitos. Granulitos. Granitos sin-tectônicos e supracrustais.	Zona de Cis. Itacaiúnas (dúctil de alta temperatura)			

Pinheiro & Holdsworth (1997b) divide os litotipos entre uma assembléia de embasamento, de maior grau metamórfico e patente deformação, e outro agrupamento de cobertura, que contém os litotipos de menor grau metamórfico e que constituem as seqüências vulcano-sedimentares de

idade arqueo-proterozóica e correspondendo ao Supergrupo Itacaiúnas de DOCEGEO (1988), parte da nomenclatura estratigráfica empregada neste trabalho é herdada de DOCEGEO (1988).

#### Assembléia do embasamento

O embasamento cristalino na região é formado por uma associação granito-gnáissico dos complexos Pium, Xingu e Granito Plaque, caracterizado respectivamente por: ortognaisses granulíticos félsicos, ortognaisses e migmatitos polimetamórficos de tendências tonalítico-granodioríticas metamorfizados em fácies anfibolito-superior e por último granitóides sintectônicos.

O Complexo Pium apresenta idade maior que o Complexo Xingu, respectivamente 3,0 Ga e 2,9 Ga (Pinheiro & Holdsworth 1997b). As ocorrências do Complexo Pium e dos Granitos Plaque são localizadas e restritas e formam corpos isolados, orientados de acordo com as estruturas regionais, enquanto que o Complexo Xingu compreende grande extensão em área, englobando os demais grupos litológicos.

O Grupo Igarapé Salobo como proposto por DOCEGEO (1988), compreende uma associação de quartzitos, anfibolitos, formações ferríferas e subordinadamente gnaisses, com deformação polifásica, as paragêneses minerais registram metamorfismo alcançando fácies anfibolito a granulito. Tais litotipos ocorrem em faixas de direções NW, com altos mergulhos, restritos ao Cinturão Itacaiúnas e à norte da Serra Norte, incluso em meio aos complexos Pium e Xingu.

#### Assembléia de Cobertura

As unidades litológicas consideradas como de cobertura do embasamento compreendem os grupos Igarapé Pojuca e Grão Pará, constituídos por associações vulcano-sedimentares arqueanas, com grandes contribuições vulcânicas de quimismo básico, ultrabásico, intermediário e ácido, sedimentos químicos e clásticos, compreendendo xistos e com formações ferríferas inclusas nas duas unidades, sendo proeminentes no Grupo Grão Pará, metamorfizadas em fácies xisto-verde.

O Grupo Grão Pará, considerado hospedeiro das mineralizações de Ferro e alvo deste trabalho, carece de melhor descrição. Como definido por DOCEGEO (1988), constitui-se de três sub-unidades, incluindo intercalações sedimentares e vulcânicas: Unidade Paleovulcânica Inferior - constituída de basaltos e vulcânicas félsicas; Formação Carajás - dada por formações ferríferas, seus respectivos produtos de alteração e intrusões máficas e Unidade Paleovulcânica Superior - basaltos de topo.

Anteriormente a unidade Paleovulcânica Inferior foi denominada por Meireles et al. (1984) como Formação Parauapebas, sendo preferida neste trabalho esta denominação, constituída por todos os membros meta-vulcânicos máficos e félsicos, enquanto a Formação Carajás engloba apenas as formações ferríferas e suas intercalações vulcânicas máficas, em um pacote com espessura de até 400m e metamorfizadas em baixo grau. A Formação Parauapebas está

assentada sobre o Complexo Xingu por meio de uma discordância, o contato superior dá-se com sedimentos proterozóicos pouco deformados e não metamorfizados da Formação Águas Claras.

A deposição do Grupo Grão Pará é considerada como no intervalo aproximado de 2750-2740 Ma (Trendall et al 1988), por meio de investigação U/Pb SHRIMP em riolitos, doleritos penetrantes na unidade, tufos entre outros litotipos e suas relações estruturais.

A Formação Águas Claras se sobrepõe ao Grupo Grão Pará por meio de uma discordância, compreendendo arenitos e siltitos em uma seqüência sedimentar clástica com ambiência marinha rasa a fluvial, definida por Nogueira et al (1995), datada do Proterozóico Superior, isenta de metamorfismo, com deformação rúptil a fracamente dúctil, que encobre as unidades anteriormente descritas.

Sills e diques de composição básica atravessam tanto a Assembléia de embasamento quanto a Formação Águas Claras, sendo datados do Paleo-proterozóico, além de diversos corpos graníticos tipo Granito Central de Carajás, Salobo Velho e Cigano no período entre 2,5 a 1,8Ga, sendo granitos anorogênicos amplamente difundidos pelo Cráton Amazônico, que intrudem a seqüência da mesma forma como os sills e diques descritos anteriormente (Pinheiro & Holdsworth 1997b)

A Formação Gorotire e o Grupo Serra Grande, de idades respectivamente neoproterozóica e siluro-ordoviciana, compreendem coberturas sedimentares de arenitos líticos ou não, conglomerados polimíticos e siltitos, não metamorfizadas, apresentando apenas deformação rúptil, que se assentam sobre as unidades mais antigas através de uma discordância além de aflorarem com pequena expressão em área.

Pereira (2009) propõe a denominação de uma nova unidade de natureza sedimentar, constituída por psamitos e ruditos, sotoposta tectonicamente ao Grupo Grão Pará e não integrante do mesmo, denominada informalmente de Unidade Caninana, devido a seu contato ser dado por falha homônima, com idade máxima para sua deposição em 2011 Ma (U-Pb SHRIMP), sendo que sua deposição está balizada estruturalmente entre 2011 e 1808 Ma. Esta unidade ocorre em um domínio anteriormente tido como do Grupo Grão Pará, de idade arqueana.

### **4.3. Aspectos estruturais**

A estruturação da Serra dos Carajás foi reconhecida inicialmente por Beisiegel et al. (1973), os autores propõem um arranjo em sinclínório com caimento para WNW, de extensão superior a 1000km e largura de até 100km, acompanhado de diversos falhamentos e zonas de cisalhamento com orientação subparalela a seu plano axial, situada no interior do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas e sendo cobertas por meta-sedimentos proterozóicos do Cinturão Araguaia a Leste.

Rosière et al. (2005) reconhece na Serra dos Carajás um par sinformal-antiformal em forma de "S", associado a um sinclínório como proposto por Beisiegel et al (1973) onde as cristas

das serras Sul e Norte representam os flancos, onde a porção Sul apresenta mergulhos para NW, apresentando também a estiramento dos flancos e segmentação de blocos na zona de charneira.

Araújo e Maia (1991), Pinheiro & Holdsworth (2000) e Rosière et al. (2005) além do dobramento de grande escala descrevem também zonas anastomosadas de cisalhamento sinistrais no interior do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas como as de Carajás e Cinzento, orientadas subparalelamente à Dobra de Carajás, ou seja, de orientação aproximadamente E-W, acompanhando sua orientação axial e deslocando os flancos, segmentando em *splays* N-S, tais blocos exibem foliações extremamente marcadas e patente silicificação. Já a Zona de Cisalhamento Cinzento configura o flanco rompido comum do par sinforme-antiforme e não atua na área de mapeamento de forma direta.

Pereira (2009) analisa a porção Sul da Serra Norte, na vizinhança dos depósitos N4, N5 e contemplando os platôs N6, N7, N8 e N9, e divide a evolução estrutural em quatro fases deformacionais: 3 compressivas e 1 extensional, esta sendo a última na sucessão, sendo as duas primeiras, D1 e D2, possivelmente fases de um evento progressivo incidente sobre o Grupo Grão Pará (Neoarqueano).

Fase D1: Estruturação da Dobra de Carajás- dobramento dos estratos através de dobras suaves a abertas tipo paralela, além de dobras em *chevron* e em caixa localizadamente, sendo em geral dobras centimétricas a métricas, com caimento entre 30 e 70° dos estratos para SW, sem foliação plano-axial associada. Eixos de direções NW-SE e WNW-ESSE, caindo até 20° para NW são em geral retilíneos a ondulados, superfícies axiais são planas a curvilineares.

Fase D2: Instalação da Zona de Cisalhamento Carajás - sistema de faixas de deformação anastomosadas subparalelos de direção WNW-ESE e WSW-ENE, com forte compartimentação da deformação apresentando zonas de deformação acentuada, presença de falhamentos de empurrão em uma tectônica transpressiva, com concentração da deformação ao longo de contatos litológicos. Foliação dada por minerais placóides em uma clivagem espaçada com uma atitude variável, em torno de 200/36, em geral expressiva nas zonas de deformação mais acentuada no interior dos blocos limitados pelos *splays* da zona de cisalhamento. Dobramento por flexuras normais a reclinadas, assimétricas, de comprimento de onda métrico a centimétrico em tipos abertos a fechados, onde os planos axiais geralmente são subverticais e os eixos das mesmas tem caimento moderado a alto para SW, W e S.

Fase D3: Idade paleoproterozóica - Falhas reversas e de empurrão em direção NW-SE, infletindo a N, com inversão estratigráfica, formação de estruturas e reativação de estruturas D2 em uma tectônica de caráter rotacional horário em algumas partes com o basculamento de blocos num eixo horizontal NW-SE. Sobreposição do Grupo Grão Pará à Unidade Caninana, sendo esta reconhecida como mais nova no mesmo trabalho por meio de datações (entre 2011 e 1808 Ga).

Fase D4: falhamentos normais de *trend* NNE, cortando todas as unidades e truncando as estruturas anteriores.

Segundo Rosière & Chemale Jr. (2000) as formações ferríferas não apresentam foliação penetrativa associada a nenhuma fase deformacional, estando dobradas de modo ondulado e formando também *kinks* indicando um comportamento rúptil a rúptil-dúctil nas condições de temperatura-pressão do regime de esforço.

Observam-se também fragmentos de associações litológicas similares a *greenstone belts*, como as serras do Rabo, Salobo, Leste que não demonstram continuidade estrutural com a Serra dos Carajás, podendo as mesmas ser correlacionáveis (Rosière et al 2005).

#### **4.4. Modelos evolutivos**

Os modelos evolutivos de Pinheiro & Holdsworth (2000) e Rosière et al (2005) , são os mais amplamente aceitos para a área.

Diferenciam-se no tocante à segmentação das fases de deformação e seus efeitos, enquanto o segundo trata de uma forma mais simplista o primeiro elabora um modelo com diferentes fases de regimes tectônicos distintos, contando com regimes de transpressão, com fases de abertura e re-abertura das bacias consideradas para os diferentes agrupamentos estratigráficos, além de sucessivas reativações das estruturas pretéritas, com a preservação de grupos de rochas especialmente em calhas baciais e por falhamentos posteriores à consolidação destas rochas.

O modelo apresentado por Rosière et al (2005) leva em conta duas fases deformacionais no que tange ao período Arqueano, não referencia a eventos posteriores, descritas a seguir: encurtamento com direção N-S com o desenvolvimento das dobras Carajás e correlatas, com intrusão sintectônica do Granito Estrela e deformação particionada ao redor do Complexo Pium e Granitos Plaque, com o Complexo Xingu agindo como um embasamento; segundo evento deformacional com a formação de estruturas aproximadamente E-W, representantes de bandamento composicional, clivagens e fraturas relacionadas a zonas de cisalhamento transcorrentes que acomodaram deformação por escape lateral em uma ambiência tectônica de um arco magmático em desenvolvimento associado a uma zona de subducção.

A deformação e metamorfismo registrada nas seqüências vulcano-sedimentares da porção Norte da PMC e nos magmatitos proterozóicos e neoarqueanos, indicam que o substrato granito-gnáissico (assembléia de embasamento) representa um nível crustal inferior subjacente a coberturas supracrustais, sem evidências de falhamentos de empurrão e compreendendo este um domínio de crosta rasa, onde a deformação pode estar associada unicamente a falhamentos em profundidade.

#### **4.5. Contexto metalogenético das formações ferríferas**

No que tange a evolução do minério de ferro de Carajás, as propostas são diversas, com modelos considerando as formações ferríferas como produtos de precipitação sedimentar apenas, desconsiderando fatores diagenéticos, hidrotermais e supergênicos, até os modelos mais

modernos que contemplam tais premissas, embasados em técnicas avançadas de análise e comparações a depósitos de alto nível de conhecimento no exterior, sendo as propostas mais recentes discutidas a seguir.

Lindenmayer et al (2001) considera as formações ferríferas do Grupo Grão Pará como precipitados químicos de ambientação marinha rasa, com possível interferência biótica em zona fótica constatada a partir de esferulitos, onde as soluções hidrotermais de baixa temperatura, provenientes da lixiviação dos basaltos sotopostos eram as responsáveis pelo transporte do Fe em solução.

Figueiredo e Silva et al (2008) avalia os depósitos de Serra Norte por uma sistemática baseada em análise estrutural, petrografia aplicada ao minério, as venulações nele presentes e suas encaixantes, aliado a análise geoquímica de traços e estudo de inclusões fluídas. O modelo publicado avança a um enriquecimento dos protólitos ferríferos por soluções hidrotermais de filiação magmático-meteorica, canalizados pelas fraturas do Sistema Transcorrente de Carajás, com uma evolução de paragêneses e zoneamento bem definido, com temperaturas variando entre 150-250°C, onde os isótopos de O, S e C indicam possível proveniência dos fluidos com fontes magmáticas.

Pereira (2009) baseado em estudos realizados na porção Sul da Serra Norte, em Carajás, avança que a mineralização hidrotermal, ou seja, o enriquecimento hidrotermal dos jaspilitos tenha ocorrido anterior a 2011 Ma, dado o fato de que uma unidade sedimentar, não formalizada e denominada Unidade Caninana, aflorante na região estudada contém fragmentos de jaspilitos enriquecidos e minérios de ferro.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1. Sensoriamento remoto

A análise de dados provindos dos sensores passivo óptico Landsat e ativo SAR apresentaram resultados inconclusivos para o auxílio no mapeamento geológico, fato devido especialmente à presença da extensa cobertura vegetal presente e à resolução desses sistemas de imageamento para a escala de mapeamento executada.

Seu uso para fins geológicos se restringiram para a delimitação de anomalias geobotânicas, extração de drenagens e análise de lineamentos estruturais. Imageamento IKONOS de alta resolução permitiu uma melhor definição dos contatos geológicos, além de refinar as informações obtidas pelos outros dois sistemas de sensoriamento citados.

O traçado de lineamentos de relevo utilizando as imagens Landsat e SAR foram realizadas por método manual e sua análise foi feita em relação à direção dos mesmos.

#### Landsat

Imagens Landsat permitiram uma precisa delimitação da área de vegetação de grande porte, floresta equatorial, em detrimento da área de vegetação savanítica que encobre as zonas de intensa alteração laterítica onde ocorre o minério de ferro típico na PMC.

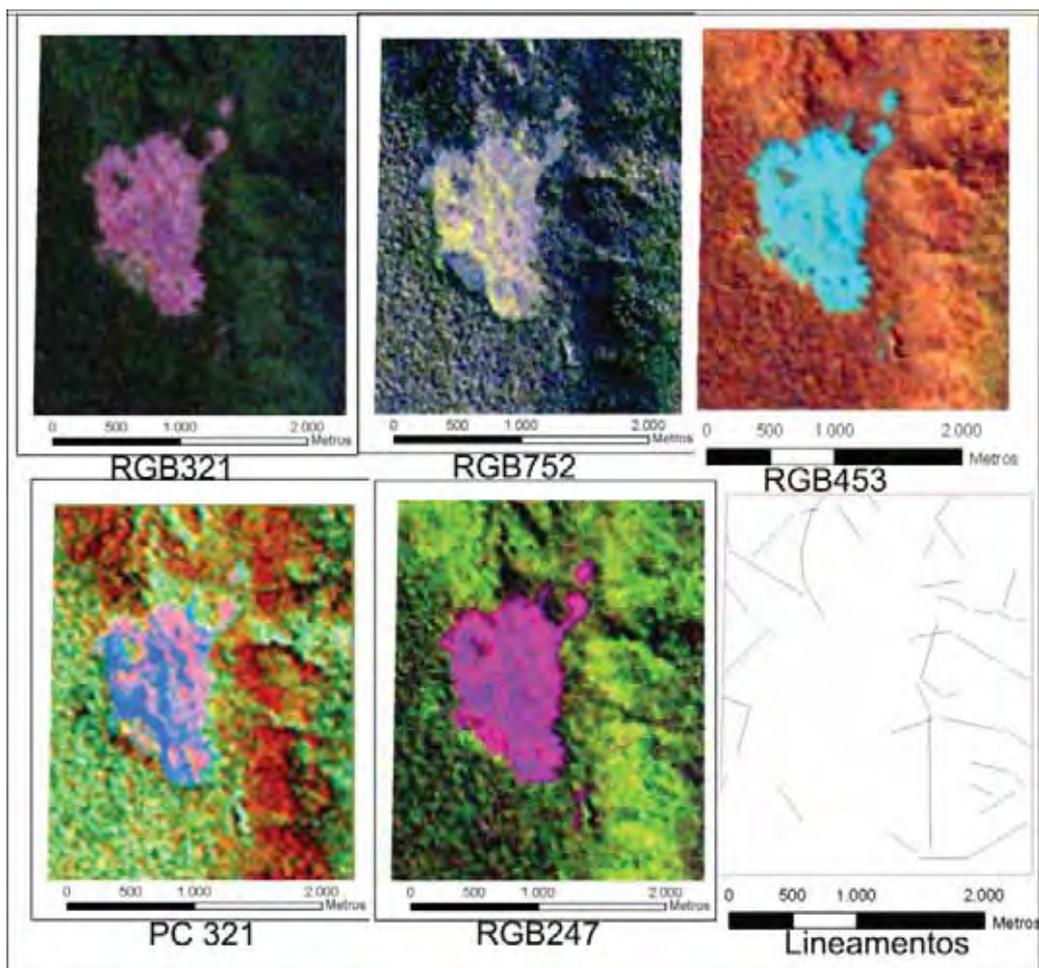
Composições em cor real e falsa-cor, produzidas por intermédio de combinações das bandas do sensor Landsat possibilitaram uma separação entre diferentes tipos florestais, a identificação de uma zona de vegetação pouco desenvolvida, de relevo plano no topo dos platôs, fatos verificados em campo, permitem assinalar essas zonas de vegetação deficitária como áreas de afloramento de tipos de coberturas com capacidade nutricional pouco desenvolvida, fato devido à intensa lixiviação do terreno, onde se observa afloramento de coberturas detrítico-lateríticas (ver capítulo Estratigrafia, 5.3 na seção Geologia Local).

As composições coloridas elaboradas e utilizadas foram as seguintes, ordenadas segundo as bandas utilizadas para a composição de cor no sistema RGB (*Red-Green-Blue*) do espectro visual: RGB321 (cor real), imagens em falsa-cor RGB453, RGB752 e RGB247, além da composição PCA321 (PCA da RGB321). A Figura 5.1. mostra as composições e os lineamentos extraídos.

O realce entre os domínios tonais, baseados no espectro de cada emissão apresenta sempre similaridade, indiferente da composição, sendo que a RGB453 se distingue por apresentar maior contraste para as feições estruturais do terreno enquanto a PC321 apresenta uma maior setorização da área, em vista do processamento matemático que permite distinguir relações entre as diferentes bandas do espectro eletromagnético.

Nota-se que no interior da zona pouco vegetada, há zonas de diferentes tonalidades independente da composição, estas zonas demarcam sub-tipos de vegetação savanítica.

Figura 5.1. –Imagens compostas Landsat geradas e lineamentos extraídos.



A distribuição estatística dos alinhamentos nas imagens Landsat é dúbia, contando com 112 alinhamentos contabilizados, onde se observam padrões para N-S, E-W, NW-SE e NE-SW.

### **SAR – *Syntethic Aperture Radar***

Imageamento por meio do sensor ativo SAR mostrou-se eficaz para a determinação das estruturas presentes no terreno, visto que sua interação com a superfície permite ultrapassar o dossel florestal, subtraindo dados acerca do substrato rochoso. A amostra analisada é dada pela Figura 5.2, junto dos lineamentos extraídos e domínios de resposta definidos.

A análise de tais imagens permitiu a distinguir feições topográficas, como a delimitação das zonas de maior elevação. Na escala de trabalho a diferenciação de zonas homólogas apresentou-se de baixa qualidade em vista da resolução do imageamento

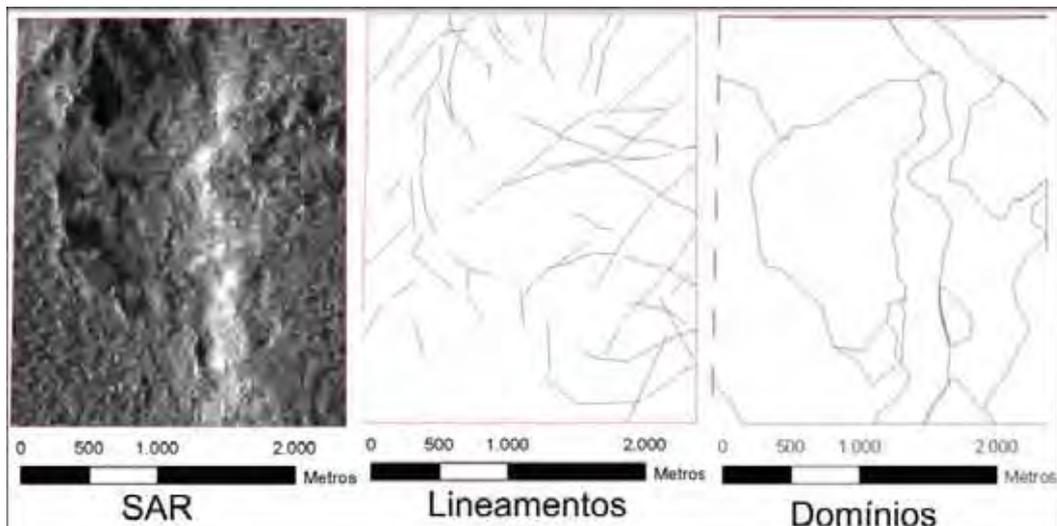
Assim critérios de rugosidade do terreno e sua micro-topografia ficam prejudicados na análise devido a uma intensa homogeneização dos mesmos.

Observa-se que as zonas intensamente vegetadas nas imagens Landsat apresentam topografias mascaradas em seu interior, com a presença de alinhamentos pouco perceptíveis nas mesmas, observa-se que o imageamento SAR apresenta maior número de lineamentos extraídos, contando com uma banda de polarização apenas, sendo observada nitidamente a zona de

encosta do platô, com uma direção preferencial N-S além dos vales escavados pelas drenagens, especialmente na zona Norte do mesmo, como mostra a Figura 5.2.

A análise desta imagem possibilitou a extração de 164 alinhamentos, de diferentes extensões e em geral segmentados em pequenas dimensões, tomando uma direção preferencial NE-SW, subordinadamente N-S.

**Figura 5.2.** – Amostra do imageamento SAR, lineamentos extraídos e domínios observados a partir do mesmo.



Domínios de diferentes texturas foram setorizados, servindo como critério para a compartimentação litológica mediante confirmação no mapeamento, uma vez que a microtopografia das mesmas pode estar afetadas pela direção do imageamento, pode-se observar que corpos de água no topo no platô apresentam isotropia e valores de baixa reflexão.

Assim as informações extraídas a partir do sensor SAR assim como o Landsat se restringiram praticamente aos alinhamentos do relevo, que serviram para a extração de drenagens e foram interpretados como possíveis indicadores das propriedades geológicas do terreno, como estruturas dúcteis, rúpteis - falhamentos e drenagens, estas possivelmente associadas a contatos geológicos e estruturas rúpteis.

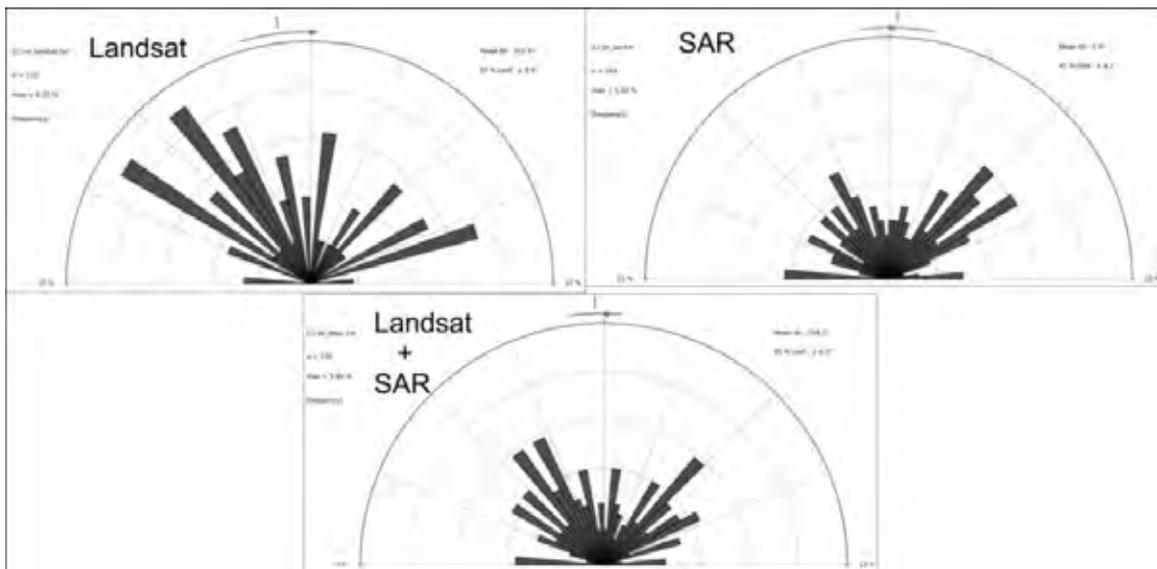
A Figura 5.3. mostra as distribuições estatística - espacial dos alinhamentos, levando em consideração sua orientação, diagramas de roseta são indiferentes ao comprimento dos mesmos e são analisados lineamentos extraídos manualmente, mostrados na Figura 5.4.

Análise estatística dos dois métodos mostra que pode haver recorrência entre alinhamentos, a distribuição mostra orientações preferenciais NW-SE, NE-SW e aproximadamente N-S para os dois sensores analisados.

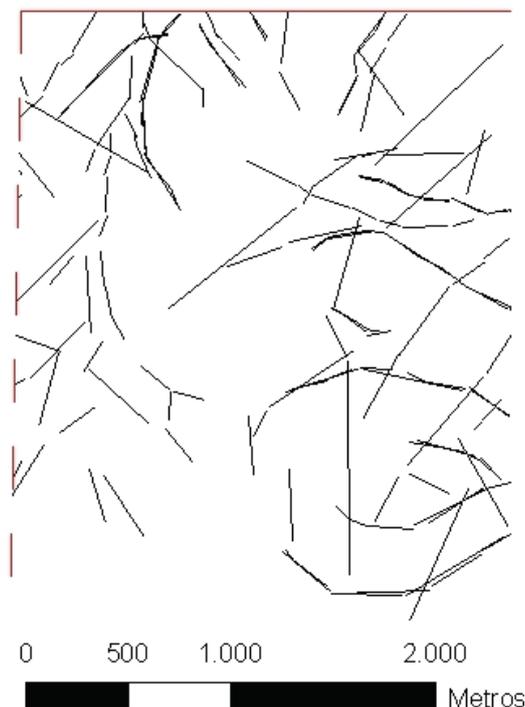
Observa-se que a maior parte dos alinhamentos apresenta traçado retilíneo, sendo muitas vezes segmentados em porções menores (visível em escalas maiores), com orientações pouco variáveis.

Tais alinhamentos são interpretados como leitos de drenagens, elevações no relevo, traços de acamamento, fraturas e possíveis diques e eixos de dobras. Porém a maior parte de sua confirmação fica impossibilitada em vista da natureza da cobertura detrito-laterítica e florestal que ocorre no local. Parte desses alinhamentos pode representar fraturas, preenchidas ou não, de rejeitos provavelmente não reconhecíveis na escala de mapeamento e com as coberturas observadas.

**Figura 5.3.** – Diagramas de rosetas para os lineamentos extraídos dos sensores Landsat e SAR, distribuídos a partir de suas orientações e sua frequência estatística na área, o raio máximo das semicircunferências corresponde a 10%, sendo os internos de 2%, reduzidos de 360 para 180° de azimute, subdivididos em classes de 5°.



**Figura 5.4.** – Mapa dos alinhamentos totais extraídos das imagens Landsat e SAR para o platô N6, sendo o Norte para o topo.



Observa-se uma concordância entre alinhamentos N-S, NNE e fraturas medidas em campo (discutidas a seguir) confirmando sua penetratividade ao longo da área, compatíveis com a deformação extensional da fase D4 definida por Pereira (2009), baseado também no fato dos mesmos truncarem os demais lineamentos; fraturas NS são consideradas também como produtos da deformação proveniente da instalação da Zona de Cisalhamento Carajás com sua segmentação em *splays* N-S (conforme Pinheiro & Holdsworth 1997a).

Alinhamentos NW-SE apresentam correlação com a estrutura principal reconhecida, com o caimento das unidades de Hematita Laminada Lateritizada para SW em um direção NW-SE, sendo truncados pelos alinhamentos NE-SW, sendo estes posteriores aos primeiros, junto dos alinhamentos N-S referidos e confirmados em campo como uma família de fraturas penetrativa na área e observado em todas as unidades de mapeamento

## 5.2. Geofísica

A geofísica apresenta boa correlação com a geologia do terreno, especialmente no que tange às formações ferríferas, sendo as mesmas as rochas de maior densidade encontradas na área pelo seu teor de minerais de ferro e suas propriedades magnéticas.

O método 3D-FTG permite a definição das possíveis áreas de ocorrência das formações ferríferas e seus produtos de alteração tanto em superfície como em sub-superfície através da filtragem dos dados para a densidade de  $2,8 \text{ g/cm}^3$ , como mostra a Figura 5.5, onde estão representados os produtos geofísicos  $T_{xxzz}$  e  $T_{zz}$  para  $2,80 \text{ g/cm}^3$ .

Suas derivadas nas direções x, y e z, ou seja  $T_{xx}$ ,  $T_{yy}$  e  $T_{zz}$ , indicam as zonas de distribuição em subsuperfície dos jaspilitos. Como exemplo pode-se observar que a porção centro-norte da área apresenta grande homogeneidade, tanto na  $T_{xx-yy}$  ou  $T_{xx-zz}$ , dada pela distribuição da canga de minério sobre as formações ferríferas em subsuperfície

Dados magnetométricos permitem tecer interpretações sobre as estruturas locais, sendo nesta seção apenas explicadas estando as mesmas interpretadas na seção Geologia Estrutural – 5.3.2.

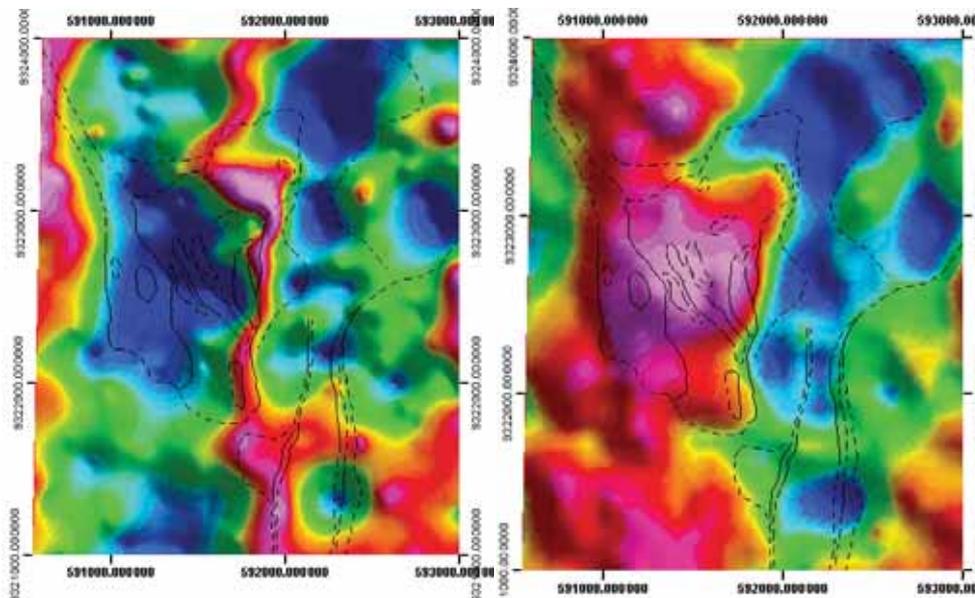
O tratamento da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) indica as áreas com maior intensidade do sinal magnético/forte magnetização ou os locais onde as fontes emisoras apresentam-se mais rasas com um declínio na intensidade do sinal na direção NE-SW, condizente com o mergulho medido das camadas em campo.

Os sinais magnetométricos processados pelo método da *Tilt derivative* (TDR) apontam os locais onde o sinal magnético apresenta variações na sua inclinação permitindo inferências acerca da presença de corpos magnetizados locais ou variações na morfologia destes corpos magnetizados.

Assim as zonas com maiores inclinações do sinal magnético (em radianos) podem ser consideradas como zonas de charneira dos corpos magnéticos, ou seja, os jaspilitos, em vista do padrão assimétrico da inclinação do sinal no perfil da zona anômala se pode dizer que essas

zonas de inflexão são assimétricas, possivelmente constituindo charneiras angulosas e de espaçamento decamétrico.

**Figura 5.5** – Imageamento gravimétrico da área. Esquerda) Variação do potencial gravimétrico nas coordenadas x e z (Txxz). Direita) Variação do potencial gravimétrico no eixo z (Tzz) calibrado para uma densidade de 2,8 g/cm<sup>3</sup>. Linhas tracejadas representam contatos geológicos.



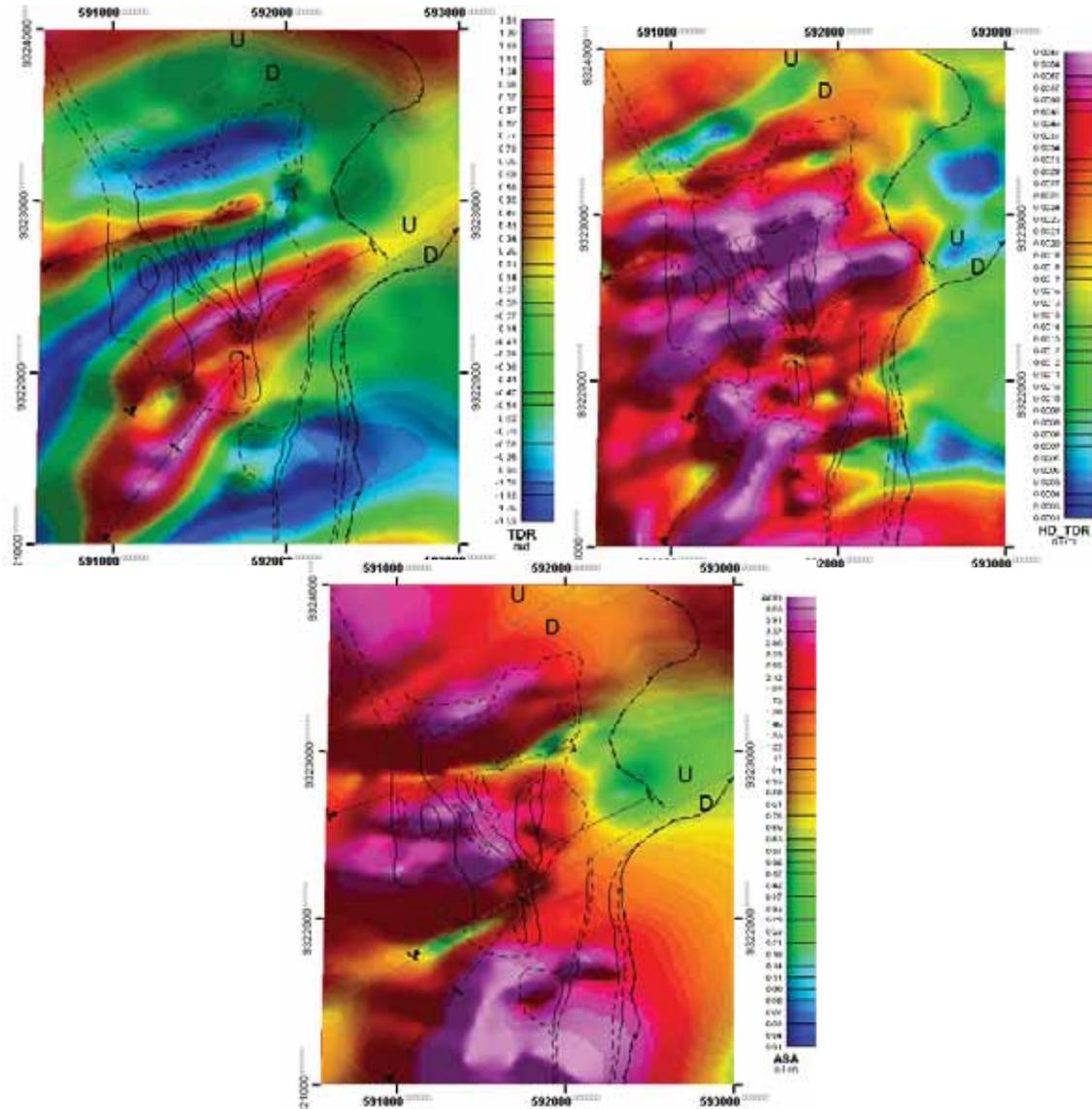
Zonas de baixa inclinação do sinal subparalelas em seus vãos indicam que a inclinação dos estratos se reduz, como mostra a Figura 5.6. Cabe ressaltar que os eixos inferidos para essas feições são ondulados e o mergulho dessas estruturas é considerado como de ângulo médio-alto, possivelmente na mesma monta que o mergulho desses estratos.

A definição do fechamento dessas estruturas leva em consideração as informações de campo, em seguida as informações gravimétricas e em última instancia variações no sinal magnético TDR.

A forma das derivadas da variação do sinal magnético (*horizontal derivative of tilt derivative* – HD-TDR) mostra que esses corpos magnetizados apresentam uma magnetização muito variada com grandes contrastes gerando feições NE-SW, sendo estas o produto de concentrações variadas primárias em magnetita ou posteriores, associadas a deformação da seqüência ou à sua martitização durante metamorfismo ou alteração supergênica destes jaspilitos.

Descontinuidades nos sinais analíticos indicam anisotropias no terreno, aqui interpretadas como desmagnetizações ou ausência de material magnético, sendo apenas os jaspilitos os litotipos magnéticos. Feições lineares podem ser interpretadas como fraturas, associadas também a inflexões nos eixos de flexuras interpretadas.

**Figura 5.6.** – Imageamento magnetométrico da área. Superior Esquerda) Sinal MAG-TDR onde se podem divisar as feições tectônicas associadas a jaspilitos. Superior Direita) Sinal MAG-HD\_TDR percebe-se a heterogeneidade no sinal magnetométrico no interior dos pacotes de jaspilito, com tropia NE-SW, subparalelamente às flexuras interpretadas. Inferior) Sinal MAG-ASA onde se observam três blocos divididos, extensos na direção NE-SW, considerados como a expressão em subsuperfície da presença de jaspilitos. Linhas tracejadas grossas e finas representam respectivamente flexuras, falhas e contatos.



### 5.3. Geologia Local

#### 5.3.1. Estratigrafia

A área estudada apresenta litotipos pertinentes ao Grupo Grão Pará, também da Unidade Caninana e coberturas detrítico-lateríticas recentes, o primeiro de idade arqueana e a segunda paleo- a mesoproterozóica, as coberturas não estão expressas no capítulo 4.2 – Estratigrafia.

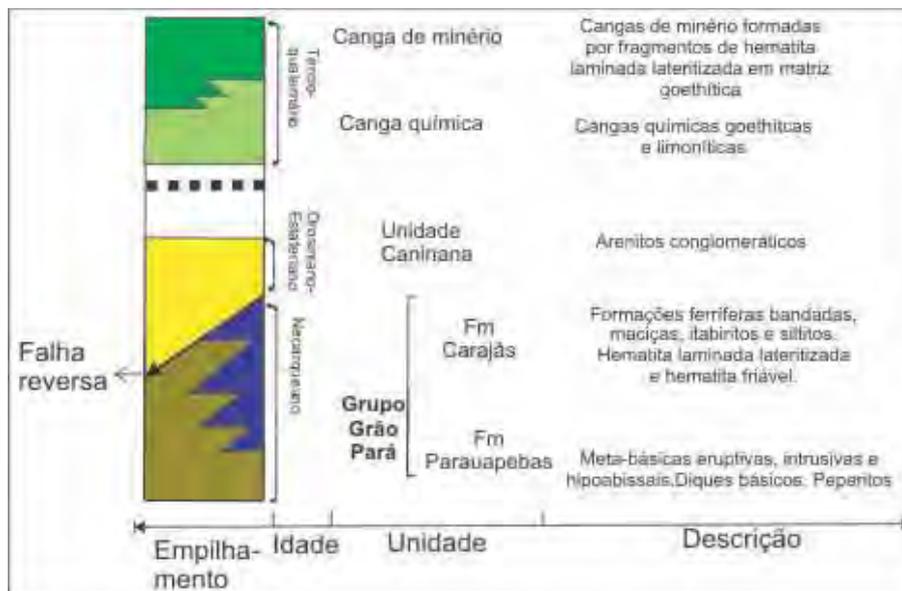
Coberturas detrítico-lateríticas mapeáveis na escala do trabalho contemplam os produtos da alteração ferrosa-aluminosa sobre basaltos da Formação Parauapebas, denominadas Cangas Químicas (CQ), remanescentes de solos argilosos e ferrosos e Canga de Minério (CM), uma cobertura de alteração associada às formações ferríferas da Formação Carajás.

Pertinente à Formação Carajás (Gr. Grão Pará) ocorrem os produtos de alteração sobre formações ferríferas, jaspilitos e subordinadamente itabiritos, hematita laminada lateritizada e níveis de minério/hematita friável, esta em subsuperfície. Tais unidades são descritas a frente em conjunto com seus protólitos observados em sondagens.

Os litotipos não-intemperizados apresentam raros afloramentos, constituindo quase sempre blocos devido à dinâmica geomorfológica controlada pelo intenso intemperismo associado à atividade biótica.

A Figura 5.7. mostra a coluna estratigráfica síntese da área.

**Figura 5.7** – Coluna estratigráfica sintética para a área do Platô N6.



### 5.3.1.1. Formação Parauapebas

Esta unidade contempla uma seqüência vulcânica de natureza básica, apresentando feições de efusão, porções diferenciadas mineralogicamente e em relação à granulação, intercalações com formações ferríferas além de corpos intrusivos e em superfície seus produtos de alteração.

#### *Seqüência vulcano-plutônica*

Os litotipos da Formação Parauapebas não alterados são identificados apenas através dos testemunhos das sondagens realizadas na região, em vista do capeamento detrítico-laterítico.

Ocorrem como um espesso pacote, maior que 150m de espessura onde se observam rochas meta- máficas como basaltos majoritariamente e corpos de diabásio, dolerito e gabros muito localizadamente, metamorizados em fácies xisto-verde muito baixo/metamorfismo de fundo oceânico, consiste numa seqüência homogênea e monótona, com pouca variação litológica sendo notável as intercalações de formações ferríferas da Formação Carajás.

Tais litologias apresentam-se intemperizadas em profundidades de até 100m, com a caulinitização de plagioclásio e formação de argilominerais a partir de piroxênios/clorita. A seqüência é dada especialmente por basaltos maciços, de granulação muito fina, localmente porfíricos e vesiculados e também com xenólitos de metabásicas, são holocristalinos, faneríticos.

Sua coloração é verde-acinzentada escura, com pontuações esverdeadas mais escuras dadas por cristais porfiróides de clorita, possivelmente sobre fragmentos de vidro vulcânico ou piroxênios pseudomorfizados, encontrados ocasionalmente como fragmentos angulosos isolados, quando alterada essa rocha apresenta material esbranquiçado intersticial à rocha, sendo possivelmente uma sericitização/argilização dada pela alteração do plagioclásio, visto que nas zonas mais rasas dos furos encontra-se freqüentemente alterado para um produto argiloso de coloração bege. A Figura 5.8. mostra os aspectos visuais destes litotipos.

A granulação desses basaltos é muito fina, inferior a 0,1 mm, sendo perceptível ocasionalmente o entorno de cristais sub-tabulares de plagioclásio e prismáticos de piroxênio, estes que na sua grande maioria estão transformados em clorita ou biotita, esta muito pouco freqüente e restrita às zonas estruturadas nos contatos entre litotipos. Em geral são compactos com algumas porções vesiculadas com preenchimentos concêntricos de clorita, carbonatos e quartzo, de contatos abruptos com seu entorno e arredondadas. (Figura 5.8. B e C)

Ocorrem também em meio a seqüência corpos discordantes aos basaltos, de granulação homogênea, mais grossa alcançando granulações médias, de composição máfica, dada por plagioclásio fino, piroxênios/clorita maciços, compactos que atravessam a seqüência, perfazendo intervalos de até 10,0m nas sondagens considerados como diabásios, provavelmente diques alimentadores da seqüência vulcânica.

Nos níveis inferiores dos furos N6-0009, N6-0005 e outros ocorrem níveis de rocha máfica de granulação média a grossa, com cristais de até 2,0mm de piroxênio pseudomorfizados em clorita, além de plagioclásio sub-tabular sericitizado, com magnetita associada, constituindo gabros, sendo estes níveis pouco espessos, de contatos lobulados, formando corpos ondulados de espessuras variáveis e formados a partir de diferenciação local destes corpos magmáticos.

A ondulação destes corpos pode ser dada por sua gênese durante a cristalização magmática ou uma resposta diferencial quando da deformação acometida à seqüência, devido à sua reologia. A Figura 5.9. Ilustra estes litotipos.

Os litotipos da Formação Parauapebas não apresentam a olho nu uma estruturação tectônica, sendo a clorita que forma a massa máfica sempre maciça, havendo estruturação apenas no entorno dos contatos com as formações ferríferas, onde se observa a formação de venulações subparalelas, sendo estas venulações onduladas e a matriz máfica apresenta leve tropia planar anastomosada subparalela tanto ao contato e às venulações, dada pela isorientação de tábulas de clorita, sendo esta feição inerente à deformação acometida à sucessão estratigráfica.

**Figura 5.8.** – A) Intervalo com rocha máfica típica da Formação Parauapebas, com pórfiros de piroxênio cloritizados (setas vermelhas) e vesículas quartzo-carbonáticas. Testemunho de sondagem N6-0002 – 186,5m, topo para cima. B e C - Testemunho N6-0005- 200,45 a 200,60. B apresenta uma vesícula de anel externo clorítico, intermediário carbonático e central quartzoso; a vesícula apresentada em C apresenta anéis de clorita com porção central quartzosa.



**Figura 5.9.** – A) Intervalo de meta-gabro de contorno ondulado. Testemunho N6-0005 - 178,10 a 178,20m. Topo para seta. B) Meta gabro com cristais ripiformes de plagioclásio de até 2 mm e intersticiais de piroxênio cloritizados. Intervalo N6-0008-152,22m. C) Intervalo de rocha máfica grossa com a presença de intensa venulação carbonática em bolsões. Intervalo do testemunho N6-0005- 137,30 a 137,40.

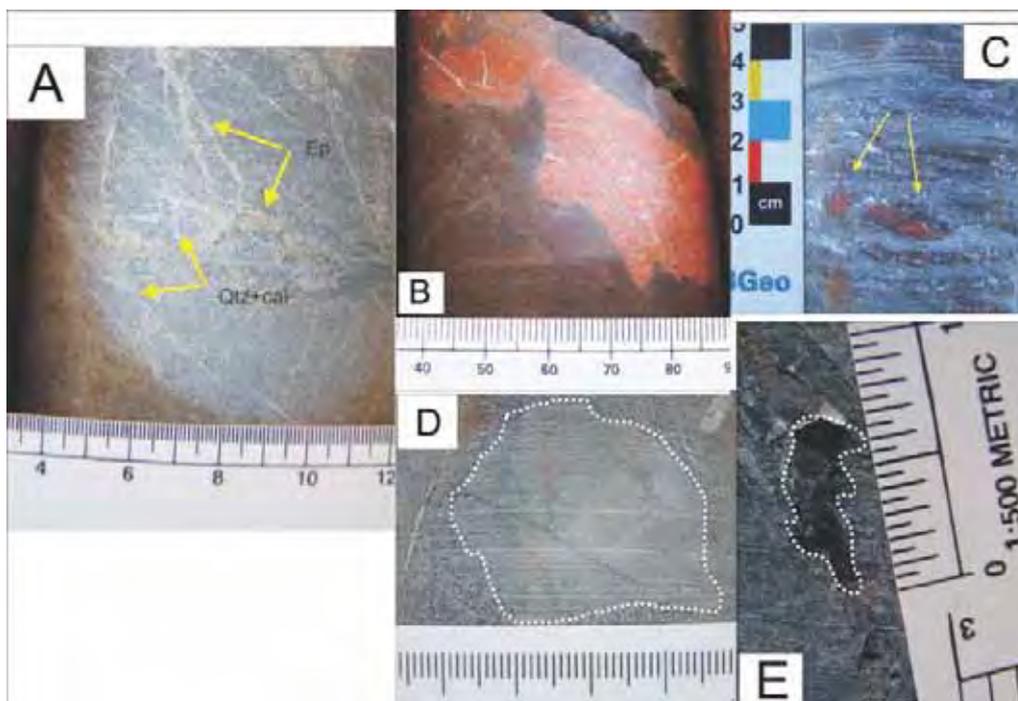


Cristais de sulfetos são freqüentes nestas rochas, intersticiais à massa máfica, ocorrendo pirita, calcopirita e arsenopirita, sendo as duas últimas pouco freqüentes, ocorrendo como cristais anédricos de até 0,5mm, que por vezes ocorrem em agregados, dispersos pela matriz, também em venulações quartzosas. (Figura 5.10. A).

Como xenólitos nessas rochas máficas ocorrem freqüentes fragmentos de jaspilito isolados, de formato anguloso quadráticos com até 8,0 cm, estes em geral com a penetração do material máfico em si, fragmentos de rocha máfica muito fina – basalto, fragmentos de vidro vulcânico sob a forma de cúspides, com até 1,0 cm (Figuras 5.10. B a E).

No interior dessa seqüência é comum a presença de venulações de natureza quartzosa, quartzo-carbonática e carbonato-epidosítica, sendo as duas últimas portadoras de sulfetos, além de venulações carbonáticas espessas com a presença de fragmentos da rocha máfica brechada em fragmentos angulosos de até 1 cm. Estas venulações estão relacionadas especialmente às proximidades dos contatos entre as metabásicas e os jaspelitos.

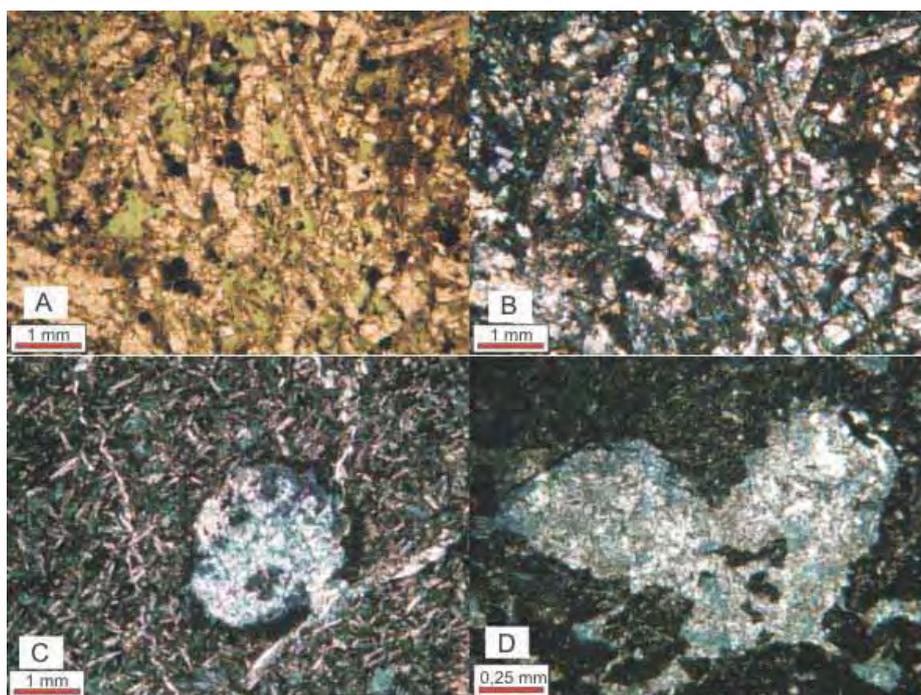
**Figura 5.10** – A) Rocha máfica intensamente venulada com termos quartzo-carbonáticos (claros) e epidosíticos (verdes) dispostos subparalelamente a contato inferior com jaspilito, este não presente na foto. Testemunho N6-0007 – 155,70m. B) Fragmentos de jaspilito maciço a discretamente bandado envolvido em basalto. Furo N6-0002 – 128,5m. C) Fragmento de peperito em meio à máfica. Intervalo N6-0004 - 115,0 a 116,40m. D) Xenólito de rocha máfica com aspecto subarredondado. Testemunho N6-0005 – 137,30 a 137,40. E) Fragmento de vidro vulcânico cloritizado em meio à rocha máfica com borda de carbonatos. Furo N6-0007-122,5m. Topo da seqüência para cima em todas as fotos.



Microscopicamente essas rochas são equigranulares, com textura subofítica e ofítica, texturas de fluxo magmático, presença de vesículas preenchidas por calcedônia, carbonatos e adulária, sendo os cristais de plagioclásio de composição sódico-potássica (adulária), pseudomorfizados, com a formação de clorita às expensas de piroxênio, são minerais freqüentes titanita (esta se transformando em ilmenita), zircões, apatita, calcopirita, pirita e magnetita. As paragêneses metamórficas indicam um metamorfismo de grau muito baixo, correlacionável ao

metamorfismo de fundo oceânico, como descrito na seção 5.3.3. – Metamorfismo. A Figura 5.11 – mostra o aspecto das rochas dessa unidade em microscópio.

**Figura 5.11** – A e B) Aspecto geral do metadolerito/microgabro com a orientação de pseudomorfos de plagioclásio e a clorita 'intersticial'. Foto A em luz transmitida à polarizadores descruzados e B com polarizadores cruzados. Amostra N6-0001-169, 18 a 169,25m. C) Vesícula preenchida por quartzo, clorita e opacos, em meio a arcabouço de clorita e adulária. Polarizadores cruzados. Luz transmitida e polarizadores cruzados. Amostra N6-0002-125m. D) N6-Q – Vesícula preenchida por calcedônia com hábito granular e fibrosa, clorita e pirita. Luz transmitida e polarizadores cruzados. Amostra N6-0002-125m.



### *Peperitos*

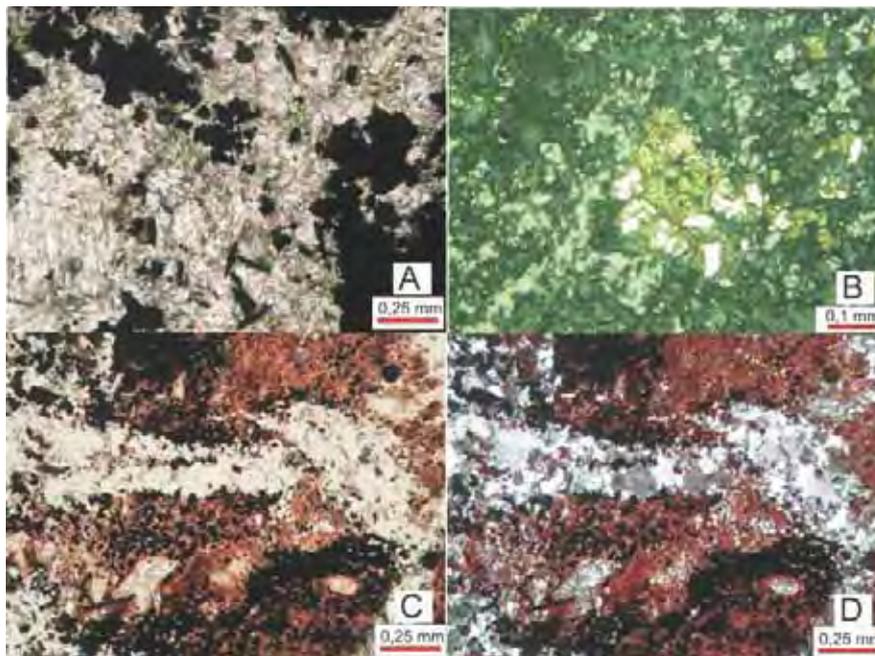
Um litotipo que ocorre no interior da Formação Parauapebas e já descrito em outros trabalhos, como o de Pereira (2009), são 'peperitos', rochas compostas por fragmentos angulosos de jaspilito ou chert, de dimensões variadas entre 1 até 10 cm, em geral de contornos angulosos, tabulares a quadráticos, com bandamento ondulado, que se apresentam imersos em meio a uma massa máfica afanítica ou massa de quartzo e carbonatos bem cristalizados, acompanhando sulfetos, hematita, magnetita e turmalina também, feições ilustradas na figura 5.12. Formam leitos pouco espessos de até 10,0 cm, onde observa-se uma certa tendência na organização dos clastos de jaspilito, possivelmente devida a fluxo do magma. A Figura 5.10 mostra as variadas dimensões dos clastos de formações ferríferas encontradas.

As proporções de fragmentos de jaspilito no interior da massa máfica são extremamente variáveis, ocorrendo porções com até 10% até níveis adensados com 50% de fragmentos, onde em geral os mesmos apresentam menores dimensões.

Situando-se especialmente acima do contato entre jaspilitos e basaltos, formam leitos condensados de jaspilitos, com a formação de sulfetos acima desse contato, penetração da

massa máfica através de fraturas nos fragmentos de jaspilito e formação de magnetita em venulações quartzosas no interior dos mesmos. Nota-se que uma porção dos jaspilitos subjacentes, em torno de 10-15 cm abaixo do contato se apresentam transformados em itabiritos, com a obliteração da poeira de hematita, tornando-se límpidas bandas de quartzo. A Figura 5.13.– A mostra um caso clássico do contato entre máficas e jaspilitos com a formação de peperitos.

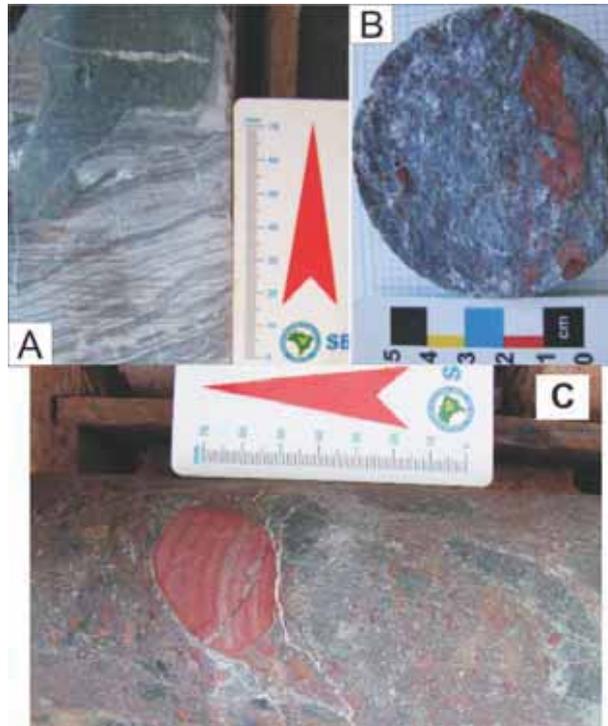
**Figura 5.12** - A) Matriz de peperito com fragmentos de formação ferrífera, hematita tabular, tumalina, quartzo e carbonato. Luz transmitida plano-polarizada. Lamina N6-0004-134m. B) Cristais de pirita (amarelo esbranquiçado), calcopirita (amarelo-latão) e magnetita (cinza) em meio a matriz de carbonato. Luz refletida. N6-0004-134m. C e D) Fragmentos de jaspilitos soldados por matriz de quartzo, com grãos de hematita em seu interior, formação de hematita tabular na matriz. Luz transmitida plano-polarizada em C e cruzada em D. Lâmina N6-0003- 134,70 a 134,79m.



Os peperitos evidenciam a contemporaneidade do vulcanismo com a deposição das formações ferríferas, sendo que tais rochas são compreendidas como formadas a partir da interação entre os magmas fluidos escorrendo em uma ambiência submarina sobre os leitos de jaspilitos inconsolidados ou em situação cedo-diagenética, sendo que o magma ao se mover na superfície do material proto-jaspilito arranca fragmentos do mesmo e os envolve, pela natureza dos contatos sinuosos e lobulados entre a máfica e a formação ferrífera, do freqüente enriquecimento de sulfetos nas proximidades desta rocha, além da freqüente venulação silicosa da mesma nas proximidades do contato, podendo-se atribuir um efeito térmico do magma sobre o jaspilito subjacente.

Partindo das associações litológicas encontradas pode-se considerar as rochas máficas da Fm. Parauapebas encontradas em subsuperfície como um conjunto vulcânico máfico-plutônico, com derrames basálticos, em ambiência submarina, que interagem e coexistem com uma sedimentação química ferrífera, dada pela Formação Carajás, esta descrita mais a frente.

**Figura 5.13.** – A) Contato superior sinuoso a convoluto entre metabasalto e itabirito, onde há fragmentação da formações ferríferas e seu envolvimento em fragmentos no interior da máfica, localmente o itabirito encontra-se maciço. Intervalo do testemunho N6-0004 -160,50 a 160,70. B) Amostra de peperito de matriz muito fina envolvendo fragmentos de jaspilito, incluindo a penetração de matriz máfica no mesmo. Esta amostra apresenta grande volume de sulfetos. Furo N6-0004 aos 134,0m. C) Peperito de matriz básica com grande quantidade de fragmentos de jaspilitos em variadas dimensões. Furo N6-0002-Intervalo de 85,24 a 85,54m. Topo para a esquerda.



Este conjunto apresenta feições de erupção com a formação de fragmentos de vidro e fragmentos da mesma que são retrabalhados pelo magma, além da liberação de gases e consolidação de vesículas nos níveis superiores das sucessões de derrames, além da existência de corpos intrusivos nesta seqüência temetase também a produção de precipitados químicos diferenciados nestes corpos com a formação de corpos diferenciados gabróicos nas porções mais inferiores.

#### 5.3.1.2. Formação Carajás e seus produtos de alteração

Esta unidade representa os jaspilitos, itabiritos e seus produtos de alteração superficial, que se apresentam como interdigitações no interior da sucessão vulcânica máfica da Formação Parauapebas.

### Formações ferríferas

Os diversos níveis de formações ferríferas se apresentam intercalados em meio às rochas vulcânicas máficas da Formação Parauapebas, sendo níveis com espessuras muito variáveis entre bancos de 2 m até mais que 50 m (furos N6-0002 e N6-0008).

Seus contatos são abruptos, sendo por vezes dados por níveis de peperitos e estando os jaspilitos nesses casos transformados em itabiritos, porém em geral o contato é apenas brusco, sem a alteração do jaspilito ou aparente atividade entre as duas rochas, quando em contato superior com metabasalto os jaspilitos apresentam freqüentemente laminações onduladas.

Os jaspilitos são constituídos por bandas mili- a centimétricas alternadas de minerais silicosos e minerais ferríferos, que podem apresentar laminações em seu interior, assim como ocorrem bandas maciças onde não se observa preservação de laminação.

Estas bandas e lâminas apresentam contatos bruscos entre si, com geometrias planas, onduladas de modos abertos ou não, feições de descolamento e transporte ao longo dos contatos; tais bandas podem apresentar-se dobradas em estilos muito variados, como mostra a prancha 1 (apêndice 1), onde estão sumarizadas as estruturas comuns nesta seqüência, que se tratam de estruturas dúcteis e rúpteis de natureza atectônica, visto que não apresentam recristalização mineral, transformação da mineralogia deposicional/diagenética ou formação de trama/*fabric* atribuível a alguma fase de deformação, portanto consideradas aqui como feições de deformação sin-sedimentar.

A figura 5.14 – (foto 5691 – afloramento 114) ilustra um afloramento de jaspilitos mostrando dobramento heterogêneo, com vergências para diferentes direções, falhas sin-sedimentares, indicadores de que a seqüência poderia ter sido tectonicamente perturbada.

**Figura 5.14** – Afloramento de jaspilito com bandamento dobrado em padrão discordante com a tectônica registrada na área. Seta para o Norte. Afloramento 114 – (592307E/9322280N).



Em respeito à mineralogia os jaspilitos são todos similares nas sondagens analisadas, sendo compostos por jaspe, ou seja, bandas de sílica impregnadas por goethita e hematita, contendo também micro-esférulas de sílica impregnadas por goethita, por vezes apresentando em seu interior grãos de hematita, como demonstra a figura 5.15. As bandas de jaspe se alternam com bandas de óxidos de ferro, formadas por hematita granular, esta muitas vezes pseudomorfisando magnetita e hematita micro-tabular.

Outros minerais presentes se tratam de carbonatos em jaspilitos brechados por tectônica, também em tipos brechados por deformação sin-sedimentar, sulfetos como pirita, calcopirita e esfalerita com Fe, esta muito rara, estes sulfetos estão associados às bandas silicosas.

Um outro tipo de banda freqüente nessas formações ferríferas são bandas de chert isento de óxidos de ferro, sendo de coloração leitosa, pouco freqüentes e que muitas vezes se encontram nas proximidades do contato com metabasaltos estando às vezes recristalizadas em quartzo formando itabiritos, formações ferríferas dadas pela alternância entre bandas de quartzo 'limpo' e óxidos de ferro, sendo evidente a recristalização destes itabiritos em vista da presença de hematita de granulação grossa no interior dessas bandas.

Estas formações ferríferas apresentam evidências de transformações diagenéticas como, por exemplo, a formação de cristais de hematita/magnetita no interior de bandas de jaspe com a limpeza do jaspe ao seu redor, evidenciando mobilização do Fe na banda; outra feição diagenética interessante é a formação de pods de óxidos de ferro no interior das bandas de jaspe formando corpos mais ou menos arredondados onde se observa o arqueamento das bandas vizinhas. Observam-se com menor freqüência o isolamento de bandas de jaspe no interior de bandas de óxidos de ferro.

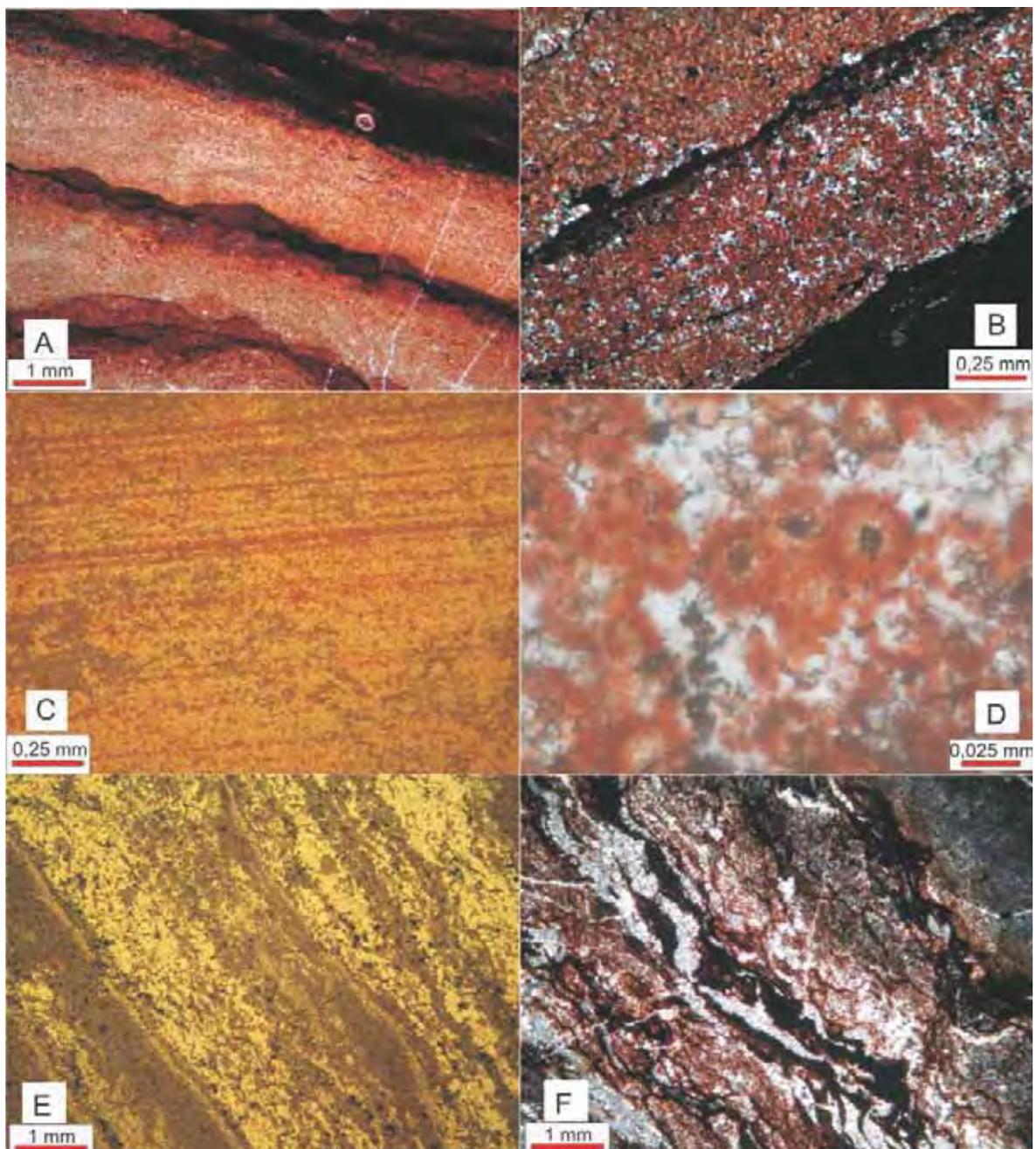
Observa-se no interior das bandas de sílica feições arredondadas, globulares, compactadas de acordo com o bandamento, formadas por sílica micro/criptocristalina com impregnação de goethita e apresentando em seu núcleo algumas vezes cristais de hematita, se observados na microscopia eletrônica de varredura tais feições apresentam um discreto zoneamento composicional e são interpretadas como precipitados silico-ferrosos de origem dúbia se biótica ou inorgânica, com descrições similares em Greene & Slack (2003), que as interpreta como uma partícula biogênica permineralizada inorganicamente. Tais feições estão representadas na Figura 5.16.

As bandas de jaspe são formadas por microesférulas de dimensões inferiores a 0,25mm, formadas por sílica microcristalina e filmes de óxidos de ferro, que se coadunam, formando agregados, porém apresentam-se também isolados, considerados como estruturas diagenéticas ou bióticas associadas à organismos habitantes do interior do material inconsolidado (Greene & Slack 2003). Tais estruturas estão representadas na figura 5.16.

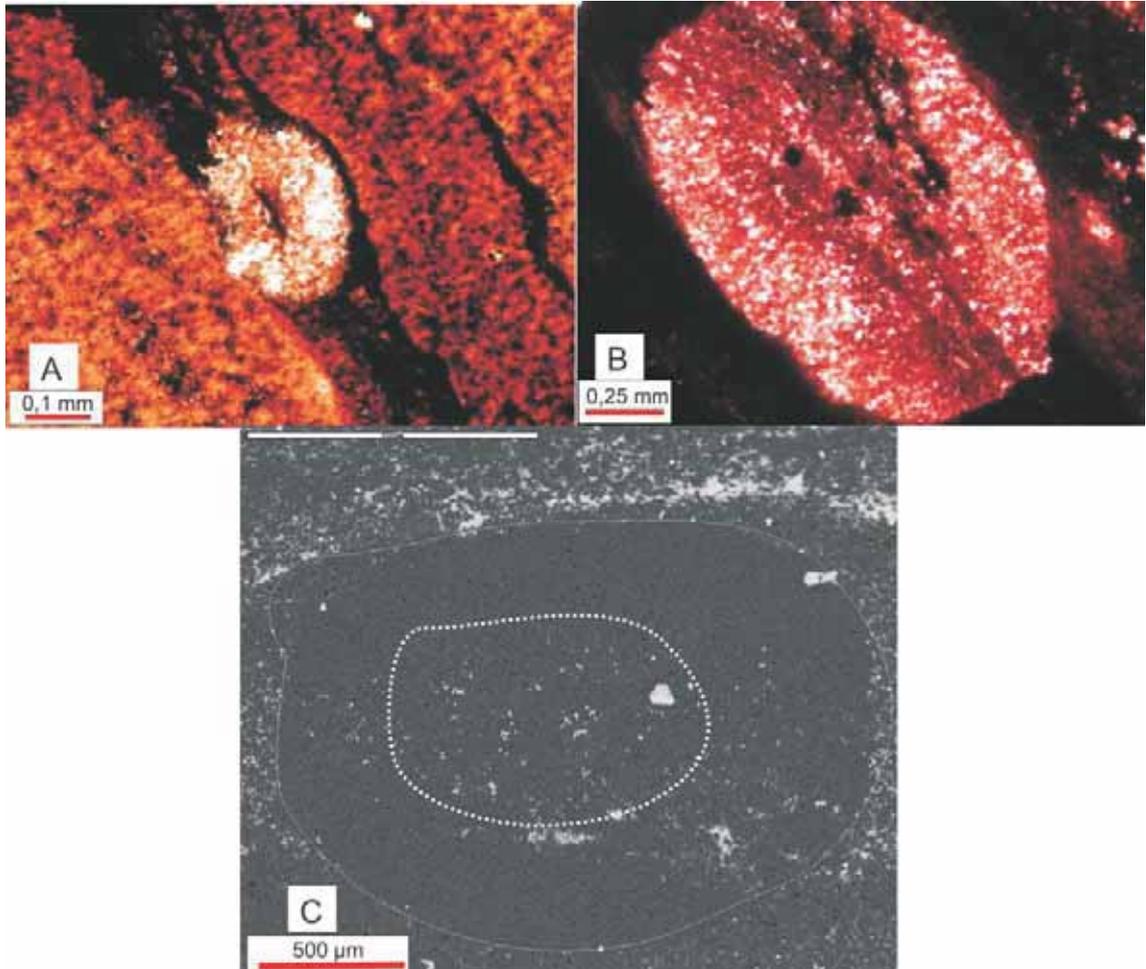
Siltitos róseo-claros, equigranulares, de composição quartzosa, maciços a fracamente laminados, contato inferior com as formações ferríferas são ondulados, são raramente

encontrados na seqüência e apresentam contatos superiores gradativos com as formações ferríferas. A Figura 5.17 retrata uma porção de siltito intercalado com jaspilitos.

**Figura 5.15** – A) Bandas de jaspe com gradação superior para porções com maior quantidade de microgrãos de hematita/goethita interlaminaadas com bandas maciças de hematita onduladas. Luz transmitida à polarizadores cruzados. Lâmina N6-0002- 56,20 a 56,25m. B) Banda de jaspe com micro-esférulas silico-ferruginosas e bandas de hematita Luz transmitida e polarizadores cruzados. Lâmina N6 – 0011- 103,03 a 103,08m. C) Banda de jaspe com a formação de leitos de hematita granular descontínuos subparalelos. Luz refletida. Lâmina N6-0001- 121,85 a 121,90. D) Detalhe de conjunto triplo de microesferóides com núcleos de hematita. Luz transmitida à polarizadores paralelos. Lâmina N6-0011- 103,03 a 103,08m. E) Bandamento ondulado e segmentado em bandas de hematita e magnetita, com contatos pouco ondulados das bandas de jaspe, havendo interpenetrações locais entre as mesmas. Luz refletida. N6-140,08 a 140,15m. F) Laminação disrupta em jaspilito. Luz transmitida à polarizadores cruzados. Lâmina N6-0004- 96,25 a 96,35m.



**Figura 5.16** – A) Grânulo de calcedônia com micro-esférulas de sílica e óxido-hidróxidos de Fe com filamento ondulado em seu centro composto por sílica e goethita. Luz transmitida, seção N6-0002- 56,20 a 56,25m. B) Grânulo composto por micro esférulas coalescentes ou não de hematita-calcedônia, com achatamento paralelo ao bandamento e formação de leito coalescente de micro-esférulas paralela ao bandamento em sua porção média. Seção N6-0004 - 173,85 a 174m. Luz transmitida à polarizadores cruzados. C) Grânulo sílico-ferroso arredondado com zoneamento mal definido. Seção N6-0008 - 75,92 a 76,00m. Imagem de microscopia eletrônica de varredura de elétrons retro-espalhados.



**Figura 5.17** – Amostra de siltito que ocorre intercalado com jaspilitos no interior da Formação Carajás. Intervalo N6-0008-89,50 a 91,10m.



### *Hematita Laminada Lateritizada*

Unidade composta por corpos de orientação NW-SE, que formam cristas discretas no relevo aplainado do platô, resistentes no relevo, que se diferenciam em meio à cobertura de canga de minério. Constitui uma rocha tenaz, muito densa e variavelmente magnética.

Seus contatos se dão lateralmente com a canga de minério e canga química, onde se observa a mudança gradual na quantidade de fragmentos e na presença de matriz goethítica-limonítica, em profundidade seus contatos se dão na horizontal com a transição para os jaspilitos alterados intercalados com rochas máficas.

Esta unidade encerra porções aflorantes de corpos de hematita laminada, com bandas maciças, compactas, de até 3,0mm, que ocorrem com vãos ondulados e irregulares entre essas mesmas bandas, com filmes de goethita nos mesmos. Apresenta bandamento ondulado preservado, que internamente apresenta também um bandamento muito fino dado por hematita e ocasionalmente magnetita.

Este aleitamento muitas vezes encontra-se fraturado, como mostra a Figura 5.18., tanto ao longo do aleitamento quanto perpendicular ou oblíquo ao mesmo, sendo estes fragmentos dispersados sobre a superfície atuando como fonte dos constituintes da canga de minério.

Sua mineralogia é dada por hematita, de granulação muito fina, até 1,5mm, que ocorre com morfologia anédrica e freqüentemente como especularita muito fina, ondulada, disposta paralelamente às bandas. Magnetita ocorre como cristais inferiores a 1,0mm, anédricos, dispostos em agrupamentos, dispostos nas lâminas de hematita e em venulações, assim como observado nos jaspilitos.

A formação de goethita e limonita ocorre ao longo do aleitamento da rocha, sendo muito fina, pulvurulenta, com a formação de corpos botrioidais muito pequenos esféricos ao longo dos planos. Sílica ocorre como pequenos cristais anédricos, de calcedônia, muito raros e dispostos nos vãos do aleitamento, estando quase sempre ausente.

Essa porosidade observada na hematita laminada lateritizada deve-se à lixiviação do quartzo e também da alteração de minerais de ferro, que foram dissolvidos e migraram no perfil, formando a matriz da canga de minério por exemplo.

Tais rochas representam o produto de alteração intempérica sobre jaspilitos, com a lixiviação das bandas silicosas e apresentam compacidade variada, característica devida ao seu atual estado de soterramento, ou seja, sua profundidade no perfil de alteração, mais fraturados e porosos à medida que eleva-se no perfil de alteração, gradando para canga de minério com a formação de matriz goethítica.

**Figura 5.18.** – A) Afloramento de hematita laminada lateritizada laminada de modo ondulado aberto e com deslocamento, como o detalhe B. Afloramento 53 (591660E/9322460N). C) hematita laminada lateritizada pouco intemperizada, laminada e com vacúolos entre as lâminas de hematita. Afloramento 8 (591729E/9322714N).



### *Hematita Friável*

Esta unidade apresenta-se apenas em subsuperfície, apenas atravessada em algumas perfurações, se trata de níveis compostos de hematita friável de espessura extremamente variável desde alguns centímetros até dezenas de metros associados ao manto de alteração supergênico cuja espessura na área supera 100m de profundidade na área.

Estes níveis apresentam baixa recuperação nas sondagens, sendo o material recuperado pulvulento, muito fino com a ocasional preservação de relictos do material original.

Sua coloração é marrom-avermelhada escura a negra, com brilho metálico, de densidade alta, magnetismo variável, que formam níveis tabulares mais ou menos extenso de hematita de granulometria muito fina, inferior a 0,50mm que se ajusta em placas mais ou menos quebradiças, que envolvem ocasionalmente porções de hematita laminada lateritizada e de modo menos freqüente jaspilito.

Sua mineralogia se dá por hematita, subordinadamente goethita/limonita, magnetita e óxidos de Mn como criptomelana, psilomelana, que formam corpos subarredondados milimétricos ocasionais e filmes associados a goethita e também intervalos argilosos formados pela alteração de rochas máficas intercaladas, em geral portadores de Mn. Argilominerais também podem estar

presentes, contribuindo para a presença de Al dentre os contaminantes, assim como a apatita ou compostos orgânicos para o P.

Hematita é do tipo granular, ocasionalmente alguns níveis são placóides, sendo que ambos apresentam um bandamento mal-preservedo como mostra a Figura 5.19, o material é variavelmente poroso, com tipos intergranular, com porções apresentando vãos por vezes interconectados, sendo possível também que a mesma apresente porosidade intragranular, esta formada a partir da dissolução de fases primárias e secundárias do protólito.

**Figura 5.19** – Fragmento de hematita friável com a preservação de bandamento original. Intervalo do testemunho N6-0005 - 18,60 a 19,60m. Fragmento de aproximadamente 4 cm.



Parte dessa porosidade pode ser considerada como o produto da dissolução da sílica do jaspilito pretérito, que não foi totalmente revertida pelo soterramento ou fechamento por uma outra fase, sendo parte dessa porosidade também possivelmente associada à dissolução de goethita/limonita e magnetita, sendo a primeira a fase mineral principalmente associada a alteração destas rochas. Sendo que esta goethita ou limonita tenha se dissolvido e sido reprecipitado o Fe no perfil contribuindo com o enriquecimento do minério, respeitando condições de eH e pH, precipitando hematita e deixando a rocha monominerálica.

Um modelo genético para o minério de ferro presente no N6 deve se trabalhar as condições de intemperismo local, sendo mais a frente delineado no capítulo 5.5 – Gênese da hematita friável.

#### 5.3.1.3. Unidade Caninana

Esta unidade inicialmente proposta por Pereira (2009) apresenta contato superior com as formações Parauapebas e Carajás, aflorante nas porções inferiores do platô N6 e seu contato inferior não pode-ser visualizado na área de mapeamento.

Seu contato superior é interpretado como de natureza tectônica, em vista da inversão estratigráfica configurada entre os mesmos, visto que a Unidade Caninana apresenta uma idade entre 2,0-1,8 Ga, em detrimento do Grupo Grão Pará arqueano, além da proximidade com a Falha da Caninana, estudada por Pereira (2009).

Na área é representada por arenitos conglomeráticos ou não, pouco selecionados em relação à granulometria, esta entre 0,25 até 3,0mm, polimíticos, com a presença de matriz quartzosa e localmente de matriz argilosa, onde os grãos apresentam contatos entre si. Sua coloração é em geral bege-acinzentada clara, com variantes mais finas e marrons, possivelmente pela presença de filmes de óxidos de ferro nos termos de granulação mais fina.

Tais rochas são compostas por grãos de quartzo pouco arredondados, pouco esféricos, com variável quantidade de inclusões fluidas, são de coloração leitosa a incolor, seus contatos são retos e apresentam extinção ondulante. Elementos importantes destas rochas se encontram em fragmentos de plagioclásio sericitizados, fragmentos de formação ferrífera bandada como jaspilitos e bandas de hematita/magnetita laminada que formam tábulas onduladas a retas, de até 2,0 mm, pouco goethitizadas, fragmentos de rocha máfica esverdeada muito fina, intemperizada e fragmentos de quartzito branco, puro, sendo os dois últimos litotipos presentes em fragmentos angulosos e pouco arredondados. Os aspectos texturais desses arenitos estão ilustrados na Figura 5.20.

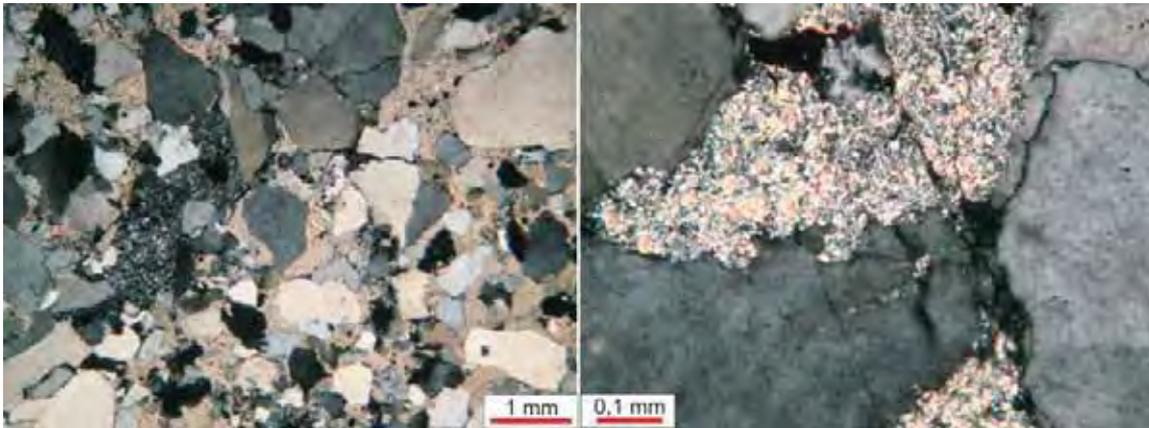
Estes arenitos são maciços, apresentam em nível de afloramento acamamento mal desenvolvido, plano, localmente ondulado com feições de corte e preenchimento entre porções de granulação mais grossa em meio a pacotes arenosos mais finos (ponto 111). Observa-se que alguns pacotes apresentam débil decréscimo na granulação nos níveis superiores dos pacotes (granodecrescência ascendente).

Os bancos de arenitos arcosianos conglomeráticos apresentam espessuras regulares em torno de 40,0 a 50,0 cm, sendo os contatos entre os mesmos sempre abruptos, sendo estas rochas as mais representativas em detrimento de porções de arenitos siltosos, amarronzados, também maciços e pouco freqüentes que em geral suportam as estruturas de corte e preenchimento, dadas por fluxos de sedimentos areno-conglomeráticos.

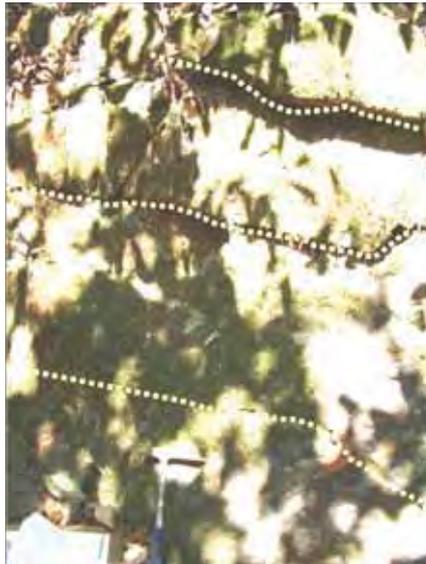
A Figura 5.21., a seguir, mostra o aspecto em afloramento do litotipo e suas estruturas.

Esta unidade sedimentar representa um estágio de sedimentação altamente energética, com a deposição de sedimentos por processos pouco-seletivos com a presença de estratos maciços e estruturas de corte e preenchimento de sedimentos relativamente mais grossos em mais finos, reportando oscilações no nível energético da bacia, em vista da maturidade dos grãos e sua granulometria podem ser consideradas fontes proximais dos detritos, sendo as estruturas descritas pertinentes a uma sedimentação fluvial, em concordância com a descrição e análise de Pereira (2009) que propõe informalmente esta unidade como um grupamento estratigráfico contando com datações que suportam uma idade mais nova que a do Grupo Grão Pará para a mesma.

**Figura 5.20** – Aspectos texturais dos arenitos conglomeráticos da Unidade Caninana à luz do microscópio petrográfico. A) Aspecto do arcabouço da rocha, com grãos de arredondamento variável e matriz sericítica intersticial e fragmentos de feldspato potássico substituído B) Detalhe da matriz sericítica. Ambas da seção N6-JGM-111.



**Figura 5.21.** – Afloramento de arenitos conglomeráticos da Unidade Caninana apresentando estruturas de corte e preenchimento (linhas tracejadas) entre porções de diferentes granulações. Afloramento 112 (592340E/9322242N), martelo com aproximadamente 40,0 cm.



#### 5.3.1.4. Coberturas detrito-lateríticas

Neste agrupamento encontram-se os produtos de alteração superficial incidente sobre as formações Parauapebas e Carajás que se situam no topo dos platôs, esses materiais apresentam estruturação própria, permitindo sua divisão em canga química e canga de minério.

##### *Canga química*

Aflora como uma cobertura superficial em geral pouco espessa, quase restrita a porção SW-W da área mapeada, é relativamente homogênea em sua extensão, gerando uma topografia aplainada, pouco ondulada onde na época chuvosa propicia a formação de lagos intermitente.

Forma uma unidade onde o litotipo predominante é representado por uma crosta ferruginosa hidratada, formada a partir da intensa lixiviação de rochas vulcânicas e localmente mostrando transição para porções portadoras de fragmentos de alterados das formações ferríferas alteradas

Compõe-se de materiais maciços, com matriz composta por goethita, limonita e magnetita, e secundariamente argilominerais, que freqüentemente encontram-se preenchendo estruturas cavernosas, sub-arredondadas ou também tubulares de dimensões variadas (até 5,0cm) de comprimento, em geral de diâmetro entre 1,0-2,0 cm com desenhos ondulados.

Estas estruturas vacuolares apresentam margens/córtex com textura coliforme, dada pela laminação concêntrica, muitas vezes perturbada ondulada de minerais como goethita, limonita, com pontuações de quartzo em seu interior, fragmentos de hematita laminada lateritizada, sob a forma de plaquetas de até 2,0 cm de comprimento, como na Figuras 5.22.

Quartzo, argilominerais, matéria orgânica cristalizada e crostas manganésíferas ocorrem no interior dessa unidade, preenchendo fraturas e vazios na mesma, especialmente nas porções inferiores, como observado no ponto 29 (Figura 5.23.) onde nota-se que a base do afloramento apresenta coloração mais escura, em detrimento da porção superior mais avermelhada.

As porções mais inferiores dos afloramentos apresentam também estruturas subarredondadas/ovaladas de até 4,0mm, dispostos numa matriz goethítica maciça, formados por material limonítico-aluminoso, de estruturação concêntrica, formando pisólitos que ocorrem em bandas, ocasionalmente são encontrados pisólitos nas porções superiores dos perfis. Nota-se que as porções inferiores são pouco mais compactas.

Esta unidade pode não ser o produto de alteração apenas das rochas básicas, possivelmente também da lixiviação intensa sobre as formações ferríferas, visto que muitas vezes se encontram transições entre a canga de minério e a canga química tanto vertical quanto lateralmente, com o desaparecimento/redução dos seixos de hematita laminada lateritizada.

Outro aspecto que confirma a hipótese é que estes fragmentos apresentam uma maior freqüência nos níveis superiores da crosta, sendo que as estruturas alveolares ocorrem ao longo do perfil como um todo, podendo representar a alteração mista das duas unidades em nível de superfície.

Assim esta unidade representa o resíduo de alteração das rochas ferrosas, em sentido amplo, com a formação de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, lixiviação de Si, com a formação desta crosta ferruginosa evoluída, sob o domínio climático vigente desde o período Quaternário até o presente, em condições de clima tropical úmido.

Além da cobertura de Canga Química são encontrados em superfície espessos solos de natureza argilosa, não quartzosos, com a formação de goethita/limonita, com coloração roxa a marrom, amarelados localmente, considerados como o produto de alteração em superfície das rochas máficas da Formação Parauapebas, porém em um estágio não tão evoluído quanto ao da canga química. estes solos apresentam alto teor em matéria orgânica, estando associados à

exuberante floresta latifoliada perene, com a formação de discretas concreções de goethita e material manganêsífero em porções isoladas.

**Figura 5.22.** – A) Intervalo do Furo N6-00005- 0 a 0,20m mostrando canga química com cavidades, porções mais limonitizadas e a presença de fragmentos de hematita laminada lateritizada. B) Detalhe da foto A. C) Amostra de mão do Afloramento 77 (591866E/9322556N), onde se observa a variação de composições da matriz goethítica-limonítica.

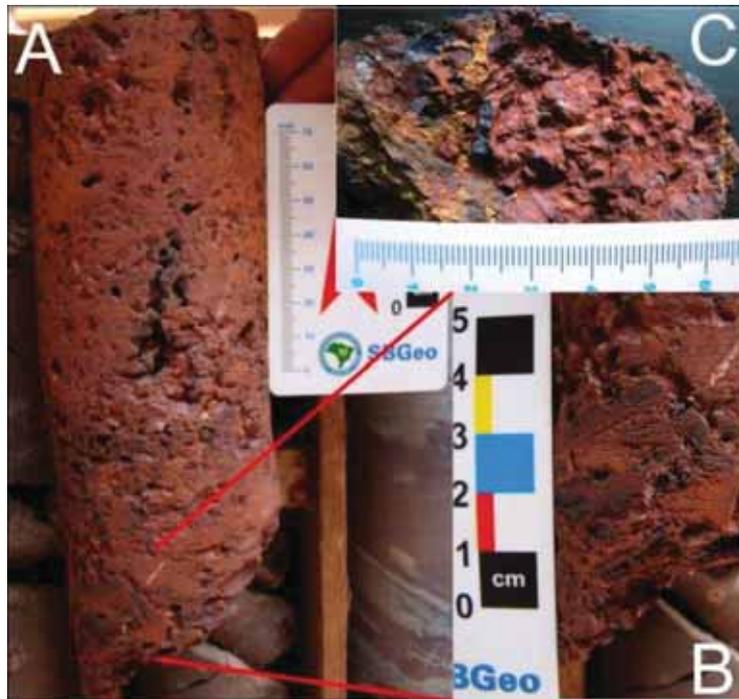


Figura 5.23. – Perfil da canga química, onde se observa a penetratividade do aspecto vacuolar da unidade, sua variação de coloração para termos mais escuros, orgânicos e manganêsíferos nas porções inferiores. Afloramento no bordo de lagoa intermitente, grande alinhamento N-S (visada da foto W-E). Afloramento 29 (591063E/9322328N).



### *Canga de Minério*

Esta unidade apresenta-se em uma grande extensão em área no mapeado alvo, compreendendo uma cobertura detrito-laterítica de espessura variada entre menos que 10 m até 30 m nas porções NE do platô. As suas áreas de afloramento apresentam topografia plana rugosa, com a formação de extensos campos de blocos.

Apresenta grande homogeneidade quanto à sua composição e granulação, seus contatos superiores e inferiores com canga química são transicionais, assim como o contato inferior com hematita laminada lateritizada, sendo que recobre essas unidades da mesma forma que canga química, formando um manto intempérico.

Composta por fragmentos de hematita laminada lateritizada de dimensões variáveis entre milimétricos até decimétricos, de extremidades angulosas, raramente subarredondadas, contornos tabulares, quadráticos, há blocos métricos de hematita laminada lateritizada dispostos no interior desse pacote, que formam unidades mapeáveis ou não, estando estes em posição original.

Estes fragmentos se apresentam em geral com películas de goethita na sua superfície e ao longo dos planos de sua laminação, ocorrem também porções com limonita preenchendo os vãos entre as lâminas e também em fraturas que os permeiam. tais seixos apresentam laminação ondulada, assim como a unidade hematita laminada lateritizada. As Figuras 5.24.-A e B mostram os aspectos visuais deste litotipo.

**Figura 5.24** – A) Intervalo de 1,0 a 1,40 m do furo n6-0004, com canga de minério formada por fragmentos centimétricos de hematita laminada lateritizada e hematita compacta. b) aspecto em afloramento da canga de minério. afloramento 43 (591700e/9323270n). C) Aspecto em afloramento de canga de minério intensamente alterada com a redução e desprendimento de fragmentos de minério. Afloramento 62 (591977E/9323458N).



Nota-se uma gradação das dimensões dos fragmentos em direção ao contato com hematita laminada lateritizada, sendo os fragmentos em exposição no platô em geral menores que vão gradualmente aumentando suas dimensões quando se aproximam do *front* de alteração com a hematita laminada lateritizada, sendo a quantidade de matriz cada vez menor.

Estes fragmentos se encontram aderidos em uma matriz goethítica maciça, com uma porosidade pouco desenvolvida, onde se observa a formação de limonita, sendo esta matriz de granulação muito fina, de coloração roxo-amarelada, compacta, que localmente apresenta feições de dissolução de seixos, deixando formas subquadráticas, especialmente nas porções superiores. Esta matriz apresenta-se homogênea ao longo da área mapeada, havendo apenas local aumento na quantidade de limonita quando a mesma apresenta-se muito intemperizada, como mostra a Figura 5.24-C.

A presença de magnetita em fragmentos e na matriz torna a rocha variavelmente magnética, sendo o mineral sempre anedral, muito fino e disperso em meio à matriz.

Esta unidade é considerada como o produto de alteração dos jaspilitos, que ao serem expostos superficialmente começam a se desagregar ao longo do bandamento, planos de fratura, zonas axiais, que com o alívio da pressão do soterramento e o processo de intemperismo que incide sobre os mesmos começa a se esfacelar liberando fragmentos, que concomitante com a lixiviação da rocha apresenta também a deposição de goethita, que percola os fragmentos e forma uma matriz que os envolve.

À medida que a própria canga é exposta sub-aereamente ela se intemperiza e vai formando novas gerações de canga de minério, que se espalham pela superfície do terreno, configurando um *blanket* na superfície, assim encobrendo os corpos de hematita laminada lateritizada.

A extensa lixiviação da canga de minério possivelmente acarreta também na formação de canga química, onde se pode observar a preservação de diminutos fragmentos de hematita laminada lateritizada.

### 5.3.2. Geologia estrutural

A estruturação da área se dá por litologias do Grupo Grão Pará com mergulho para sw sendo perceptível na superfície apenas pela preservação da orientação dos estratos de hematita laminada lateritizada, sendo a direção do mergulho pouco variável e os ângulos também, configurando uma Fase Dn. sendo a área resumida a apenas um domínio estrutural.

Estes estratos apresentam uma tropia no sinal geofísico magnético de direção NE-SW considerada como indicativa de eixos de baixo mergulho de dobras abertas formadas no final da fase Dn, que é considerada como o responsável da instalação da Zona de Cisalhamento Carajás, suportada por uma família de fraturas de orientação N-S, com mergulhos hora para W quanto E que é penetrativa ao longo da área possivelmente correlacionada à Fase Pós-Dn.

Em seguida tem-se a inversão estratigráfica do Grupo Grão Pará em relação à Unidade Caninana por uma falha reversa, onde se observa a diferença de inclinação entre os estratos das duas unidades.

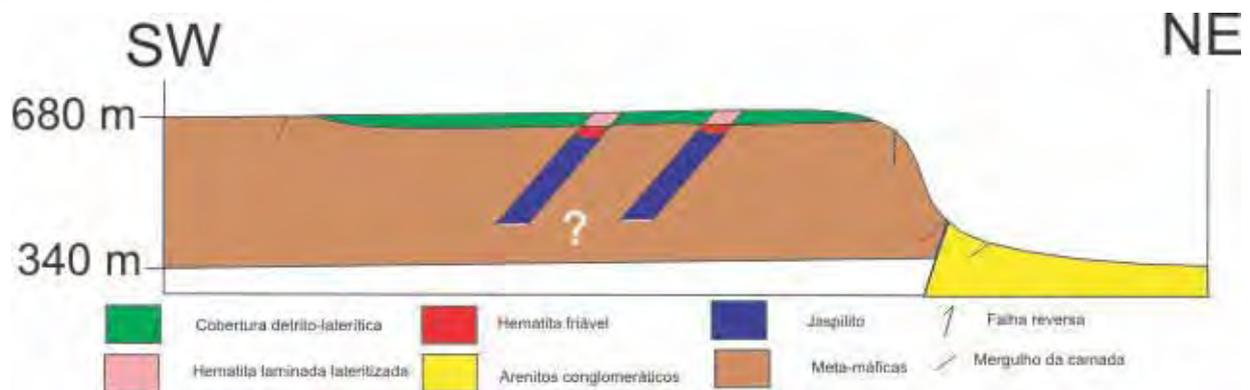
Duas estruturas rúpteis de maior escala com direção NE-SW são descritas como responsáveis por deslocamentos aparente de unidades geológicas mapeadas.

Fraturas são penetrativas ao longo da área e são correlacionadas a diferentes eventos de deformação.

A patente estruturação atectônica observada nos jaspilitos é concordante com uma ambiência marinha conturbada para a deposição dos mesmos, com perturbação do ambiente por tectônica sin-sedimentar, dado o fato de essas estruturas serem muito localizadas nos bancos de jaspilito e não apresentarem padrões e estilos concordantes entre si.

A Figura 25 representa um perfil SW-NE, ortogonal às estruturas principais mapeadas na área.

Figura 5.25. – Perfil geológico esquemático do platô N6.



## Evento Dn

### Fase Dn

Esta fase é dada pelo basculamento de estratos da Formação Carajás, que sendo de natureza vulcano-sedimentar, ou seja, inicialmente sub- a horizontais, apresentam-se com mergulho para direções SW, como observado em campo e confirmado por projeções feitas a partir das sondagens efetuadas.

A direção do mergulho dessas camadas é para SW, sendo variável entre 200 e 280°, observando leves desvios formando ondulações nos estratos, não sendo observadas dobras em grande escala, apenas localizadas nas interfaces de contato e dobras de pequena escala consideradas de natureza atectônica que são pormenorizadas a seguir.

A distribuição das medidas de acamamento nessas unidades apresenta para a área um máximo em N262/44, como se pode observar no estereograma dado pela figura 5.26.

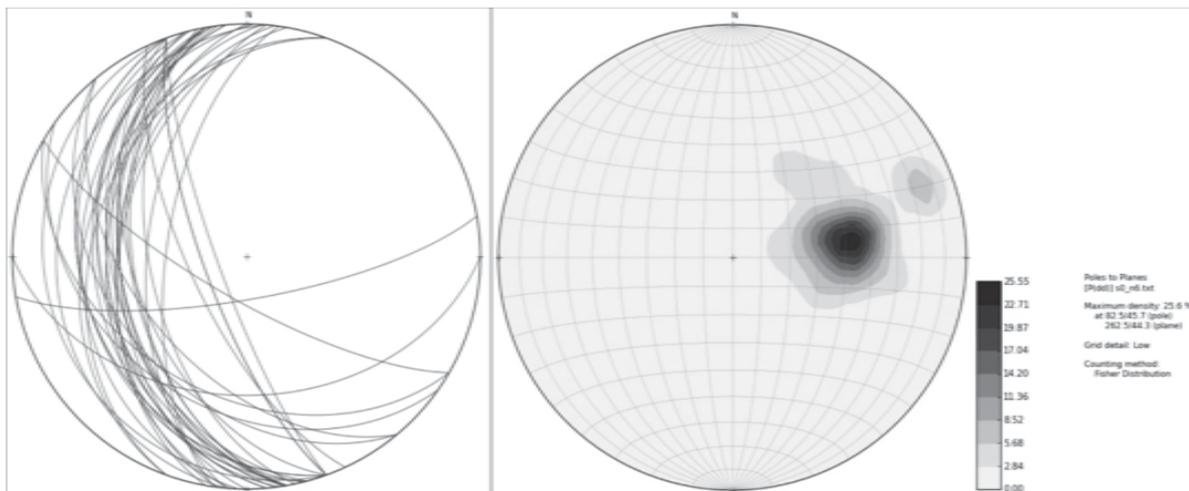
Dobras desta fase são abertas a suaves, paralelas, com zonas de charneira espessada, são assimétricas e apresentam vergência pouco desenvolvida para NE.

Esta fase de deformação não apresenta uma foliação ou lineação mineral à nível de área, localizadamente nas proximidades dos contatos entre as unidades é observada uma discreta tropia de cristais de clorita e biotita (em testemunhos) formando uma trama anastomosada subparalelamente a estes contatos, juntamente de intensa venulação carbonática ou silicosa nas proximidades dos mesmos.

Dobras dessa fase apresentam grande comprimento de onda, com amplitudes pequenas, suas zonas de charneira são adelgadas, de forma aberta em semicircunferências, localmente são de forma *kink*, os flancos por vezes estão rompidos.

Eixos de dobras dessa fase são retilíneos a levemente ondulados, apresentam mergulho em direções NW-SE, com mergulhos médios em torno de 40 graus, sendo encontrados em dobras de segunda ordem/parasíticas, sendo abertas a suaves, assimétricas, paralelas e observadas em hematita laminada lateritizada. A figura 5.27 mostra a distribuição estatística dos eixos.

**Figura 5.26** - Estereograma para acamamentos ao longo da área, total de 37 medidas, à esquerda e com sua contagem estatística à direita. Projeção no hemisfério inferior, projeção equiárea em rede de Schmidt.

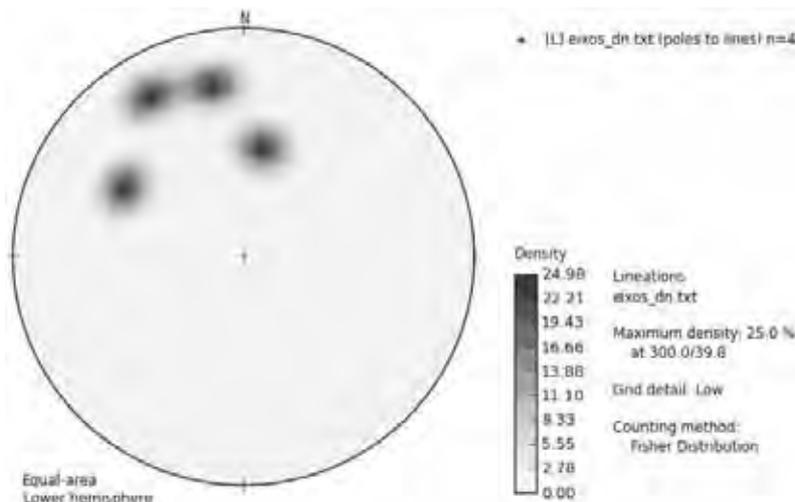


Estes eixos apresentam seus mergulhos deslocados, assim como direções e ângulo de mergulho dos estratos em vista de deformação posterior.

Como mecanismo de dobramento para essa seqüência em vista da ausência de recristalização, evidências de transporte de massa, formação de zonas axiais espessadas evidenciam a concentração dos esforços nas charneiras sendo possibilitada pelo deslizamento entre os estratos ao longo de suas interfaces.

O fechamento desta estrutura flexural não se encontra na área, sendo consideradas as estruturas dessa fase como parte integrante desse sistema de maior amplitude e escala, como descrito na íntegra em diversos trabalhos presentes na literatura (Pinheiro e Holdsworth 1997, DOCEGEO 1988), sendo considerado o fechamento da mesma como situado a SW da área do presente trabalho, porém dobramentos parasíticos em S ou Z não foram verificados confirmando a hipótese.

**Figura 5.27** - Estereograma para eixos da fase Dn em total de quatro medidas. Projeção equiárea no hemisfério inferior em rede de Schmidt.



As orientações dessas flexuras concordam com as estruturas descritas na literatura por Pinheiro & Holdsworth (1997) e Pereira (2009) – Fase D1, como esperado para a porção Norte da Serra dos Carajás, que interpretam esse setor como parte integrante de uma estrutura de maior escala, a Dobra de Carajás, onde o flanco N, onde se encontra N6 apresenta caimento de seus estratos para SW,

### **Fase tardi-Dn**

Esta fase está representada pelo discreto dobramento dos estratos do Grupo Grão Pará, formando eixos de trend NE-SW, com caimento para SW, contidos nestes estratos e observados especialmente no sinal MAG-TDR, como citado no capítulo 5.2. – Geofísica.

Sendo estruturas responsáveis pelo dobramento aberto, assimétrico e espaçado desses estratos, formando antiformais e sinformais discretos, marcados no sinal magnético.

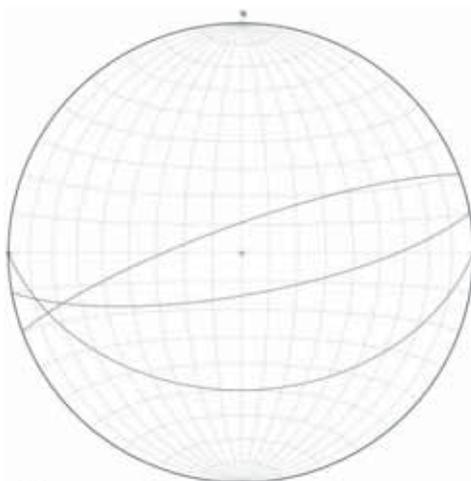
A expressão dessa fase é reduzida em vista do pobre afloramento das unidades, porém informações de campo permitem confirmar a existência desses eixos interpretados na geofísica. Sendo perceptível sua influencia sobre a seqüência pelo desvio das direções e mergulhos de estratos além de uma possível interferência sobre os eixos possíveis da fase Dn.

Dobras dessa fase são abertas, assimétricas, paralelas, de charneiras espessadas, suas amplitudes são pequenas e desenvolvidas sobre os estratos ondulados com orientações da fase Dn, seus flancos apresentam mergulhos para NW e SE, configurando sinformes e antiformes, como interpretado pela geofísica + campo.

Localmente são observadas sucessões de dobramentos dessa fase em pequena escala, com charneiras angulosas, sendo possível resultado de concentrações no esforço, com orientações como descrito anteriormente.

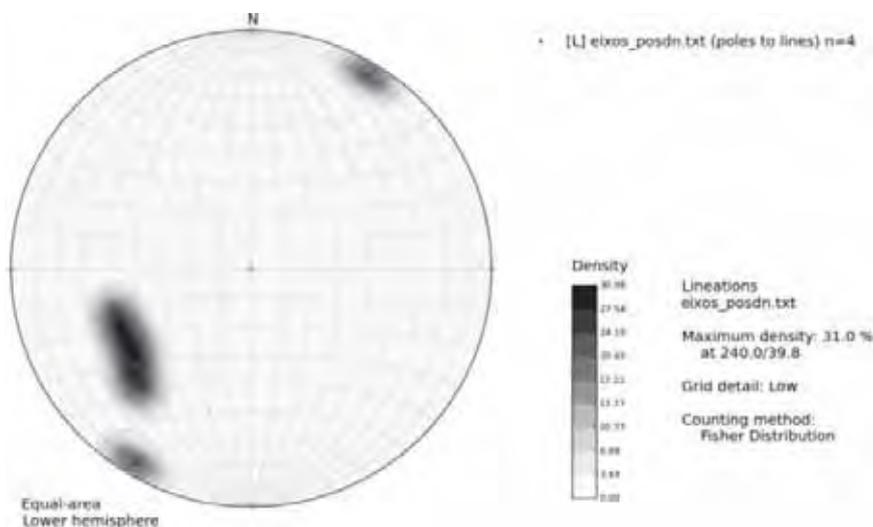
A figura 5.28 mostra estereograma para os mergulhos provocados pela fase tardi-Dn, em afloramentos nas proximidades dos eixos inferidos. Nota-se uma interceptação entre as medidas de acamamento retomando valores possíveis de eixos entre N240-250 e valores de mergulho de até 20°, valores condizentes com as medidas desses eixos tomadas em campo e mais a frente demonstrados.

**Figura 5.28** - Estereogramas de mergulhos provocados pelo dobramento tardi-dn, total de três medidas. Projeção equiárea no hemisfério inferior em rede de Schmidt.



Afloramentos apontam eixos de direção NE-SW, com caimento de ângulos moderados entre 30 e 50°, sendo estes eixos não retilíneos, ondulados tanto na horizontal quanto vertical e instalados sobre os estratos de hematita laminada lateritizada, dados por charneiras abertas a localmente angulosas (estilo *kink*) e sem a presença de foliação ou recristalização associada, ocorrendo fraturamento pouco espaçado nas direções destes eixos. A figura 5.29 mostra a distribuição das medidas de eixo de dobras dessa fase.

**Figura 5.29** – Estereograma para os eixos da fase tardi-Dn, total de quatro medidas. Projeção no hemisfério inferior, equiárea e em rede de Schmidt.



A fase tardi-Dn é considerada como parte integrante do Evento Dn por não se poder separá-la em um evento a parte, sendo considerado um evento de natureza rúptil-dúctil em baixa temperatura, possivelmente grande pressão de fluido nas rochas e nível crustal raso, devido à ausência de fases e tropias minerais, sendo considerada então uma evolução progressiva do estado de tensão, em conjunto com uma variação na pressão litostática associada, visto que a fase tardi-Dn apresenta patente estruturação de natureza mais rúptil associada.

### Evento pós-Dn

Este evento está registrado pela inversão estratigráfica dada pelo Gr Grão Pará topograficamente acima da Unidade Caninana, dada pela Falha Caninana reconhecida por Pereira (2009), situando-se no flanco E do platô N6. Esta estrutura é bem marcada no sinal GRAV-FTG e SAR, permitindo individualizá-lo de forma precisa e corroborado em campo.

Nas proximidades do contato inferior do Gr Grão Pará com Unidade Caninana os jaspilitos apresentam intenso fraturamento, com rejeitos centimétricos, formação de magnetita nos planos de fratura e o mergulho dos mesmos apresenta alto mergulho.

Fator importante se trata da grande divergência entre os ângulos de mergulho das camadas de jaspilito (acima) e arenito conglomerático (abaixo) do traçado inferido para a falha, sendo as direções dos mergulhos condizentes entre si, tal feição é demonstrada na figura 5.30, a seguir. O mergulho da Formação Carajás é alto, sendo as direções pouco divergentes, permitindo supor que o Grupo Grão Pará possa ter sido alçado sobre a Un. Caninana por meio de uma falha reversa.

**Figura 5.30** - Estereograma dos acamamentos divergindo nas proximidades da Falha de empurrão que justapõe o Gr Grão Pará/Formação Carajás (N250/80) e Unidade Caninana (N250/30 e N210/40). Rede de Schmidt, projeção equiária no hemisfério inferior.



A existência desta estrutura e sua natureza cinemática condizem com o modelo de Pereira (2009), representando sua fase de deformação 3. Sua idade pode ser atribuída a um evento

posterior à instalação da ZCC e anterior aos granitos anorogênicos da PMC, ou seja, de idade paleoproterozóica entre 2011 e 1880 Ma.

O regime crustal apresenta-se não muito bem definido por conta da aparente ausência de cataclasitos e também ausência de trama nas rochas nas proximidades do contato tectônico, sendo então considerado um regime no limiar rúptil-dúctil, em uma tectônica de crosta relativamente rasa.

### **Evento pós-Dn-2**

Duas estruturas de natureza rúptil são inferidas para a área mapeada com base nas descontinuidades de litotipos e presença de sinais geofísicos confirmativos, como previamente descrito.

Estas falhas apresentam um trend NE-SW, cortando todas as unidades de mapeamento e consideradas de dinâmica normal (de gravidade), com ambas apresentando blocos baixos a Sul de seu traço superficial e limitando porções com diferentes espessuras de formações ferríferas, especialmente no que tange ao bloco central limitado pelas duas fraturas, sendo o local onde as mesmas apresentam espessuras extremamente contrastantes, consideradas horizontes estratigráficos distintos.

Estas falhas apresentam idades mal-definidas, mas por critérios de truncamento pode-se afirmar que se tratam de falhamentos posteriores ao evento de justaposição do Grupo Grão Pará sobre a Unidade Caninana, visto que que truncam os eixos tardi-Dn e o empurrão do Evento pós-Dn, deslocando respectivamente eixos e contatos. Estes falhamentos concordam com lineamentos extraídos por sensoriamento remoto e os mesmos também truncam os outros lineamentos.

Esta fase de deformação corresponde à fase D4 de Pereira (2009), sendo uma fase de deformação rúptil extensional de idade indefinida, que levou à formação de falhas de gravidade de alto mergulho.

### **Fraturas**

A área apresenta um penetrativo conjunto de fraturamentos, sendo possível caracterizar famílias com traços N-S, NNW-SSE, NNE-SSW e subordinadamente E-W.

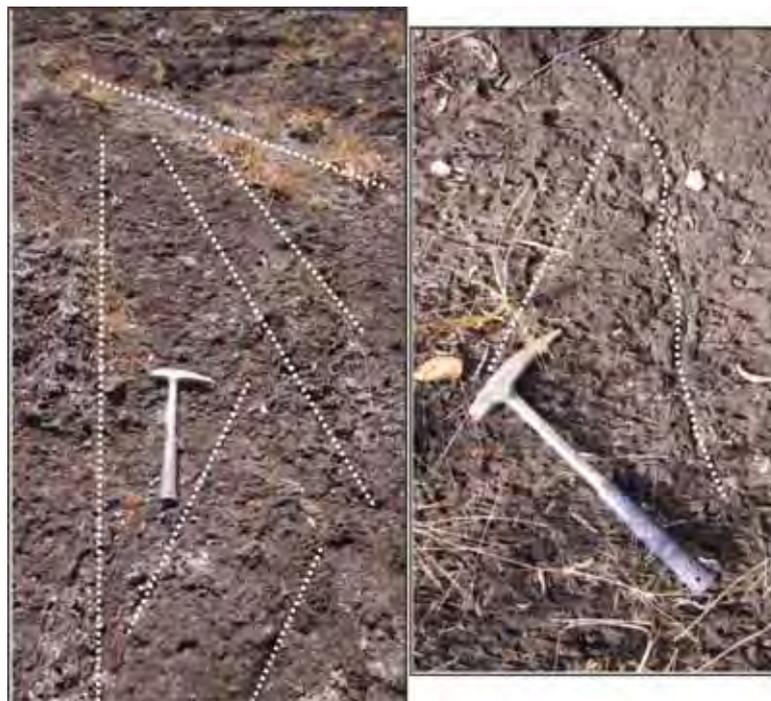
Estas fraturas apresentam espaçamentos variáveis métricos a decamétricos, seus traçados são em geral retilíneos, ondulados a anastomosados de modos angulosos, apresentam-se com planos preenchidos por material de alteração composto por goethita e limonita muitas vezes com textura colorme, além de preenchimentos por argilominerais e filmes de Mn.

As fraturas apresentam freqüentemente terminações em superfícies de outras fraturas, dificultando o estabelecimento de uma relação temporal entre elas.

Estas fraturas apresentam truncamentos entre si, notando-se a seguinte ordenação: I) fraturas NNW-SSW e NW-SE. II) fraturas N-S também e E-W. III) fraturamento NNE-SSW e NE-SW. Os mergulhos para todas as fases são em geral de alto ângulo.

- I) Esta família de fraturas apresenta uma orientação subparalela aos eixos de dobramento da fase Dn e com os traços das camadas avaliadas, sendo possível reflexo da acomodação da deformação decorrente deste evento.
- II) A orientação dessas fraturas é similar à dos *splays* N-S, neste trabalho considerado uma fase tardi-Dn, considerados como da implantação da Zona de Cisalhamento Carajás, como descrito por Pereira (2009), sendo os E-W subparalelos aos eixos das flexuras dessa fase.
- III) Esta família apresenta orientações condizentes com a deformação rúptil extensional aqui considerada como do evento Pós Dn-2, como possíveis fraturamentos escalonados de rejeito pouco perceptível associados a extensão deste evento.

**Figura 5.31.** – Fraturas de traçado retilíneo a ondulado em canga química, foto da esquerda, afloramento 79; foto da direita afloramento 80. Martelo apontando para Norte.

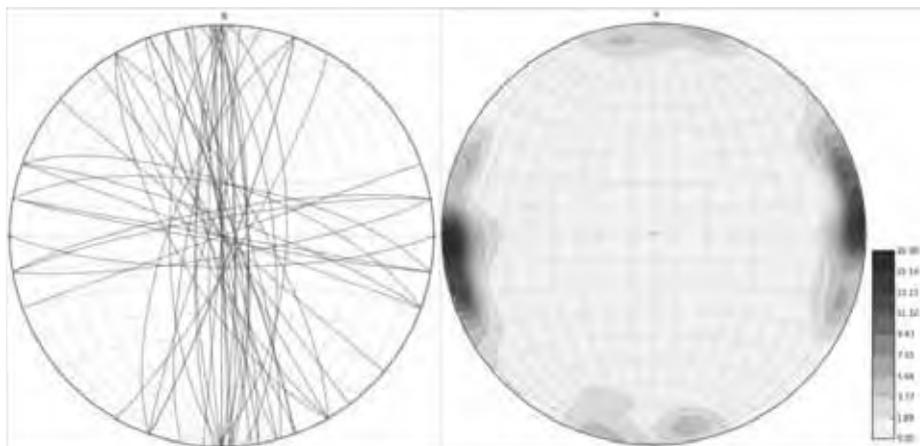


A figura 5.32 a seguir mostra em um estereograma as orientações das fraturas observadas na área, onde se pode observar que a maior parte das mesmas apresenta orientações N-S, caindo para E, gerando máximos nessa direção aproximada e com mergulhos tanto para W também, com um subordinado espalhamento para máximos de segunda ordem nas direções NW-SE e NE-SW.

Assim se pode afirmar que estes fraturamentos representariam estruturas relacionadas aos diferentes eventos tectônicos rúpteis-dúcteis incidentes sobre a área, em vista de suas possíveis analogias em relação às direções e mergulhos, não sendo possível uma criterização cinemática em vista da ausência de indicadores. Se suas superfícies apresentam dinâmica de fratura, junta,

ou de alguma das mesmas convertidas em venulações não há evidências, porém é muito freqüente a presença de falhas nos furos de sondagem, incluindo a formação de espelhos com clorita.

**Figura 5.32** – Estereograma para essa família de fraturas, total de 49 medidas, à esquerda planos e à direita contornos estatísticos. Projeção no hemisfério inferior, equiárea e em rede de Schmidt.



Estas fraturas podem representar um condicionante para o sistema aquífero local, possibilitando a infiltração da água de modo facilitado, permitindo trocas entre os diferentes níveis do aquífero e mobilização de íons, associados às outras estruturas da área formando sistemas confinados, um fato que pode ter relevância na metalogênese da hematita friável.

Ainda se pode acreditar que estas fraturas e as estruturas rúpteis de maior porte sejam um importante condicionante geomorfológico para a área, visto que se apresentam também nas cangas de minério e química do Tércio-quadernário, como um exemplo cabe ressaltar o caso da falha situada na porção centro-inferior da área, onde seu traço superficial intercepta o acesso a N7, a Sul de N6, observa-se um súbito rebaixamento do terreno de medida decimétrica ocasionando acúmulo de águas, sendo um possível reflexo de atividade neotectônica.

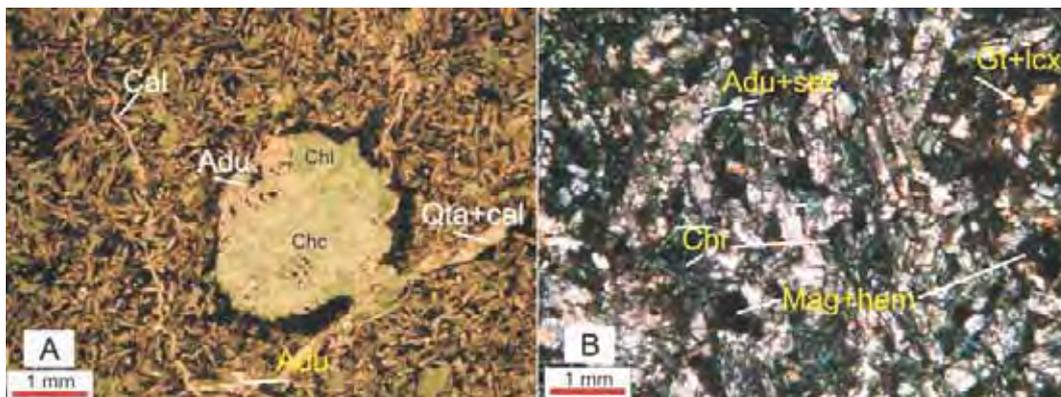
### 5.3.3. Metamorfismo

A área do platô N6 apresenta evidências de metamorfismo de grau muito baixo, fácies xisto-verde baixo a muito baixo, onde as rochas máficas da Formação Parauapebas apresentam-se intensamente cloritizadas e com a transformação do plagioclásio em adularia, com a fixação de K, Mg e água, perda de Na e Ca sem a perda de Al, requerendo um processo metamórfico de temperatura muito baixa para a produção da paragênese representada por adularia + Mg-Fe-clorita + pirita registrada na rocha sem a formação de tropia associável a alguma fase de deformação, como se observa na figura 5.33.

A fixação dos citados elementos pode ser explicada por processos de metassomatismo de Mg e K, associados a alteração hidrotermal de baixa temperatura (<150°C) e baixa pressão (<1-2km), como relatado por Vernon & Clarke (2008) podendo ser também associada a metamorfismo de grau muito baixo associado a zeólitas, prehnita e pumpeleíta (Winkler, 1978), em paragêneses

consideradas estáveis a temperaturas de até 200°C. Esta fase de aquecimento do maciço e sua percolação por fluidos pode estar associada à martitização da magnetita contida nestes litotipos.

**Figura 5.33.** – A) Lâmina delgada de rocha metamáfica vesiculada do intervalo entre 120 e 125m do furo N6-0002. Preservação de calcedônia associada a adulária em vesícula. B) Lâmina delgada de metadolerito do intervalo entre 169.18 a 169.25 do furo N6-0001, onde observa-se pseudomorfos de adulária sobre plagioclásio tabulares, com textura em fluxo e clorita pseudomorfisando piroxênio em textura offítica. Legenda: Adu – adulária, e hematita compacta – calcedônia, ser – sericita, lcx – leucoxênio, demais segundo Kretz (1989).



Do ponto de vista químico Vernon & Clarke (2008) afirmam que rochas submetidas a esse tipo de alteração química/metassomática podem apresentar enriquecimento em elementos traço como Ba, Zn, Mn e Pb, feições observadas na rocha.

A ambiência desse tipo de alteração pode ser considerada como o fundo oceânico, estando essas rochas máficas em contato com águas marinhas e fluídos percolantes no sistema magmático no fundo oceânico, sendo essas rochas alteradas especialmente por conta da reatividade de seus minerais.

A existência desse tipo de alteração hidrotermal colabora para a hipótese de que as rochas da Formação Parauapebas tenham sido alvo de alteração associada a evolução da bacia, contribuindo para o quimismo das rochas, em um processo análogo ao de espilitização, podendo representar um tipo faciológico do mesmo.

Formações ferríferas da Formação Carajás não apresentam amplas evidências de alteração por fluidos tectono-metamórficos, sem a alteração de suas estruturas e sua mineralogia como por exemplo a preservação de bandas de calcedônia/chert primário incluindo estruturas diagenéticas associadas a transformações de géis silico-ferrosos, presença de localizados itabiritos onde o silicato inicial foi recristalizado para quartzo e a presença de venulações quartzo-carbonáticas tardias com sulfetação freqüente.

#### 5.4. Geoquímica

Um total de 15 amostras foram coletadas a partir de furos de sondagem, tratando-se especialmente de jaspilitos, contabilizando treze amostras, de variados tipos e independente de sua economicidade, buscando amostrar diferentes níveis estratigráficos da Formação Carajás,

partindo de amostras com a menor influência intempérica e menor quantidade de remobilizados. Foi coletada e analisada quimicamente uma amostra da Formação Parauapebas a título de amarração e comparação do quimismo com as formações ferríferas e também uma amostra de peperito.

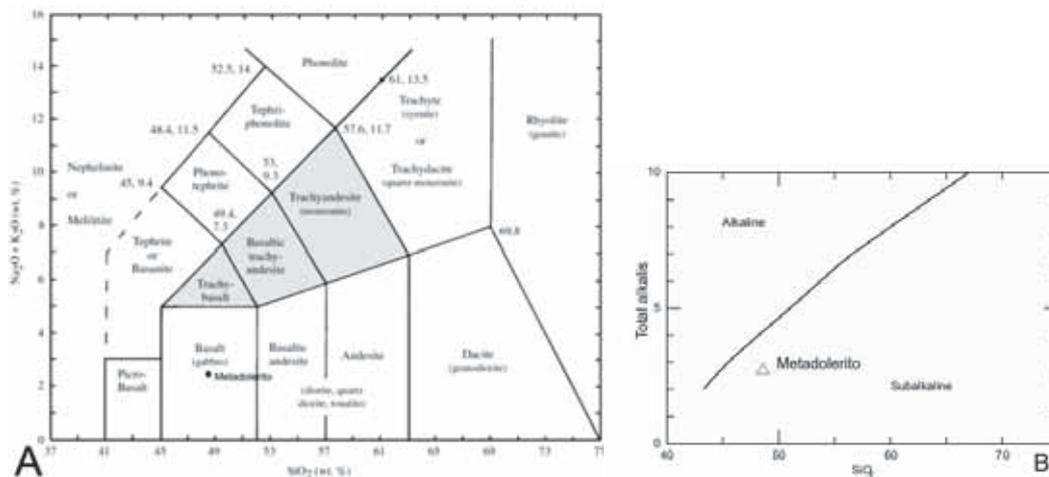
A metodologia analítica encontra-se disposta na seção 3.4. “Geoquímica”, onde os tipos de elementos analisados são listados, sendo tais dados utilizados para averiguar possibilidades acerca da gênese dos jaspilitos e suas possíveis relações com o vulcanismo da Formação Parauapebas, contemporâneo às mesmas.

### Formação Parauapebas

Duas amostras dessa unidade foram analisadas, um metadolerito e um peperito, sendo a segunda uma amostra de geoquímica extremamente diferenciada em vista da contaminação por jaspilitos, sendo comparada ao metadolerito apenas ao nível de seus ETR e também aos jaspilitos. As amostras trabalhadas são de metadolerito, provindo do furo N6-0001 do nível 169,18m, e a de peperito provêm do furo N6-0003, nível 134,70 m.

O metadolerito é uma rocha básica com 48,6% de SiO<sub>2</sub>, baixíssimo teor de Na e relativamente baixo teor de K, condizentes com a petrografia da rocha que indicam a formação de adulária a partir do plagioclásio, como discutido no item 5.3. – Metamorfismo. Em relação aos elementos traços nota-se que o teor de metais enriquecido relativamente aos jaspilitos, condizente com a natureza da rocha. Esta rocha apresenta quimismo de um gabro, como demonstra a figura 5.34-A, com tendência sub-alcalina segundo Irvine & Baragar (1971), como na figura 5.34-B.

**Figura 5.34** A) - Diagrama de discriminação química de rochas magmáticas com base na relação Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O x SiO<sub>2</sub>, segundo Le Maitre (1989). B) Diagrama de Álcalis Totais (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) x SiO<sub>2</sub> de Irvine & Baragar (1971).



O quimismo da rocha retrata lixiviação de K e Na do sistema, com a substituição do Na por K nos feldspato, como verificado pela presença de adulária nas rochas e aliado ao teor de Ba (151 ppm no metadolerito), tornam imprecisa sua designação por diagramas de composição química,

complementando a interpretação de que a Formação Parauapebas foi submetida a uma intensa lixiviação, como proposto na seção 5.3. – Metamorfismo.

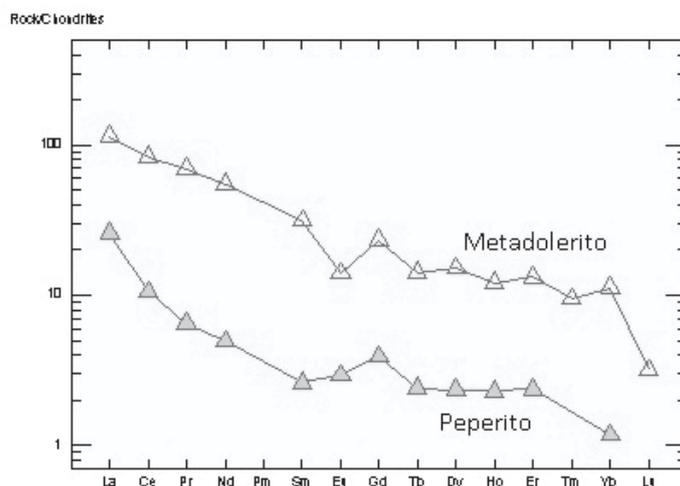
O teor de Ti é compatível com a presença de titanita verificada nas duas rochas, tratando-se de uma fase cristalizada na falta de sílica no sistema, com a presença de V associada (206 e 11 ppm, respectivamente no metadolerito e peperito) pode-se considerar que a rocha já havia sido diferenciada em relação aos óxidos de metais ferrosos, em vista de seus baixos teores sendo associados ao fracionamento de óxidos de Fe-Ti (Wilson, 1989)

Os teores relativamente baixos de Ni, Co e Cr, dessa meta-básica (respectivamente 95, 45 e 97 ppm) e no peperito (6, 7 e 3, respectivamente), considerados elementos altamente compatíveis no magma básico indica que se tratem de magmas altamente diferenciados, sugerindo fracionamento de olivina na fonte e de espinélios e clinopiroxênios. O baixo teor em Cu no meta-dolerito (153 ppm) indica que esse magma já passou por estágios de separação da fase sulfetada imiscível, porém o mesmo pode ser devido à lixiviação deste metal quando da alteração metamórfica imposta em fundo oceânico (Wilson, 1989).

Em relação aos elementos de terras raras (ETR) observa-se um padrão de relativa similaridade entre o metadolerito e o peperito, exceto pela menor quantidade de ETR no peperito, fruto da dissolução dos mesmos com a porção de jaspilito engolfado, mantendo a assinatura entre os dois, como mostra a figura 5.35.

Observa-se um enriquecimento em ETR Leves (ETRL) e uma distribuição quase horizontalizada dos ETR Pesados (ETRP), com uma anomalia negativa em Eu, sugerindo que as fontes dos magmas já haviam sido depletadas/fracionadas em plagioclásio, retratando uma extensa fusão do manto para a produção dos mesmos, ou uma fonte inicialmente pobre nos mesmos, como um peridotito; outra interpretação seria a de que a pequena quantidade de ETRP seria fruto da contenção dos mesmos na rocha a ser fundida em fases como granada, associada a fusão em alta pressão (Best, 2003).

**Figura 5.35** – Diagrama spider para as composições de ETR das duas amostras da Formação Parauapebas, normalizadas em relação a condritos, segundo Sun & McDonough (1989).



O quimismo dessas rochas apresenta-se condizente ao já referido por Meirelles & Dardenne (1991), baseado em química de rocha, classificam os vulcanitos da Formação Parauapebas como uma série shoshonítica associada a um arco magmático, se ignorarmos o fato de que o K é secundário, ou seja foi fixado no metamorfismo, assim se essa hipótese não for reavaliada segundo o trabalho citado pode-se considerar que este aspecto não era conhecido até então para a Formação Parauapebas.

### *Formação Carajás*

Os jaspilitos analisados apresentam uma grande amplitude nos teores dos elementos dosados como se pode observar através da tabela 5.1. , em termos de estatística. Dentre os elementos analisados e citados na metodologia observa-se que para os elementos menores/traço e terras raras grande parte dos elementos mostram resultados abaixo do limite de detecção do método em totalidade ou em parte das amostras, tornando seu uso difícil com efeito estatístico.

Elementos como Ag, B, Mo, Sb, Sc, Sn, Tl, W, Zr, Pd estão abaixo do limite de detecção do método utilizado em todas as amostras de formações ferríferas, enquanto As, Be, Cd, Co, Li, Cr, Ni, Pb, Sr e Se retornam valores em apenas algumas amostras. Os baixos teores revelado se devem à baixa quantidade destes elementos inerente às formações ferríferas, em vista da separação geoquímica destes elementos, como aventa Klein (2005).

Os teores de Si e Fe, demonstrando uma grande heterogeneidade na unidade em relação à presença de bandas de óxidos e à riqueza em hematita do jaspe que os formam. Si e Fe apresentam uma correlação negativa bem definida, como mostra a figura 5.36-A.

Em relação a Si observa-se que os jaspilitos do N6 apresentam teores médios maiores que os da Formação Carajás por Macambira & Schrank (2002) e que de formações ferríferas tipo Lago Superior e Algoma, apresentando um teor inferior em  $Fe_2O_3$  e FeO para os três valores de referência, como mostra a tabela 5.2., apontando uma vaga similaridade com formações ferríferas tipo Lago Superior.

O teor de sílica dessas formações ferríferas apresentam-se em geral maiores nas suas porções superiores, fato já evidenciado por Macambira & Schrank (2002) e considerado como associado à evolução da bacia para um estágio de menor influxo hidrotermal. Valores mais altos em CaO estão associados à presença de carbonatos, especialmente em jaspilitos brechados.

Os teores de Al, Ti, Na e K são muito baixos, com algumas amostras alcançando o limite inferior de detecção do método analítico, indicando uma irrisória contribuição detrítica na decantação dos sedimentos ferríferos e também apresentam-se em quantidades inferiores aos das localidades de comparação, reforçando a hipótese de que a bacia Carajás tenha pequena influencia de sedimentação detrítica, sendo estes os principais elementos constituintes das fases minerais provindas da sedimentação continental (Klein 2005)

**Tabela 5.1** – Estatística para as análises químicas dos jaspilitos da Formação Carajás. Legenda: EM = Elementos Maiores, ET = Elementos Traço, ETR = Elementos de terras raras e PF = Perda ao fogo.

EM (%)	Mínimo	Média	Máximo	ET(ppm)	Mínimo	Média	Máximo	ETR (ppm)	Minimo	Média	Máximo
SiO <sub>2</sub>	40	58,05	93,6	Ba	2	6,92	11	Ce	2,3	11,61	30,5
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02571	0,08	Pb	6	10,125	17	Dy	0,17	1,01	2,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,3	1,14	Zn	3	518	3351	Er	0,17	0,67	1,39
FeO	2,12	6,42	13,37	Cu	3	197,5	1349	Eu	0,06	0,24	0,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,06	37,72	57,332	Ni	2	6,28	17	Gd	0,28	1,057	2,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	2,85	5,87	4,28	Cr	2	6,85	12	Ho	0,06	0,24	0,48
MnO	0,0129	0,0599	0,322	Co	3	4	6	La	4,5	11,51	24,6
MgO	0,11	0,218	0,84	Bi	13	31,2	49	Lu	0,06	0,09	0,12
CaO	0,01	2,65	17,4	V	3	21	31	Nd	1,7	4,51	10,1
Na <sub>2</sub> O	0,13	0,17	0,21	Hematita friável	0,11	0,48	1,87	Pr	0,51	1,19	3,1
K <sub>2</sub> O	0,01	0,0175	0,02	Th	0,4	2,34	4,6	Sm	0,2	0,73	1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0138	0,024	0,039	U	0,08	0,14	0,3	Tb	0,06	0,17	0,33
PF	-1,1	1,46	12,5					Tm	0,06	0,11	0,19
								Yb	0,1	0,47	1,2
								Y	3,05	8,79	18,35
								ΣETR	12,66	33,46	73,02

**Tabela 5.2.** – Comparação entre os teores médios de elementos maiores em formações ferríferas do platô N6, Formação Carajás como em Macambira & Schrank (2002), para formações ferríferas tipo Lago Superior e Algoma, extraídos de Gross (1990).

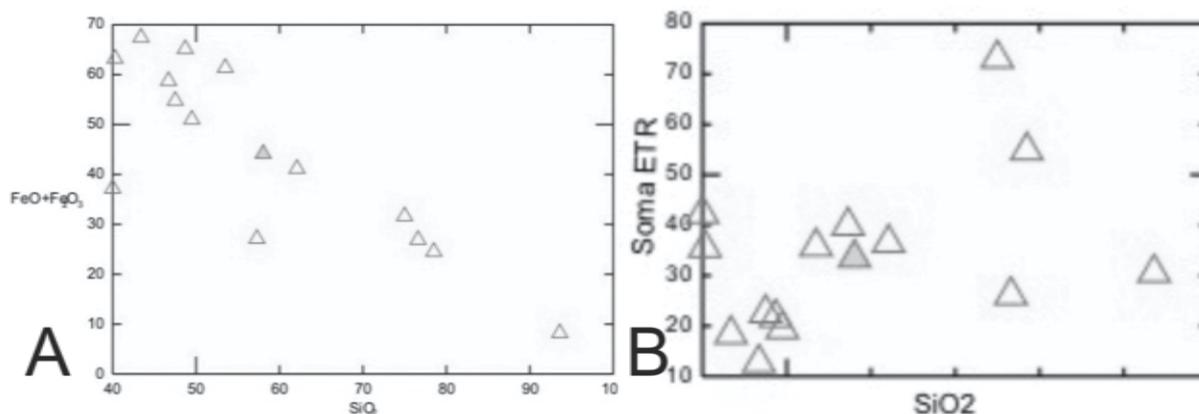
%	N6	Formação Carajás	Superior	Algoma
SiO <sub>2</sub>	58,05	44,6	47,71	47,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	0,63	1,28	2,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	30,65	53,65	44,27	44,19
FeO	6,42	1,31	7,8	12,7
MgO	0,21	0,1	1,24	1,58
CaO	2,65	0,04	1,61	1,67
MnO	0,06	0,06	0,66	0,14
K <sub>2</sub> O	0,0175	0,02	0,15	0,72
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,04	0,11	0,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub> /FeO	4,77	53,96	5,67	3,48

O baixo teor de ETR observado nos jaspilitos representado pelas suas somas oscila entre 12 ppm até 73 ppm, sendo valores muito baixos, similares aos citados por Klein (2005) e também considerado um indicador de discreta contribuição detrítica na formação das mesmas.

A assinatura geoquímica dos ETR é considerada como herdada dos fluidos hidrotermais liberados por fumarolas vulcânicas do fundo oceânico e misturadas às águas oceânicas, estas as responsáveis pela precipitação desses sedimentos ferrosos (Bau & Moller 1993, Lascelles 2007).

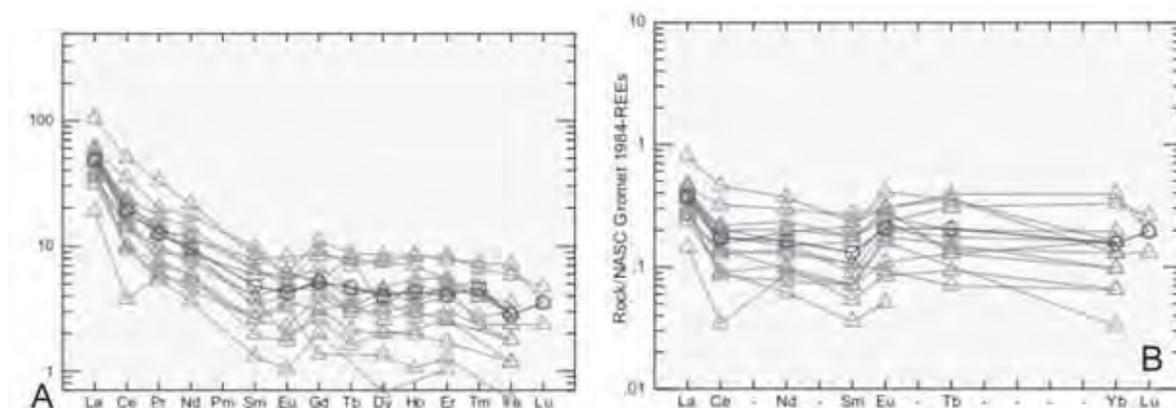
Mc Lennan (1989) salienta que o teor de ETR em fluidos seria alto apenas em soluções hidrotermais ricas em Cl, como o encontrado em dorsais meso-oceânicas, justificando que precipitados a partir desses fluidos poderiam portar quantidades muito baixas de ETR.

**Figura 5.36** – A) Diagrama de correlação entre SiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO. B) Diagrama de correlação entre SiO<sub>2</sub> e o Teor total de ETR contido nas amostras. Legenda: triângulos vazios são amostras em análise; triângulo preenchido se trata de uma média entre as amostras.



A normalização do teor dos ETR em relação a condritos demonstra enriquecimento em ETR Leves (ETRL, La a Eu) em detrimento dos ETR Pesados (ETRP, Gd a Lu), como mostra a figura 5.37-A, com uma distribuição plana para os ETRP. O padrão de distribuição de ETR das formações ferríferas é inverso ao do padrão da água marinha típica, sendo enriquecida em ETRL em detrimento dos ETRP (Rollinson, 1993), como evidenciado por anomalias negativas em Ce se normalizados ao NASC (*North American Shale Composite*, Gromet 1984), como mostra a figura k-B, sendo a anomalia negativa em Ce devida a variações nas condições de oxi-redução da água e também susceptível à alterações pós-deposicionais.

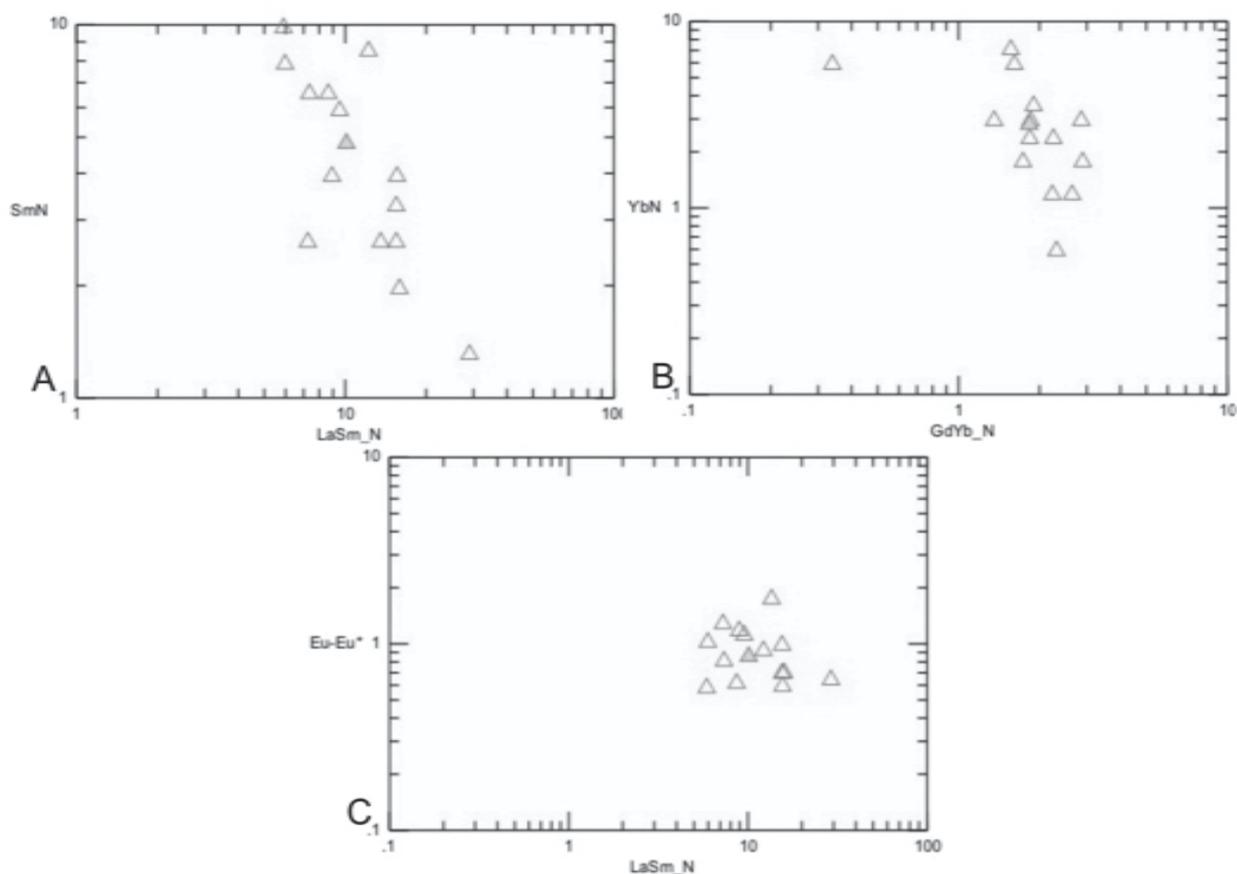
**Figura 5.37** – A) Diagrama de normalização das formações ferríferas da Formação Carajás em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989). B) Diagrama de normalização das amostras de formações ferríferas em relação ao padrão NASC. Legenda: Linhas+triângulos – amostras de jaspilitos; linhas + círculos – média para os jaspilitos de N6.



Os elementos terras raras apresentam uma correlação positiva com o teor de sílica contido nas rochas, indicando que possivelmente a fase silicática porte os mesmos durante a deposição e diagênese, como confirmado por Klein (2005). Esta correlação está representada na figura 5.36-B.

O fracionamento dos ETRL fica notável com a análise da Figura 5.38-A, onde se observa que a razão  $(La/Sm)_N \times Sm_N$  retorna valores superiores a 10 em todas as amostras, indicando que os citados elementos se fracionaram do líquido transportador para as fases representadas pelas formações ferríferas, em detrimento dos ETRP, como mostra a Figura 5.38-B, que demonstra a relação  $(Gd/Yb)_N \times Yb_N$ , índice do fracionamento dos mesmos, retornando valores relativamente pequenos para o fracionamento dos mesmos em relação ao condrito para ambos os casos. Estes resultados poderiam ser interpretados tanto como uma variação no quimismo das fontes hidrotermais como também relacionado à distância de deposição das formações ferríferas em relação ao centro exalativo (Bau & Moller 1991, Macambira et al 2002).

**Figura 5.38** – Diagramas discriminatórios de fracionamentos e anomalias de ETR. A) Diagrama  $(La/Sm)_N \times Sm_N$  para a discriminação de anomalias e ETRL. B) Diagrama  $(Gd/Yb)_N \times Yb_N$  para a identificação de anomalias em ETRP. C) Diagrama para a razão  $(La/Sm)_N \times Eu/Eu^*$  para a identificação de anomalias de Eu. Amostras normalizadas em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989). Legenda: triângulos vazios são amostras em análise; triângulo preenchido se trata de uma média entre as amostras.



Anomalias negativas de Eu para a maioria das amostras são demonstradas na figura 5.38-C, onde a equação I, de Taylor & Mc Lennan (1985), demonstra o empobrecimento das em relação ao condrito, remetendo a uma contenção do elemento na rocha inicialmente lixiviada para

a produção do fluido hidrotermal responsável pela deposição das formações ferríferas, tal comportamento para este elemento é demonstrada também na figura 5.37-A, diferindo de resultados obtidos por Macambira & Schrank (2002), que apontam anomalias positivas para as formações ferríferas de outros depósitos da Formação Carajás.

$$\frac{Eu}{Eu} * = EuN / \sqrt{[SmNxGdN]} \text{ (Equação 1)}$$

Segundo Klein (2005) a falta de uma anomalia positiva em Eu pode ser produto de uma menor temperatura dos fluidos hidrotermais, Lindenmayer et al (2001) aponta uma possível maior diluição dos fluidos hidrotermais pelo reservatório oceânico como um possível responsável para tal feição.

### *Discussão*

Grande variação na composição das formações ferríferas podem ser devidos então a sub-embaciamentos no interior do que hoje em dia representa a Formação Carajás, visto a discrepância em relação aos dados apresentados em publicações.

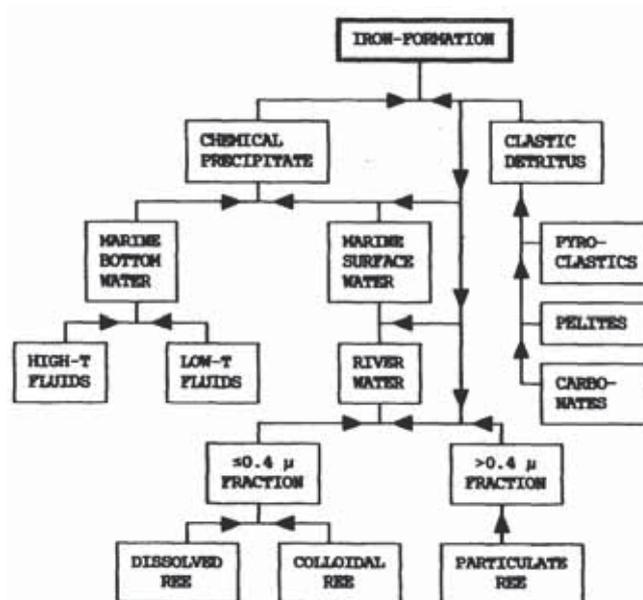
As amostras de formações ferríferas analisadas apresentam padrões de ETR diferenciados ao já discutidos na literatura referente à Formação Carajás, suportando a hipótese de que estas formações ferríferas apresentem zoneamento composicional relacionado à sua gênese ou a possíveis processos hidrotermais subseqüentes à sua consolidação, como no modelo sustentado por Figueiredo e Silva (2008).

Bau & Moller apontam que o reservatório geoquímico representado pelo oceano, pode sofrer interferências de diversos aportes geoquímicos, processos de homogeneização e, portanto a análise de ETR para formações ferríferas deve levar em conta esses agentes, como mostra a figura 5.39.

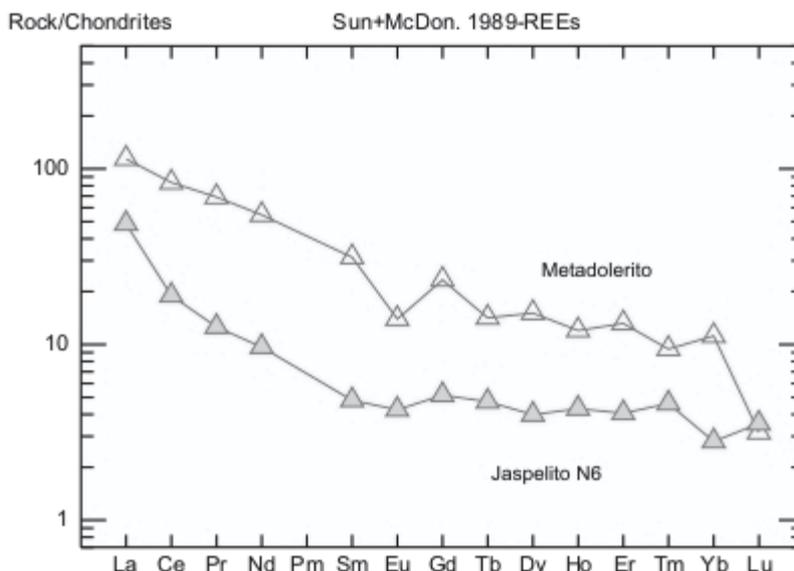
Tal discrepância pode estar associada ao hidrotermalismo acima referido, porém o plato N6 pode não ter sido afetado pelo mesmo em vista de sua situação estrutural distal às estruturas principais regionais, os meios canalizadores dos possíveis fluidos, confirmado pela sua petrografia que aponta uma ausência de efeito tectono-metamórfico e/ou hidrotermal conclusivo impresso nas formações ferríferas.

Se comparado ao metadolerito da Formação Parauapebas observa-se que o padrão de ETR dos jaspilitos de N6 (figura 5.40), são similares com pequena discordância em relação às anomalias quando normalizados em relação ao condrito, relatando que pode-se considerar a Formação Parauapebas como uma possível fonte para os ETR liberados no oceano na época, sendo então ela o material lixiviado por fluidos hidrotermais, sendo o relativo maior teor nos jaspilitos relacionável à mistura dos fluidos provenientes de diversas fumarolas e por sua vez que percolaram diferentes litotipos e que foram homogeneizados em um reservatório de maior escala com possível contribuição de outras fontes como anteriormente citado.

**Figura 5.39.** – Agentes e interferências geoquímica para a precipitação de Formações Ferríferas precambrianas. Segundo Bau & Moller (1993)



**Figura 5.40** – Diagrama de normalização dos ETR das Formações Carajás e Parauapebas, normalizados em relação ao condrito de Sun & Mc Donough (1989).



### 5.5. Gênese da hematita friável

A alteração dos jaspilitos para a gênese dos níveis de hematita friável apresenta ligações com a qualidade das águas percolantes no perfil, presença de estruturas confinantes deste freático, condições iniciais do jaspilito, interferência da encaixante no quimismo dessas águas, regime climático vigente para o controle hidrológico e a neotectônica vigente para a preservação dos pacotes.

A ausência de evidências de atividade hidrotermal indica que as concentrações de hematita friável estejam associadas à alteração supérgena de formações ferríferas da Formação Carajás não alteradas por processos hidrotermais e/ou tectono-metamórficos, diferindo da

hipótese de Figueiredo & Silva (2008), sendo este modelo provavelmente válido para as zonas mais estruturadas da PMC.

#### *O papel do lençol freático*

O aquífero deve ser considerado como o principal fator atuante na formação dos intervalos de hematita friável, visto que representa o único meio de transporte viável para soluções, assim que um fator hidrotermal/deformacional pode ser descartado para a gênese do minério, cabendo ao enriquecimento supérgeno a transformação dos jaspilitos.

O sistema aquífero atuaria como meio de transporte de íons e condutor de elétrons ao longo do perfil de alteração, conduzindo as soluções que lixiviam as porções superficiais oxigenadas conduzindo até o freático abaixo, redutor, onde ocorreria a fixação do Fe.

Os diversos materiais presentes no perfil, como as máficas da Formação Parauapebas poderiam fornecer íons como Fe, Mg, Al, Mn e Si para a solução percolante, em conjunto com a matéria orgânica vegetal, esta que tornaria o meio ácido e redutor. Íons como Al e Mg, seriam de possível importância para o tamponamento das soluções e aceção de íons Si, OH<sup>-</sup>. A reconhecida presença de sulfetos disseminados nas rochas da Formação Parauapebas poderia levar a uma acidificação dessas águas e também com contribuição em Fe.

Sistemas aquíferos confinados por estruturação tectônica ou camadas selantes (no caso, jaspilito) levariam a concentração das soluções lixiviadas e possível supersaturação do Fe na solução, além de um possível sistema de células eletrolíticas, como aventa Morris et al (1980) para o depósito de Mt Whaleback na Austrália.

Importante fator na formação de minério de alta qualidade como o da PMC deve também associar-se ao baixo teor em Al do mesmo, a figura 5.41 demonstra os campos de solubilidade dos minerais de Al e Fe, onde os campos representam condições específicas quanto aos parâmetros Eh e pH. As condições otimizadas para a formação de lateritas ricas em Fe correspondem aos campos 3 e 4, devido à fixação do Fe e instabilidade do Al, com mobilidade acentuada do Fe nos campos 1, 2, 5 e 6. A mobilidade da sílica é restrita nos campos 1 e 2, resultando na sua fixação e contaminação do minério, com a sílica dissolvida nos pH's mais altos.

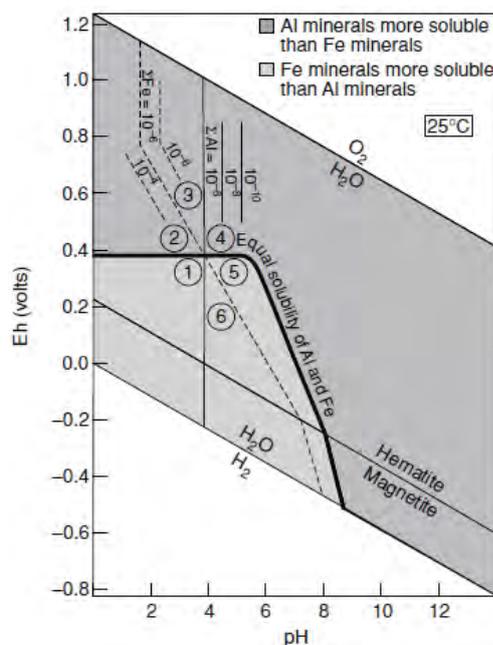
Os estágios da alteração acometida à sucessão do Grupo Grão Pará estão sumarizados à seguir, como o provável ciclo formador da hematita friável. A repetição sucessiva do ciclo abaixo descrito levaria à formação da hematita friável, sendo um processo superficial de baixa temperatura, com a contaminação proveniente especialmente do próprio jaspilito e da encaixante máfica, esta última possivelmente responsável por contaminações como Al e Mn. O teor de sulfetos da rocha máfica pode contribuir para a lixiviação ácida do sistema, liberando também o Fe contido na clorita.

- I) Exumação geomorfológica dos jaspilitos e aporte de soluções intempéricas e lixiviação da sílica, martitização da magnetita (completa ou não), transformação da hematita e martita em goethita. Condições hidrológicas e atmosféricas com fluídos

abundantes, atmosfera quente, oxigenada. Fluido oxidante e ácido. Equivalente aos campos 1, 2, 5 e 6 da figura 5.41.

- II) Flutuação do nível freático leva à instabilização da goethita e limonita, com a mobilização de Fe, Al, Si e Mn, formação e destruição sucessiva de goethita (sendo a sua destruição responsável por parte da porosidade)
- III) Enriquecimento das porções inferiores do perfil em  $\text{Fe}^{+3}$  por soluções oxigenadas provenientes dos níveis superiores, precipitação de hematita e possível de magnetita caso as condições de Eh-pH se tornem favoráveis. Campos 3 e 4 da figura 5.41.
- IV) Rebaixamento do freático leva à exposição da hematita/magnetita que se altera com a formação de goethita e volta o estágio II.

**Figura 5.41** – Diagrama Eh-pH com os campos de solubilidade dos íons Fe e Al em soluções intempéricas a 25°C. Segundo Norton (1973), extraído de Robb (2005).



## 5.6. Evolução Geológica

Instalação de uma bacia marinha neoarqueana sobre um embasamento granito-gnáissico correspondente ao Cráton Amazônico, que suportou a deposição da sucessão sedimentar e vulcânica máfica, considerada por Meirelles & Dardenne (1991) uma bacia back-arc com vulcanismo shoshonítico, com uma plataforma ampla que recebeu aporte de fluidos hidrotermais oceânicos que precipitaram sedimentos químicos silico-ferrosos, hoje formações ferríferas da Formação Carajás contemporaneamente ao vulcanismo da Formação Parauapebas.

Esta bacia sedimentar deveria apresentar freqüente tectonismo em vista da freqüência de dobras de slump, sendo o efeito da tectônica sobre a bacia por sismos, podendo também

acarretar sub-embaciamentos, em vista da diferença composicional observada para os jaspilitos da Formação Carajás.

Metamorfismo de fundo oceânico está impresso na Formação Parauapebas e a mesma apresenta uma assinatura geoquímica de ETR similar à da Formação Parauapebas de onde se pode inferir que a primeira tenha sido lixiviada para a formação dos fluidos ferrosos que levaram à precipitação da Formação Carajás (Lindenmayer et al 2001, Macambira et al 2002)

Após a consolidação dessa bacia inicia-se um ciclo de deformação que acomete à bacia Grão Pará como um todo, aqui denominado evento Deformacional Dn.

O evento Dn Inicia-se deformação com tensores NE-SW com a nucleação da Dobra de Carajás e fechamento da bacia em uma flexura muito ampla e de grande extensão com eixo aproximadamente NW-SE. Este evento evolui para uma fase tardia/final com a deformação dos estratos do Gr. Grão Pará em dobras mais apertadas de eixos NE-SW, E-W, em uma tectônica transpressiva com tensores no sentido NW-SE, de caráter rúptil-dúctil, com a formação de splays tectônicos N-S, que compartimentam o setor Norte da Serra dos Carajás, sendo a expressão disto encontrada na área pela existência de dobras inferidas por geofísica e por patente fraturamento N-S, concordando com as estruturas descritas por Pinheiro & Holdsworth (1997), sendo considerada idade neoarqueana.

Subseqüentemente se tem a exumação de formações ferríferas e seu intemperismo, incluindo sua contribuição para a Bacia Caninana, que se instala entre 2,01 e 1,8 Ga, sendo então fechada e justaposta ao Grupo Grão Pará, por intermédio da instalação da Falha a E do platô N6, denominada de Falha da Caninana por Pereira (2009), configurando uma inversão estratigráfica, sendo este evento ocorrido no Mesoproterozóico. O mesmo autor considera esta bacia como uma bacia *foreland* associada à orogênese responsável pela colagem entre os domínios Carajás e Bacajá.

Em vista da ausência de impressões metamórficas sobre os litotipos e estilos estruturais, independente da fase de deformação, pode-se então acreditar que essas deformações sejam o produto de uma tectônica associada à crosta profunda, com estas deformações sendo a resposta de descontinuidades profundas do embasamento cratônico sobre o qual a área se encontra instalada, sendo estas descontinuidades ativadas e re-ativadas em diferentes intervalos de tempo.

Tectônica rúptil extensional com idade indefinida se instala em algum momento pós-Mesoproterozóico com a formação de falhas de traçado NE-SW que cortam todas as unidades da área.

No período Terciário-Quaternário o Grupo Grão Pará é exposto à superfície e nos períodos mais recentes submetido a um regime climático úmido e quente, levando ao intenso intemperismo da seqüência vulcano-plutônica e ferrífera, com a formação das cangas lateríticas químicas a partir das máfica, acompanhando a formação de canga de minério a partir da lixiviação, fragmentação e re-trabalhamento superficial das formações ferríferas, que em suas porções ainda

não suficientemente alteradas permanecem como remanescentes de hematita laminada lateritizada.

Neste intervalo de tempo têm-se a formação em subsuperfície da hematita friável sobre os jaspilitos da Formação Carajás, acompanhando a evolução climática de do relevo.

## **6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

### **Discussão**

A Formação Carajás representa uma sedimentação química associada a fumarolas vulcânicas, condizente com os modelo genéticos de Krapez et al (2003), Lascelles (2007) e Bekker et al (2010), onde tais fumarolas em bacias arqueanas liberariam fluidos carregados em ferro que alimentariam o oceano como um reservatório geoquímico que posteriormente precipitaria por intermédio de processos químicos bio-induzidos ou não géis de composição sílico-ferrosa, que em situação diagenética sofreriam transformações para formar as descritas bandas de sílica e óxidos de ferro. Tal modelo prevê estruturações atectônicas e de compactação diferencial nestes materiais, como descrito.

Assim grande parte das feições observadas em testemunhos de sondagem podem representar estruturas deposicionais e diagenéticas, confirmando uma menor intensidade na deformação incidente sobre o pacote.

Portanto a análise das estruturas sedimentares dos jaspilitos e formações ferríferas de maior grau da PMC apontaria se as mesmas teriam origem na mesma bacia arqueana.

Com a não-observação de recristalização dos jaspilitos e sua mineralogia não apontando efeitos hidrotermais, ao menos para o N6, poderiam tais fácies hidrotermais serem representativos de alteração sindeposicional/diagenética dos protólitos de formações ferríferas, divergindo da proposta de Figueiredo & Silva (2008).

Um modelo de atividade hidrotermal incidente sobre o Gr Grão Pará poderia contemplar apenas as zonas de maior estruturação da província, sendo zonas de maior facilidade de acesso dos fluidos e concentração de calor, como nos depósitos N4 e N5, dispostos no interior dos splays tectônicos da Zona de Cisalhamento Carajás.

Em relação à Unidade Caninana não se pode afirmar que a mesma seja necessariamente diferente da Formação Gorotire em vista dos poucos dados levantados, porém o critério da justaposição ao Gr Grão Pará e sua idade fortalecem a hipótese de que um novo agrupamento estratigráfico, como proposto por Pereira (2009) seja necessário.

### **Conclusões**

O presente trabalho obteve êxito em seus objetivos, levando à compreensão da geologia de um terreno de pouca exposição por intermédio de técnicas diversificadas e modernas.

Baseado na geologia de campo, análise de sondagens e interpretação geofísica se pode tecer interpretações condizentes em relação à evolução da área. A metodologia geofísica

mostrou-se de grande auxílio para a interpretação estrutural da área, com os métodos de gravimetria 3D-FTG e magnetometria apresentando respostas precisas e podendo ser consideradas como método principal para geração de áreas-alvo para minério de ferro.

A geologia da área é dada por estratos do Grupo Grão Pará, de idade neoarqueana, dada por uma associação de metabásicas e jaspilitos, sendo as metabásicas portadoras de paragêneses de metamorfismo de fundo oceânico, estruturados por um evento progressivo de escala regional associado ao fechamento da Bacia Grão Pará e formação da Zona de Cisalhamento Carajás em suas adjacências, estruturando o pacote em um homoclinal sem foliação nas rochas, no Proterozóico a área passa por deformação rúptil com a justaposição do Grupo Grão Pará à Unidade Caninana e configurando uma inversão estratigráfica, com o Gr Grão Pará acima desta unidade. Eventos de natureza rúptil extensionais ocorrem posteriormente e com idade incerta.

Os jaspilitos apresentam evidências de deposição a partir de géis, com possível contribuição biótica, porém este fato carece de maiores estudos, assim como interpretações sobre a paleoplataforma deposicional das formações ferríferas, em primeira instância as assinaturas geoquímicas de ETR dos jaspilitos permitem afirmar que o quimismo das águas que depositaram as diferentes formações ferríferas são diferentes, permitindo inferir que poderiam ocorrer subembaciamentos, sistemas de fumarolas complexos entre outras possibilidades.

Em relação aos jaspilitos não foram encontradas evidências de transformações mineralógicas associáveis a hidrotermalismo, sendo descritas feições cabíveis à diagênese e alteração supérgena, como a formação de hematita placóide, formação de magnetita granular de diversas dimensões e sua martitização.

Buscando uma comparação com outros tipos de formações ferríferas se pode notar que a Formação Carajás apresenta alguma similaridade apenas com formações ferríferas do tipo Lago Superior, tanto por critérios mineralógicos, petrográficos quanto químicos, também as associações petrológicas como a ausência de rochas ultrabásicas, ausência de variação faciológica das formações ferríferas confirmam tal hipótese. A presença de patente deformação atectônica da seqüência aponta uma ambiência instável característica considerada para formações ferríferas tipo Algoma (Klein 2005).

Sobre as ocorrências de minério de ferro de alto teor (hematita friável) em várias perfurações realizadas o modelo genético concebido se trata unicamente de um enriquecimento supérgeno com lixiviação da sílica, alumínio, carbonatos e Mn inicial dos jaspilitos em uma situação climática dada por altos montantes de precipitação e um quimismo específico, aliado à circulação otimizada das águas meteóricas no lençol freático.

Estudos geoquímicos refinados sobre a cobertura detrítico-laterítica associada à Formação Parauapebas poderiam retornar maiores informações sobre a variação litológica dessa unidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Neves, B.B.B, Fuck, R.A. 1981. Brazilian Structural provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-29.
- Araújo, O.J.B. & Maia, R.G.N. 1991. Serra dos Carajás: Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250000. Texto Explicativo. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Brasília: DNPM/CPRM.164p.
- Bau. M. & Moller, P. 1993. Rare earth element systematics of the chemically precipitated component in Early Precambrian iron formations and the evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57:2239-2249.
- Beisiegel, V.R., Bernardelli, A.L., Drummond, N.F., R. F.F, A.W., and Tremaine, J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 1: 215–242.
- Bekker, A., Slack, J.F., Planavsky, N., Krapez, B., Hoffmann, A., Konhauser, K.O., Rouxel, O.J. 2010. Iron Formation: The sedimentary product of a complex interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic and biospheric processes. *Economic Geology*, 105:467-508.
- Braga, M.A., Carlos, D.U., Li, Y. & Nabighian, M. 2010. Exploração de minério de ferro utilizando dados de aerogravimetria gravimétrica 3D-FTG e aeromagnetometria no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28(3): 495-514.
- DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração). 1988. Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. Anexo aos Anais do 35 Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, 11-54.
- Figueiredo e Silva, R.C., Lobato, L.M., Rosière, C.A. 2005. Petrografia e geoquímica em jaspilitos e minérios hidrotermais de ferro dos depósitos da Serra Norte (N1, N4E, N4W e N5E), Província Mineral de Carajás, Pará. In: Simpósio Brasileiro de Metalogenia 1, Gramado. Resumos expandidos:SBG, CD-ROM, 4p.
- Figueiredo e Silva, R.C., Lobato, L.M., Rosiere, C.A., Hagemann, S., Zucchetti, M., Baars, F.J., Morais, R. & Andrade, I. 2008 A Hydrothermal Origin for the Jaspilite-Hosted, Giant Serra Norte Iron Ore Deposits in the Carajas Mineral Province, Para State, Brazil. In: Hagemann, S., Rosiere, C., Gutzmer, J. and Beukes, N. (Eds.), *Banded Iron Formation-Related High-Grade Iron Ore*, SEG Society of Economic Geologists, cap 4: 255-289.
- Grainger, C.J., Groves, D.I., Tallarico, F.H.B., Fletcher, I.R. 2008. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil. Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralization. *Ore Geology Reviews*, 33:451-489.
- Greene, T. & Slack, J.F. 2003. Bedded jaspers of the Ordovician Løkken ophiolite, Norway: seafloor deposition and diagenetic maturation of hydrothermal plume-derived silica-iron gels. *Mineralium Deposita*, 38:625-639.

- Gromet, L.P.; Dymek, R.F.; Haskin, L.A.; Korotev, R.L. 1984. The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48:2469-2482.
- Gross G.A. 1990. Geochemistry of Iron-Formation in Canada. In: J-J. Chauvel et al. (ed.) *Ancient Banded Iron Formations (Regional Presentations)*. Athens, Theophrastus Publications, 3-26.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1989. *Geografia do Brasil: Região Norte*. Rio de Janeiro: IBGE. V. 3.
- IBGE. 2004. *Mapa de vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Klein, C. 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry and origin. *American Mineralogist*, 90:1473-1499.
- Krapez, B., Barley, M.E. & Pickard, A.L. 2003. Hydrothermal and resedimented origins of the precursors sediments to banded iron formation: sedimentological evidence from Early Palaeoproterozoic Brockman Supersequence of Western Australia. *Sedimentology*, 50: 979-1011.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.
- LANDSAT Program. 2011. Visitado em Março de 2011 em <http://landsat.org/ortho/index.php>
- Lascelles, D.F. 2007. Black smokers and density currents: A uniformitarian model for the genesis of banded iron- formations. *Ore Geology Reviews*, 32(1-2):381-411.
- Lindenmayer, Z.G., Laux, J.H., Teixeira, J.B.G. 2001. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(1):21-28.
- Lobato, L.M. Figueiredo e Silva, R.C., Hagemann, S., Thorne, W., Zucchetti, M. 2008. Hypogene alteration associated with High-Grade Banded Iron Formation-Related Iron Ore. In: Hagemann, S., Rosiere, C., Gutmer, J. and Beukes, N. (Eds.), *Banded Iron Formation-Related High-Grade Iron Ore*, SEG Society of Economic Geologists, cap 4: 107-128.
- Macambira, J. B. & Schrank, A. 2002. Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). *Revista Brasileira de Geociências*, 32 (4): 567-578.
- McLennan S.M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary process. In: Ribbe P.R. (ed). *Geochemistry and Mineralogy of rare Earth Elements*. *Reviews in Mineralogy*, 21:169-196.
- Meireles, E. de M.; Hirata, W.K.; Amaral, A.F. do; Medeiros Filho, C.A. & Gato, W. da CA. 1984. Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, Estado do Para. In: *Anais do 31º Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, 5(2): 164-74.
- Meirelles, M. & Dardenne, M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás – Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 21 (1): 41-50.

- Morris, R.C., Thornber, M.R. and Ewers, W.E. 1980. Deep-seated iron ores from banded iron formation. *Nature*, 288: 250–252.
- Nogueira, A.C.R., Truckenbrodt, W. and Pinheiro, R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, série Ciências da Terra*, 7: 177-197.
- Norton, S.A. 1973. Laterite and bauxite formation. *Economic Geology*, 68: 353–361.
- Pereira, R.M.P. 2009. Geologia da região Sul da Serra Norte e características do minério de Ferro do Depósito N8, Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 143p.
- Pinheiro, R.V.L., Holdsworth, R.E. 1997a. The structure of the Carajás N-4 ironstone deposit and associated rocks: relationship to Archaean strike-slip tectonics and basement reactivation in the Amazon region, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3-4): 305-319.
- Pinheiro, R.V.L., Holdsworth, R.E. 1997b. Reactivation of Archean strike-slip fault systems, Amazon Region, Brazil. *Journal of the Geological Society*, 154: 99-103.
- Pinheiro, R.V.L.; Holdsworth, R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4): 597-606.
- Rosière, C.A. & Chemale Jr, F. 2000. Brazilian Iron Formations and their geological setting. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(2):274-278.
- Rosière C.A., Baars F.J., Seoane J.C.S., Lobato L.M., Lopes L., Souza S.R.C. 2005. Structure and iron mineralisation in the Carajás Province. In: *Proceedings Iron Ore 2005*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series, 8: 143-150.
- Sabins, F.F. 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14:157-183.
- Seoane, J C S, Rosière, C A, Baars, F J and Lobato, L M, 2004. Mapeamento litoestrutural 3-D do Grupo Grão Pará, Província Mineral de Carajás, PA. In: *Proceedings Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral (Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira – ADIMB: Brasília)*.
- Sun S-S. & McDonough W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. In: A. D. Saunders and M. J. Norry (editors). *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society. London. 313-345.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: V. Mantesso-Neto; A. Bartorelli; C.D.R. Carneiro; B.B. de Brito Neves. (Org.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*. São Paulo: BECA, 2004, 471-48.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Publishing, 312 p.
- Trendall, A.F., Basei, M.A.S., de Laeter, J.R., and Nelson, D.R. 1998. Ion microprobe zircon, U-Pb results from the Carajás area of the Amazon craton: *Journal South American Earth Sciences*, 11: 265–276.

Vazquez, M.L. & Rosa-Costa, L.T. (Organizadores). 2008. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG : texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. CPRMETABelém: 328p.

#### BIBLIOGRAFIA

Best, M.G. 2003. Igneous and Metamorphic Petrology. 2<sup>nd</sup> Edition. Blackwell Publishing Publishing. 717p.

Le Maitre, R.W.1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of igneous rocks. Blackwell, Oxford, 193 pp.

Pirajno, F. 2009. Hydrothermal processes and mineral systems. Springer-Geological Survey of Western Australia. 1250p.

Robb, L. Introduction to ore-forming processes. 2005. Blackwell Publishing. 383 p.

Rollinson, H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation and interpretation. Longman. 352p.

Vernon, R. H. & Clarke G.L. 2008. Principles of metamorphic petrology. Cambridge University Press. 435p.

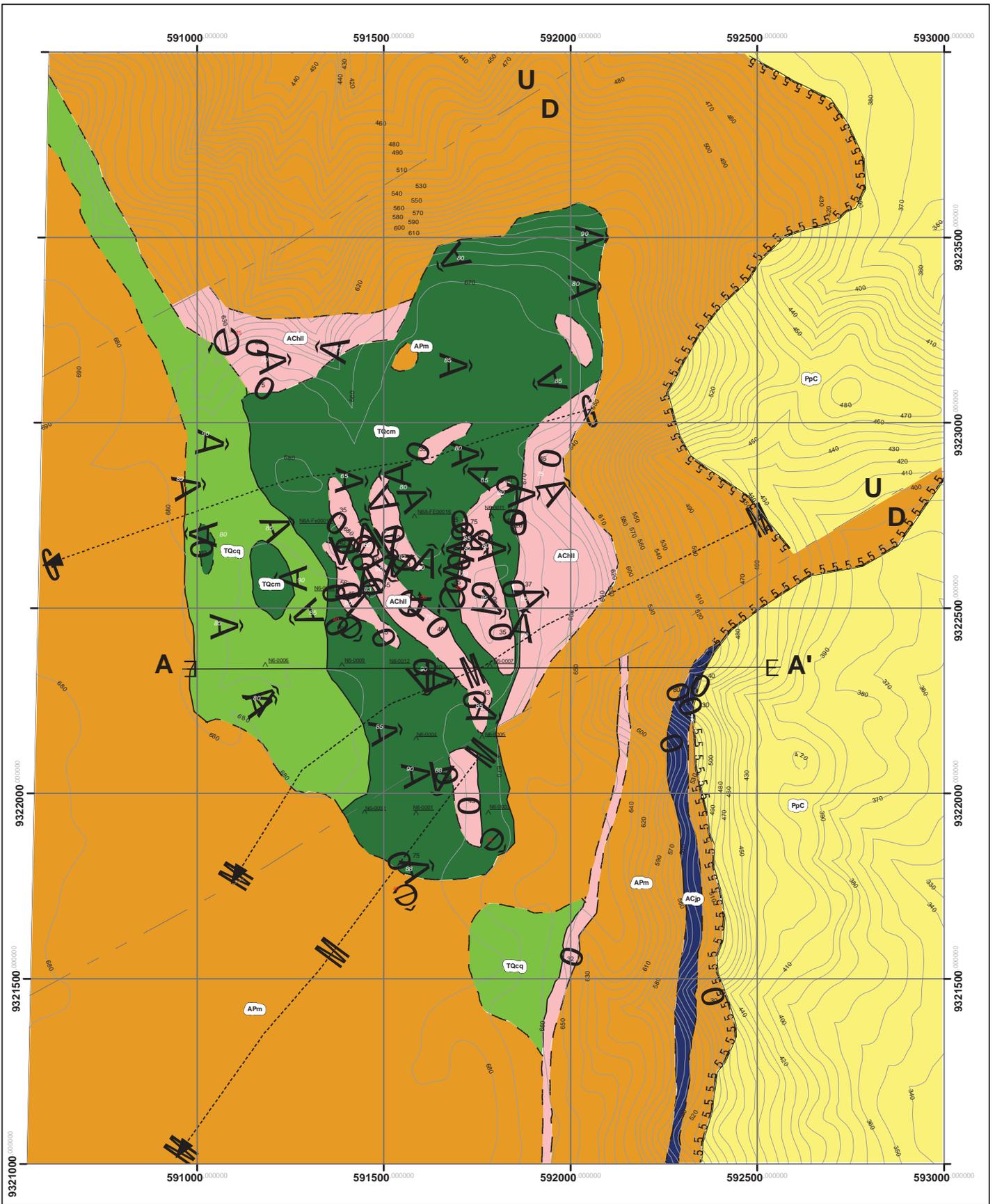
Wilson, M. 1989. Igneous Petrogenesis: a global tectonics approach. Springer. 457p.

Winkler, H.G.F. 1978. Petrogenesis de rocas metamórficas. H. Blume. 346p.

**ANEXOS**

**ANEXO A**

**MAPA  
GEOLÓGICO**



**Legenda**

**Convenções geológicas**

- Contatos geológicos**
- Mapeado
  - Inferido
- Estruturas**
- Antiformal inferido por geofísica. Fase tardi-Dn
  - Sinformal inferido por geofísica. Fase tardi-Dn
  - Falha reversa inferida Pós-Dn
  - Falha Inferida
  - Fraturas
  - Eixo de dobra Dn
  - Eixo de dobra tardi-Dn
- U=bloco alto  
u=bloco baixo  
Acamamento

**Unidades Geológicas**

Idade	Unidade	Litologias
Tércio-quaternário	Coberturas detrito-lateríticas	TQcm - Canga de Minério. Fragmentos de hematita lateritizada imersos em matriz goethítica.
Proterozóico	Unidade Caninana	TQcq - Canga Química. Capa laterítica goethítica não-estruturada.
Neo-arqueano	Grupo Carajás	PpC - Arenitos conglomeráticos e silíticos.
	Grupo Pará	Formação Parauapebas ACHil - Hematita laminada lateritizada. Formação ferrífera lateritizada. ACjp - Jaspelito.

**Convenções cartográficas**

- Drenagem
- Lago intermitente
- Curvas de nível (10m)
- Furos analisados
- Seção geológica A-A'

**unesp** Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Trabalho de Conclusão de Curso

Anexo A - Mapa Geológico

Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Autor: João Gabriel Motta

Escala: 1:10.000 Escala gráfica  
0 50 100 200 300 Metros

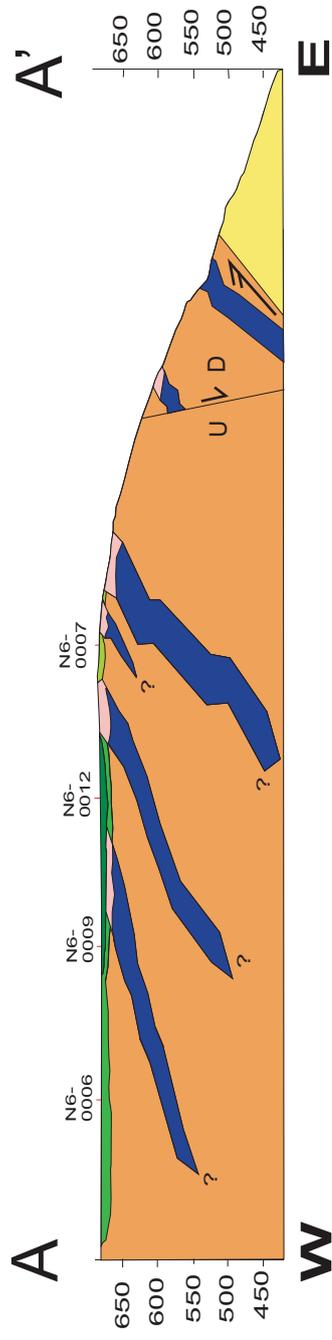
Projecção UTM/SAD 69 - Zona 22S

Apoio: VALE

Data: Novembro/2011

# ANEXO A - MAPA GEOLÓGICO DO PLATÔ N6 E SEÇÕES GEOLÓGICAS.

## Seções Geológicas



### LEGENDA

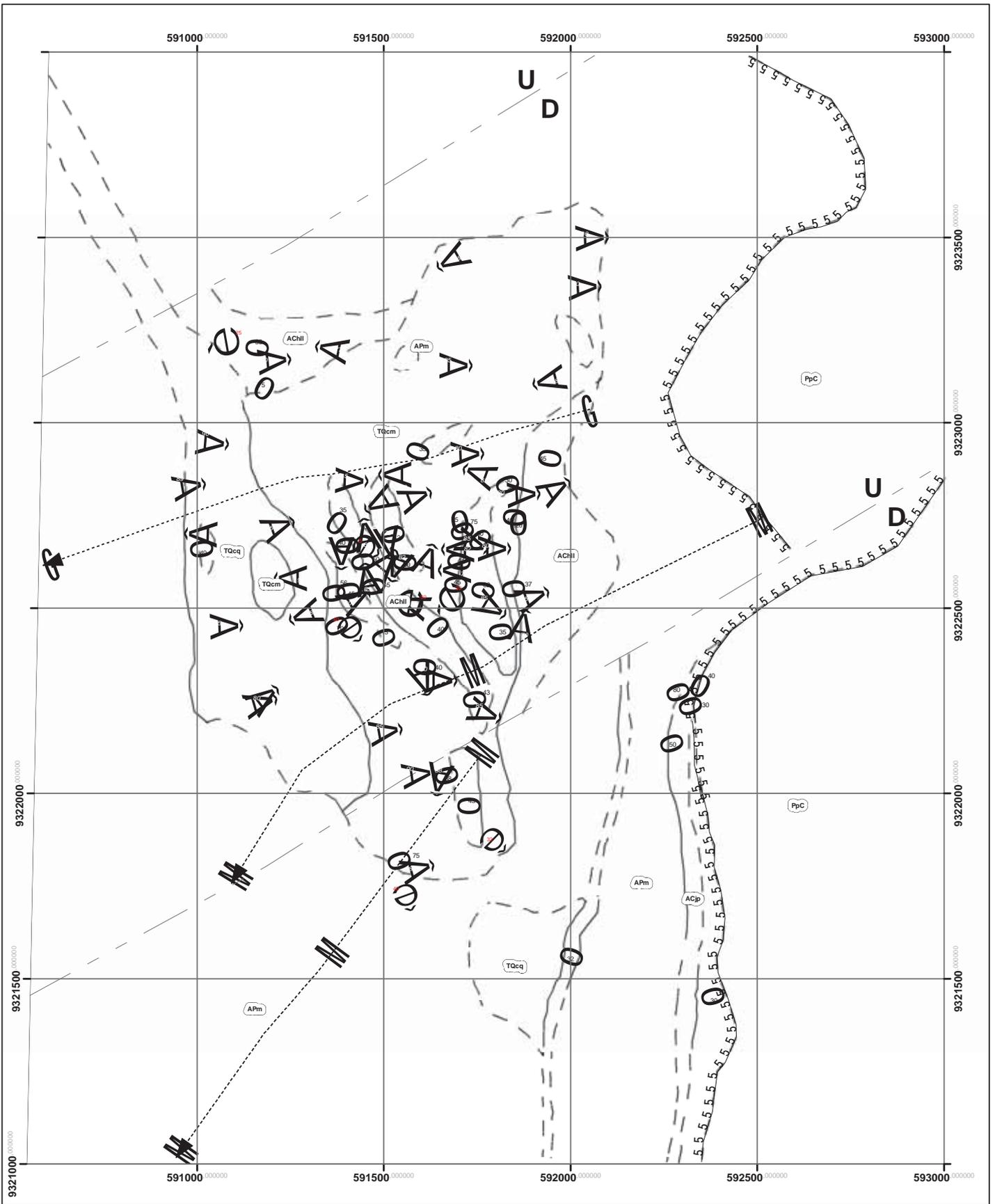
- Falha de gravidade
- U: Bloco alto
- D: Bloco baixo
- Falha reversa

Cobertura detrito laterítica	Carga de minério
Unidade Caninana	Carga química
Fm. Carajás	Arenitos conglomeráticos
Fm. Parauapebas	Hematita laminada lateritizada
	Jaspello
	Meta-basalto

	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Trabalho de Conclusão de Curso	
Anexo A - Seção geológica	
Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)	
Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho	
Autor: João Gabriel Morita	
Escalas horizontal e vertical = 1:10.000	 Apoio: VALE
Data: Novembro/2011	

**ANEXO B**

**MAPA  
ESTRUTURAL**



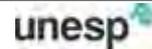
### Legenda

#### Convenções geológicas

- Contatos geológicos**
- Mapeado
  - Inferido
- Estruturas**
- Antiformal inferido por geofísica. Fase tardi-Dn
  - Sinformal inferido por geofísica. Fase tardi-Dn
  - Falha reversa inferida Pós-Dn
  - Falha Inferida
  - Frituras
  - Eixo de dobra Dn
  - Eixo de dobra tardi-Dn
  - U=bloco alto bloco baixo
  - Acamamento

#### Unidades Geológicas

Idade	Unidade	Litologias
Terciário-quaternário	Coberturas detrito-lateríticas	TOcm - Canga de Minério. Fragmentos de hematita lateritizada imersos em matriz goeítica. TOcq - Canga Química. Capa laterítica goeítica não-estruturada.
Proterozóico	Unidade Caninana	PpC - Arenitos conglomeráticos e siltitos.
Neo-arqueano	Grupo Grão Pará	Formação Carajás Formação ferrifera laterizada. ACip - Jaspelito.
	Formação Parauapebas	APm - Meta-basaltos. Associação de m- máficas com basaltos, diabásicos, doleritos e gabros.



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Trabalho de Conclusão de Curso

Anexo B - Mapa Estrutural

Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Autor: João Gabriel Motta

Escala: 1:10.000



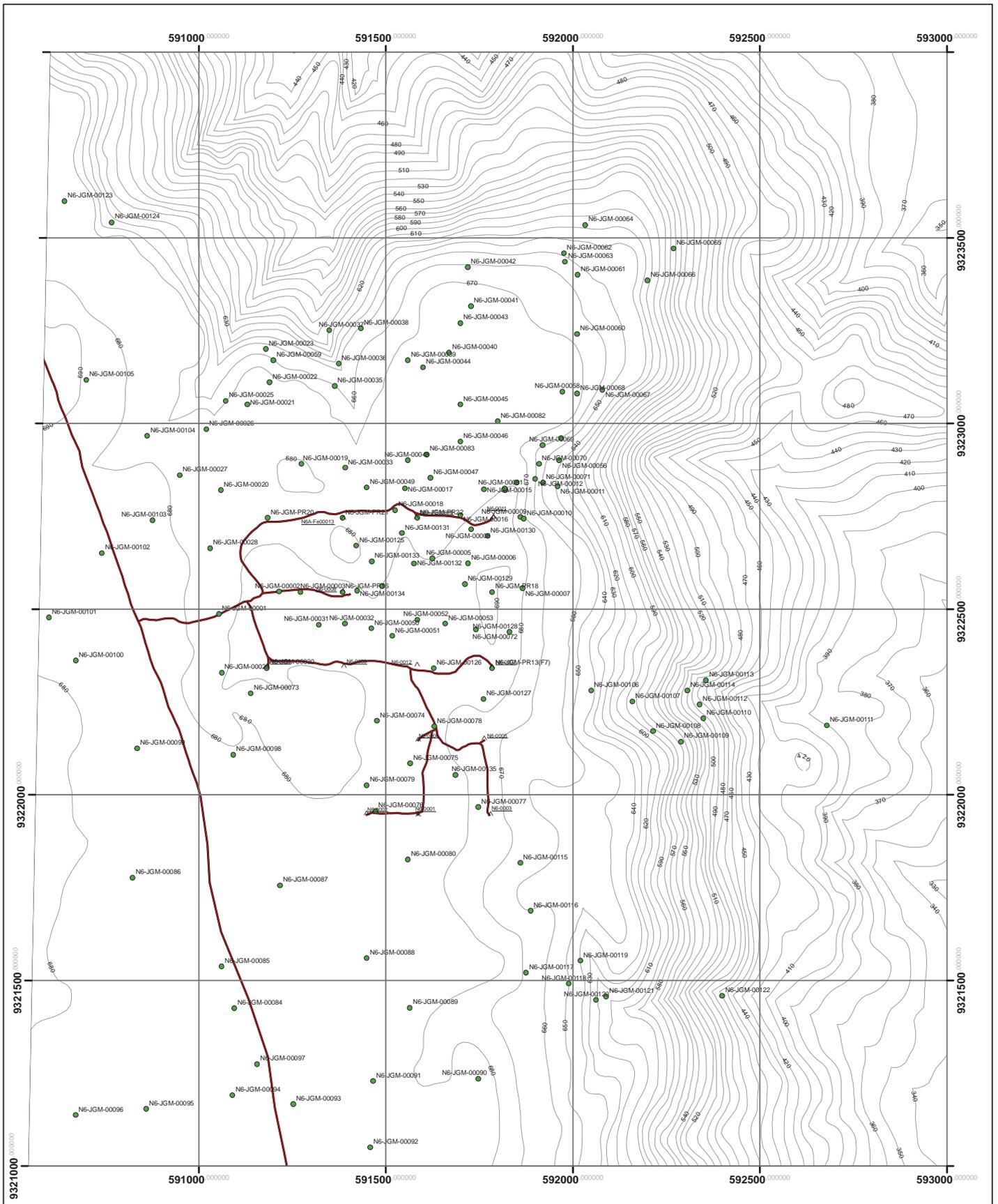
Projeção UTM/SAD 69 - Zona 22S

Apoio: VALE

Data: Novembro/2011

**ANEXO C**

**MAPA DE  
PONTOS**



### Legenda

- Pontos em campo
- João Motta
- Ago/Set-2011
- ^ Furos analisados
- Curvas de nível (10 m)
- Acessos
- Drenagem
- ▒ Lago intermitente
- Área de mapeamento N6



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Trabalho de Conclusão de Curso

Anexo C - Mapa de Pontos

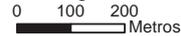
Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Autor: João Gabriel Motta

Escala: 1:10.000

Escala gráfica



Projeção UTM/SAD 69 - Zona 22S

Apoio:

Data: Setembro/2011

# APÊNDICES

APÊNDICE A

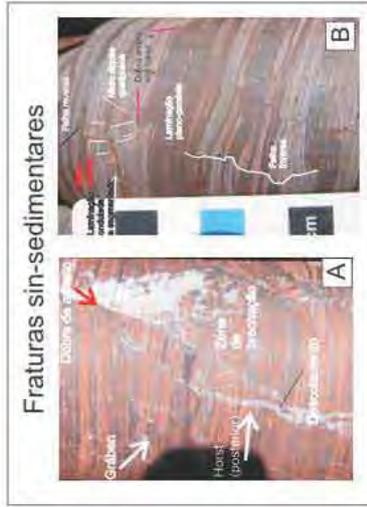
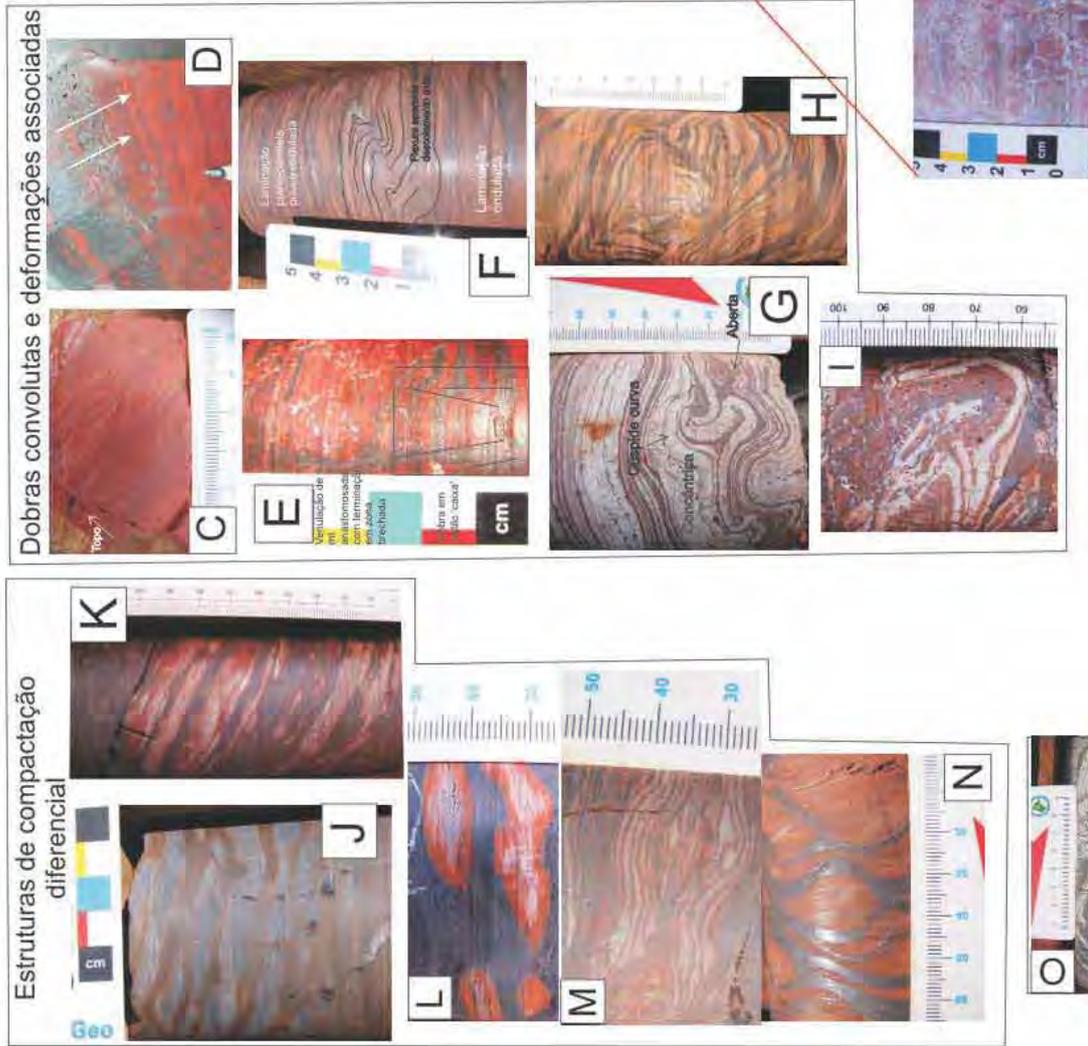
PRANCHA  
DE ESTRUTURAS  
ATECTÔNICAS

# APÊNDICE A - PRANCHA DE ESTRUTURAS ATECTÔNICAS

## LEGENDA

Topo do furo para o topo das figuras.

- A) Fraturas reversas e normais próximas. Furo N6-0008-maior que 73,0m.
- B) Fraturas reversas e normais associadas a dobras.
- C) Laminiação de jaspelo perturbada formando cavalgamento.
- D) Dobras convolutas milimétricas com charneiras afuniladas.
- E) Dobram em 'caixa' com a presença de venulação de magnetita paralela a flanco da dobra e terminada em zona brechada.
- F) Furo N6-0009- 72,85 a 74,0m.
- G) Dobra fechada com descolamento axial. Furo N6-0011-84,05 a 84,18m.
- H) Dobras em cúspide e concêntrica adjacentes. Furo N6-0001 - 201,30 a 201,35m.
- I) Dobra em 'caixa' com descolamento e brechação interna à charneira.
- J) Furo N6-0011-109,89 a 110,01m.
- K) Dobra com flanco rompido e brechação. Furo N6-0008-79,95 a 80,01m.
- L) Pseudo-boudin apresentando ainda interligações de magnetita e hematita em meio jaspelo. Furo N6-0011-115,55 a 115,80m.
- M) Ondulação e segmentação de lâminas de jaspelo em meio a jaspelito fácies Fe-óxido. Furo N6-0002-71,4m.
- N) 'Boudins' de jaspelo e chert ondulados e fraturados mostrando ondulações nos interstícios. Furo N6-0008-113,15 a 113,18m.
- O) Laminiação de chert, jaspelito e bandas de hematita ondulados em torno de porção ovóide de mesma composição. Furo N6-0002-71,80 a 71,83m.
- P) 'Boudins' de jaspelito com formato amendoado ou birds eyes circundados por massa de magnetita. Furo N6-0002-56,10 a 56,25m.
- Q) Zona brechada com a preservação de porções ainda interligadas formando ondulações em caixa, apertadas e sempre convolutas. Lâminas de chert em meio a massa de magnetita. Furo N6-0001-218,35 a 218,50m.
- R) Sucessão de estruturas atectônicas. Intervalo N6-0004-95,85 a 96,25m onde se observa sucessão de jaspelitos com fraturamento sin-sedimentar normal, dobramento convoluto com fraturas axiais, fratura reversa com brechação em sua porção superior. Detalhe da zona brechada com a perda da estruturação pretérita.



Fraturas sin-sedimentares



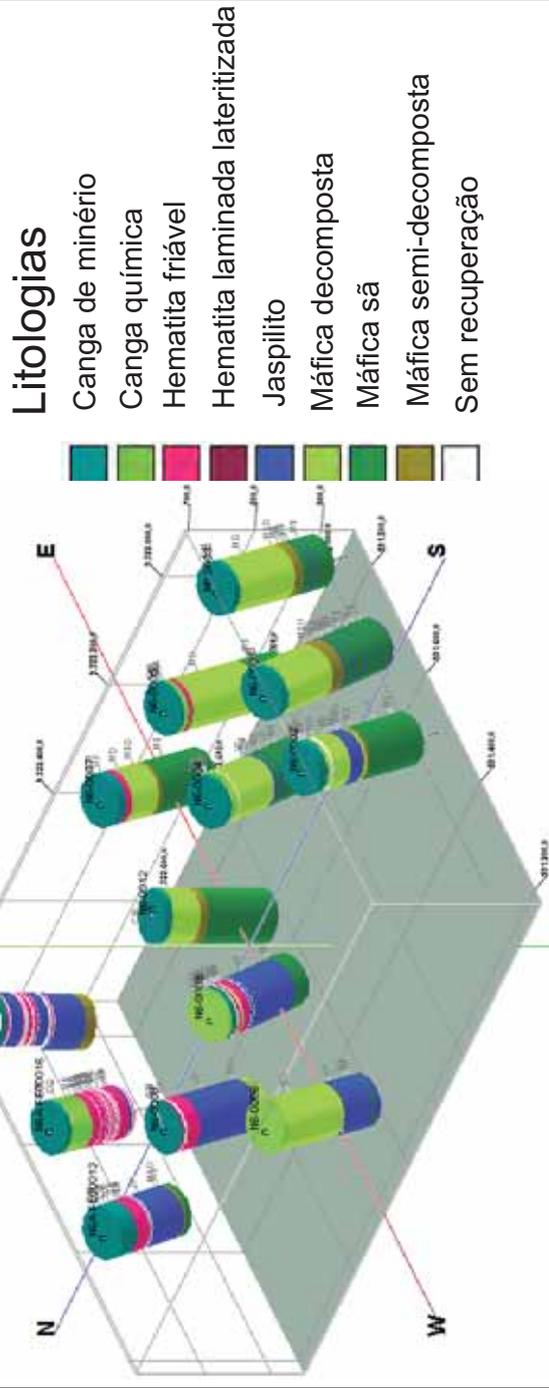
<b>unesp</b>	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Trabalho de Conclusão de Curso	
Apêndice A - Prancha de estruturas atectônicas	
Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)	
Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho	
Autor: João Gabriel Motta	
Apoio:	
	Data: Novembro/2011

# APÊNDICE B

## MODELO 3-D DAS SONDAGENS ANALISADAS

# APÊNDICE B - PERFIS DAS SONDAGENS ANALISADAS NO PLATÔ N6

## PERFIS LITOLÓGICOS



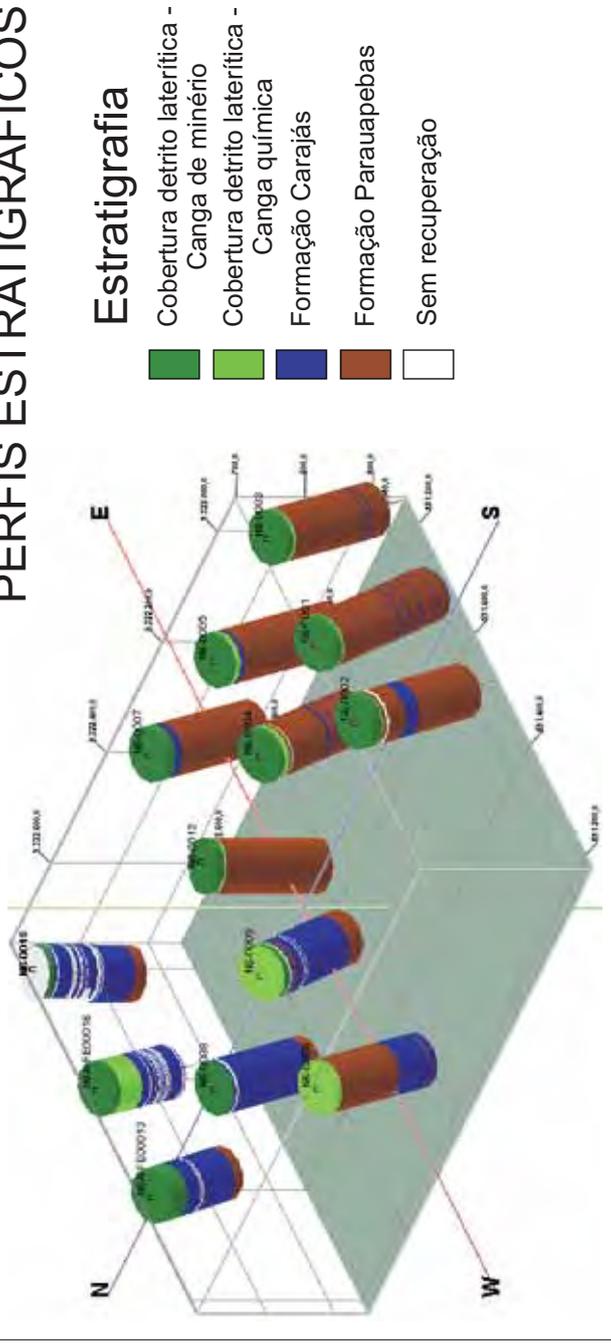
### Observações:

Espessura irregular da Formação Carajás ao longo das perfurações, é atribuída a dobramentos de diferentes fases e possivelmente a diferentes intervalos da seqüência. Notar espessura dos bancos de hematita friável com espessuras maiores na porção NE do platô, associado a um grande espessamento das camadas de jaspilitos. Hematita friável alcança profundidades maiores que 70m. Possivelmente as litologias das porções S são de um horizonte diferente daqueles da porção N-NE, interpretado como devido à presença de fraturamento NE-SW que justapôs diferentes horizontes das formações.

### Notas:

Furos direcionais N90/60-80°. Os termos máfica decomposta, máfica sã e máfica semi-decomposta são descritivos e relacionam aos diferentes tipos de meta-máficas pertinentes à Fm Parauapebas Intervalos onde não foram recuperados os testemunhos estão marcados como "sem recuperação". Banco de dados de sondagens com resultados disponíveis até o mês de Outubro de 2011. Perfis produzidos no software Rockworks versão 15 (Rockware Inc.©).

## PERFIS ESTRATIGRÁFICOS



<b>unesp</b>	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Instituto de Geologia de Araraquã	
Apêndice B - Perfis das sondagens analisadas no platô N6	
Geologia do Platô N6 - Província Mineral de Carajás (PA)	
Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho	
Autor: João Gabriel Motta	
	Agênio: VALE
	Data: Novembro/2011

APÊNDICE C

DESCRIÇÕES  
PETROGRÁFICAS

## AMOSTRA N6-0001- 121,85 a 121,90m

### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha de granulação muito fina, inferior a 0,3mm, onde ocorrem bandas silicosas com poeiras muito finas de hematita interlaminaadas com bandas descontínuas, onduladas e de espessuras variáveis de hematita bem cristalizada de granulação maior que 0,2mm, que delineiam um bandamento bem definido, com a formação de lâminas de jaspe de até 2,0mm, em geral inferiores a essas dimensões, sendo as bandas de hematita submilimétricas e alternam-se os dois tipos

### B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe (silicato + poeira de hematita) 85                      Magnetita traços

Hematita 15    Zircão traços

Apatita traços

### C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

As bandas de jaspe são maciças ou com laminação mal-definida, formadas por um arcabouço de material silicático muito fino, maciço, pontuado homogeneamente por microcristais (poeira) de hematita em grãos de formas variadas, como em circunferências concêntricas, grãos tabulares com crescimento concêntrico, estes grânulos são todos inferiores a 1,0micra, encontram-se dispersos pela matriz, não apresentam tropia. Alguns desses grãos apresentam-se ao redor de cristais de hematita bem cristalizados, granulares, aparentemente tendo nucleado os mesmos.

Agregados de hematita microcristalina ocorrem também de forma subparalela aos leitos de hematita bem cristalizada, sendo compostos por grãos de variadas dimensões e contém em seu interior também cristais de hematita bem cristalizados.

Ocorrem domínios de jaspe onde a poeira de hematita encontra-se ao longo de laminaas bem definidas, contínuas, extensas e de granulação homogênea, com porções de hematita granular oblíqua e também leitos de hematita bem cristalizada oblíqua também, sendo estas duas possivelmente diagenéticas. Estas porções bem laminadas apresentam um arranjo denso da poeira de hematita.

O silicato componente do jaspe pode ser considerado como um chert/calcedônia que localmente ganha cristalinidade começando a assumir contornos definidos lobulados, com a preservação das trilhas de hematita fina, tornando-se quartzo, não havendo relação precisa de estruturas responsáveis ou perda das feições dos cristais de poeira de hematita, não podendo ser relacionada essa transformação a um processo tectono-metamórfico/hidrotermal.

Hematita bem cristalizada ocorre como grãos muito finos que se arranjam em agrupamentos ao longo de bandas descontínuas mal-definidas que apresentam geometria tanto paralela quanto oblíqua ao bandamento do jaspe, apresentam contornos ondulados muitas vezes em contato com essas bandas dando a impressão de configurarem estilólitos. As porções de geometria oblíqua podem ser consideradas como remobilizados diagenéticos, em vista da sua cristalinidade não ser tão bem definida e não apresentar reação direta com os cristais de hematita finos/poeira no interior dos jaspes e nem relação com quartzo.

Os mesmos cristais de hematita bem cristalizados delineiam porções onde o jaspe foi segmentado formado pods longos devidos a compactação diferencial.

Zircão ocorre como cristais de alto relevo e reflectância baixa, não zonados, prismáticos, dispersos pela lâmina, não apresenta relação com alguma banda específica, assim como a apatita

Magnetita ocorre como cristais eudrais raros na lâmina, subquadráticos, martitizados e com a formação de goethita em suas extremidades e também ocorre raramente nas porções descontínuas de hematita bem cristalizada.

- D) **Interpretação:** sedimento químico com possível contribuição biótica para a formação de hematite dust arredondado, precipitado de modo alternado ou com a formação de bandamento em situação de diferenciação diagenética por densidade, com a formação de laminas de hematita com ocasional magnetita oblíqua a esse bandamento possivelmente em situação tardi-diagenética. A sedimentação do material proto-jaspilito se dá em condições de decantação lenta ou por pulsos, sendo que ocorrem tanto jaspes maciços como laminados, podendo ser os maciços o resultado de modificações posteriores à deposição, com a homogeneização do material. A presença de ocasionais cristais de hematita bem cristalizada junto à poeira de hematita, sempre finos e por vezes sendo nucleadores dos mesmos indica que poderia haver suspensão na coluna d'água de cristais previamente formados no sistema.
- E) **Classificação:** jaspilito maciço e microbandado.

#### **AMOSTRA N6-0001- 140,08 a 140,15m**

##### Descrição Microscópica:

- A) **Estrutura/Textura:** rocha com estrutura bandada dada por alternância entre leitões de jaspe e óxidos de ferro, com variadas espessuras desde laminas submilimétricas até bandas milimétricas de jaspe maciço a internamente bandado, apresenta porções com a formação de pods de jaspe em meio a bandas de óxido de Fe, possivelmente devido à compactação diferencial. As bandas milimétricas são em geral onduladas, apresentam espessuras variadas e ausência de tropia em seu interior. Ocorrem fraturas sin-sedimentares com preenchimento da capa por jaspe.

##### **B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 50

Hematita 20

Magnetita 30

Carbonato traços

##### **C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe é dado por bandas com laminação interna mal-definida, compostos por chert em dimensões muito variadas com a perturbação das laminações, estas que em geral são planas e contínuas, formando ondulações de comprimento de onda longo e amplitude baixa. Apresenta pontuações de hematita microcristalina, dispersa em seu interior de modo homogêneo e não organizado, tais cristais não variam suas dimensões ao longo da lâmina, em geral encontram-se isolados e localmente encontram-se em agregados policristalinos de até 0,25mm, com formatos quadráticos a amebóides. Tais cristais de hematita estão ausentes nas bandas de hematita cristalizada. Em geral as bandas de jaspe apresentam um fraturamento ortogonal à laminação. O silicato correspondente a essas bandas de jaspe trata-se de chert/calcedônia que localmente apresentam-se transformados em quartzo muito fino.

No interior das bandas de jaspe ocorrem raramente cristais de plagioclásio ripiformes de contornos retos e interiores intensamente fraturados, longos de até 0,5mm, possivelmente tratam-se de cristais fragmentados em erupções e decantados.

Os cristais de hematita microcristalina tem contornos globulares, quadráticos a tabulares, sendo muito finos sempre, chegam a formar agregados, o que é comum, onde não há orientação entre os mesmos e nem padrão na sua distribuição morfológica.

As bandas de jaspe também exibem em seu interior ocasionais cristais de hematita bem cristalizada, estes sempre granulares e dificilmente formando agregados.

Os contatos entre as bandas de jaspe e de óxidos de ferro são em geral bruscos, havendo porções transicionais com a redução do jaspe em detrimento dos óxidos.

Hematita ocorre como cristais tabulares, quadráticos pseudomorfizando magnetita quadrática (martitização), rendendo cristais de até 0,7mm, com porosidade interna e ausência de inclusões, exceto pela preservação de magnetita em seu interior onde a substituição não foi completa. Estas bandas de hematita-magnetita são contínuas, apresentam-se freqüentemente fragmentadas em conjunto com as bandas de jaspe de modo sinsedimentar, são em geral menos onduladas que as bandas de jaspe, apresentam muitas vezes pods de jaspilite em seu interior, estes ondulados de modo amplo e fraturados, sem a formação de minerais no plano de falha.

Carbonatos ocorrem como pequenos grãos associados às bandas de hematita-magnetita, compõem-se possivelmente de algum Fe-Mn carbonato, não formam veios, sendo possivelmente uma fase diagenética.

- D) **Interpretação:** jaspilite formado pela diagênese e compactação de sedimento químico ferro-silicoso, onde se observam evidências de compactação diferencial entre as bandas de jaspe e óxidos, estas possivelmente formadas a partir de dissolução e precipitação de diferentes fases quando da diagênese, provavelmente associada ao teor de fluídos inicialmente contidos na rocha, que possibilitou a migração e forçou compactação diferencial. Não existem evidências de remobilização de temperaturas mais altas, sendo as bandas de hematita-magnetita, esta última martitizada, um produto de uma precipitação química inicial diferenciada ou tamponamento de material por soterramento e preservação da magnetita. A martitização da magnetita provavelmente se deu em situação recente, associada à percolação de águas pelo perfil de alteração.
- E) **Classificação:** jaspilite fácies óxido bandado.

### AMOSTRA N6-0001 - 163, 12 a 163, 18m

#### Descrição Microscópica:

- A) Estrutura/Textura:** rocha de aspecto maciço, com laminação/bandamento mal definido, onde uma massa carbonática é intersticial a leitos disruptos de hematita que se alterna com jaspe. Estes leitos apresentam espessuras variáveis, dimensões de até 3,0mm e são maciços
- B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Carbonato 20

Magnetita 20

Jaspe 38

Hematita 2

### C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:

Carbonato ocorre como grãos anedrais de até 1,0mm disposto no interstícios de um arcabouço dado por lamina de jaspe e magnetita com arranjos descontínuos e em geral ondulados. A composição desse carbonato é ferrosa, por conta da sua baixa reatividade com HCl em teste de mão. Estes cristais não apresentam feições de deformação, como clivagens deslocadas, deformações. Possivelmente formado a partir de fluidos basinais que descomprimiram e deformaram a rocha

Jaspe é maciço, de granulação muito fina e apresenta diferentes quantidades de óxido-hidróxidos de ferro em seu interior, sendo estes dados por poeiras de hematita e goethita além de microesférulas de sílica com interiores dados por hematita granular.

Magnetita ocorre como cristais anedrais granulares em bandas monominerálicas associadas ao jaspe e também como ocasionais cristais no interior da massa de carbonato intersticial. Apresenta-se localmente martitzada.

Hematita ocorre como cristais anedrais granulares dispersos tanto pela matriz carbonática como pelas bandas de jaspe, sempre inferiores a 0,01mm.

**D) Interpretação:** jaspilito deformado atectonicamente por alívio de fluido carbonático basinal levando à formação de brechação e precipitação de carbonato.

**E) Classificação:** jaspilito brechado

### AMOSTRA N6- 0001- 169, 18 a 169,25m

#### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** Rocha homogênea inequigranular serial onde os cristais apresentam uma série de granulação muito variável com termos de 0,2mm até 2,0mm, não sendo localizados e nem apresentando zoneamento da granulação. Os cristais de plagioclásio têm discreta orientação de cristais de plagioclásio ripiformes a prismáticos em arranjo anastomosado a ondulado, sendo os cristais dispersos na matriz de clorita, formando uma textura ofítica. Por vezes os cristais de plagioclásio apresentam-se radiados em torno de um ponto central. A rocha apresenta tropia dos cristais de plagioclásio lembrando estruturação em fluxo.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Plagioclásio (adularia) 43%	Feldspato potássico 1
Clorita 41%	Apatita traços
Opacos 6%	Goethita traços
Titanita 5	Leucoxênio traços
Carbonato 2	

### C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:

Clorita forma o arcabouço da rocha, sustentando os cristais de plagioclásio, apresentando-se apenas nos interstícios entre os mesmos, formando pseudo-agregados de variadas dimensões e formas, por vezes subarredondados, sub-

prismáticos ou alongados, sua granulação é muito variável, onde os cristais maiores em geral são únicos, prevalecendo nas porções de dimensões menores os cristais mais finos. Esse mineral formou-se a partir de piroxênios, como evidenciado por sua natureza intersticial, presença de goethita e leucóxênio associado à clorita, comprovando sua substituição durante processo metamórfico.

Plagioclásio dá-se como cristais ripiformes a quadráticos de até 2,0mm, muito variável, em geral fragmentados perpendicularmente à maior extensão, formam uma discreta tropia linear ondulada previamente descrita. Apresentam-se ao longo da lâmina como um todo sempre associado à clorita, seus bordos apresentam localizada saussuritização, especialmente ao longo do traço das geminações polissintéticas. Sua composição é considerada como adularia.

Feldspato potássico ocorre como ocasionais prismas dispersos pela matriz da rocha, sem geminação, sericitizados nas suas bordas e com formação de adularia sobre si.

Titanita ocorre como grãos anédricos subprismáticos a globulares, de até 0,4mm, dispersos pela rocha de forma aleatória com a formação de pequenos agregados policristalinos em formas de cachos de uva.

Apatita ocorre como prismas mal-definidos e grãos de até 0,3mm, dispersos pela rocha, situados na matriz intersticial.

Magnetita ocorre como grãos anedrais de formas subquadráticas a levemente arredondados, de até 0,25mm, dispostos nos interstícios entre os cristais de plagioclásio, associados aos piroxênios, dispersos pela rocha de modo homogêneo. Ocorre localmente associada a cromita muito fina. Parte desses cristais apresentam-se martitizados com a formação de tábulas de hematita muito discretas.

Pirita ocorre como cristais anedrais de até 0,15mm, angulosos, dispostos ao longo da rocha de modo homogêneo, sendo sua granulação pouco variável.

Carbonato ocorre como discretas pontuações sobre plagioclásio

- D) **Interpretação:** magma básico diferenciado com a formação de plagioclásio em meio a cumulados de piroxênio, com a formação de estruturação planar por fluxo, incluindo a cristalização de magnetita associada e posteriormente submetida a metamorfismo com a adição de água e transformação dos piroxênios em clorita e plagioclásio em adularia de modo penetrativo e homogêneo. Associação de pirita a esta fase.
- E) **Classificação:** meta-diabásio/basalto.

#### **AMOSTRA N6-0002- 56,20 a 56,25m**

##### Descrição Microscópica:

- A) **Estrutura/Textura:** rocha bandada, dada por alternância entre leitos de até 1,5mm de jaspe e de óxidos de ferro, estes com até 4,0mm, sendo os leitos de jaspe e óxidos de ferro finamente laminados ou maciços, quando laminados ambos o são de modo ondulado, desconexos, com aparência de estilólitos. Os contatos entre estes leitos são ondulados também, bruscos, localmente com a sobre de leitos de óxidos de ferro isolados em meio ao jaspe. Este bandamento apresenta-se perturbado levando a formação de pods de forma amendoada, centimétricos compostos por jaspe isolados em meio às bandas de óxido de ferro, feição considerada aqui como de compactação diferencial. Ocorrem

venulações retas a pouco onduladas com a formação de calcedônia, quartzo e adularia muito fina.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 63

Calcedônia 7

Hematita 30

**C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como bandas anteriormente descritas e em pods, é dado por grãos de até 1,0micra subarredondados, que representam o arcabouço dessas bandas, não se entretocam sempre restando uma matriz de calcedônia limpa entre os mesmos. Estes grãos de sílica microcristalina (chert ou calcedônia) apresentam em seu interior microcristais de goethita e hematita tornando-os avermelhados. Ocorrem raramente microesferóides de sílica-óxido de ferro com preenchimento radial, sendo sempre alongados paralelamente ao bandamento. Estes cristais de sílica-óxi-hidróxido de ferro revelam um discreto aleitamento mal-definido e descontínuo no interior das bandas de jaspe. As bandas de jaspe apresentam pontuações de hematita bem cristalizada granular e inferior a 0,2mm em seu interior, desconectas e dispersas.

Calcedônia ocorre como uma matriz nas bandas de jaspe, sendo muito fina, sem texturas, apenas perfaz os vãos entre os cristais de sílica com óxido-hidróxidos de ferro, apresenta-se também em venulações oblíquas ao bandamento e tardias ao desenvolvimento das bandas de óxidos de ferro, ocorrendo com um hábito fibroso em arranjos subparalelos e oblíquos às paredes da venulação, sendo estas venulações localmente portadoras de quartzo bem cristalizado, sendo possivelmente esta feição a representante de uma graduação de temperatura.

Também há calcedônia fibrosa no interior das bandas de óxido de ferro, formando corpos arredondados de até 0,5m, que apresentam em seu interior microesférulas de sílica-oxidohidroxidos de ferro.

Hematita ocorre como pontuações micrométricas no interior das bandas de jaspe, sempre anedrais granulares, dispersos, não conectados, por vezes formando pequenos agregados entre si de cristais de dimensões inferiores.

Também compõe bandas monominerálicas de até 4,0mm de espessura, de espessuras variáveis, onduladas e dobradas em charneiras abertas, sem a formação de foliação nem mesmo no jaspe adjacente. Estas bandas são compostas por hematita de variadas dimensões, sendo cristais anedrais granulares muito finos, com a preservação de laminação mal-definida, ondulada, plana e em geral disconexa, sendo um possível crescimento mimético. Estas bandas apresentam heterogeneidade quanto às dimensões dos cristais de hematita, sendo alguns locais aparentes pseudomorfos de magnetita em vista da presença de formas quadráticas mal-definidas dos cristais.

D) **Interpretação:** sedimento químico silico-ferroso sob a forma de gel de composição dada por óxido-hidroxidos de Fe, água e sílica, que com sua maturação e transformação diagenética proporciona a transformação de porções do mesmo material em hematita granular fina, mimética em relação a bandas pré-existentes com uma possível passagem intermediária não ampla para magnetita, tal afirmação é verificada pela presença de aglomerados pseudo-quadráticos de hematita no interior do jaspe e nas bandas de hematita, sendo a hematita presente na banda de jaspe e de textura similar à das bandas de hematita pode-se considerar que hematita tenha se cristalizado a partir de materiais provenientes das bandas de jaspe e concentradas em bandas monominerálicas nucleadas por compressão diferencial na pilha sedimentar, como evidenciado pelo isolamento de bandas de jaspe no interior das bandas de hematita. Metamorfismo ausente. Calcedônia perfaz a matriz das bandas de jaspe indicando que os poros se fecharam posteriormente à formação das bandas de óxido de Fe.

E) **Classificação:** jaspilito fácies óxido

### AMOSTRA N6-0002- 71,92 a 71,97

#### Descrição Microscópica:

**A) Estrutura/Textura:** rocha formada por bandas de hematita intercalada com bandas de jaspe com alta densidade de goethita/hematita granular. Tais bandas são contínuas em geral, porém apresentam também freqüentemente segmentação e desvios com a formação de bandas isoladas de jaspe em meio às bandas de magnetita martitizada. As bandas de jaspe apresentam uma laminação interna plano-paralela mal-definida.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 47

Hematita 36

Magnetita 5

Calcedônia 2

Apatita traços

**C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como bandas de espessura pouco variável entre 0,2 e 0,5mm, sendo estas espessuras constantes nas bandas, suas extensões variam formando lamina segmentadas incluindo a formação de pods de jaspe em meio às bandas de magnetita. Este jaspe apresenta alta quantidade de inclusões de goethita/hematita, tornando-o incapaz de transmitir a luz, sendo estes cristais granulares e inferiores a 0,1mm, também com contornos tabulares, não formando agregados. O arcabouço de jaspe é formado por cristais granulares a subarredondados de calcedônia.

Magnetita ocorre isoladamente como núcleos e porções isoladas no interior de pseudomorfos atuais de hematita, sendo que frequentemente os contornos eudrais quadráticos da magnetita estão preservados.

Hematita ocorre como tábulas mais ou menos extensas, pseudomorfos sobre magnetita, cristais granulares no interior das bandas de jaspe e também como bandas puras intercaladas ao jaspe. Sua granulação é amplamente variável desde cristais de 10micras até 3,0mm.

Apatita ocorre associada a bandas de jaspe como também a pequenas venulações de calcedônia policristalina, sempre em cristais granulares de até 0,5mm.

**D) Interpretação:** sedimento sílico-ferruginoso que em condições diagenéticas se ‘diferenciou’ com a formação de bandas de magnetita e jaspe inicialmente, com uma evolução para condições mais oxidativas e formação de bandas intercaladas de hematita com a martitização da magnetita pré-existente, levando à consolidação de um jaspilito. A compactação diferencial leva à formação de pods de jaspe no interior das bandas de óxidos de ferro, com a formação de laminação disrupta.

**E) Classificação:** jaspilito fácies óxido

## AMOSTRA N6-0002- 125m

### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha equigranular homogênea fina a muito fina, com cristais de até 1,0mm, predominando os inferiores a 0,25mm, com localizados cristais de plagioclásio de até 1,0mm, presença de estruturas arredondadas compostas por agregados de minerais diversos (vesículas). Rocha maciça, isotrópica, localmente com venulações quartzosas e carbonáticas retilíneas a onduladas, apresenta textura subofítica e em feltro, com os cristais de plagioclásio arranjados de forma similar a um tecido.

B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Clorita 32	Quartzo 3
Plagioclásio 56	Apatita 1
Calcedônia 4	Carbonato traços
Opacos 4	

C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Clorita ocorre como agregados polimineriais de até 1,0mm e minerais isolados muito finos, de até 0,25mm, dispostos amplamente pela rocha, ocupando interstícios entre cristais de plagioclásio e não sustentando-os. Os cristais são lamelares, não apresentam tropia nem zonas de granulação anômala, a não ser pelo local preenchimento de vesículas, neste caso os minerais são de maior granulação e há associação com óxidos de ferro e opacos, não sendo observado zoneamento nas vesículas. Este mineral se formou às expensas de piroxênio, como atestado por pseudomorfos subprismáticos e exsolução de óxidos de Fe-Ti paralelo aos contornos dos cristais.

Calcedônia ocorre em conjunto a clorita, opacos e carbonatos finos no interior de vesículas, sendo a calcedônia de hábito fibroso alcançando até 1,0mm.

Carbonato ocorre no interior da matriz intersticial aos cristais de plagioclásio, seus cristais são de granulação inferior a 0,25mm, são anedrais, compõe agregados e também formam venulações quartzo-carbonáticas de granulação muito fina, subparalelas entre si. Outro modo de ocorrência é associado aos cristais de plagioclásio, especialmente em seus planos de geminação mal preservados e bordos.

Plagioclásio ocorre ao longo da lâmina como um todo, dá-se por cristais de granulação variável entre 0,1mm até 1,0mm, estes raros e localizados em aglomerados de cristais menores, com um hábito ripiforme a tabular bem definido, distribuem-se se entrecruzando dando origem a uma textura tipo feltro, não havendo orientação preferencial. Suas bordas apresentam alterações para carbonatos e localmente sericita, sua composição está entre adularia-albita. Ocorre orientação preferencial de cristais de adularia lembrando fluxo.

Opacos estão distribuídos amplamente pela rocha, situam-se nos interstícios entre os cristais de plagioclásio e também associados às vesículas, são de granulação muito fina, hábito anedral granular a subquadrático anguloso, possivelmente constituem-se de magnetita, pirita e calcopirita, como evidenciado pelo tingimento por óxidos secundários em suas adjacências.

Quartzo ocorre associado a venulações, apresenta-se bem cristalizado e com extinção plana.

Apatita ocorre como grãos dispersos na lamina, muito finos, anedrais.

D) **Interpretação:** rocha magmática hipoabissal, de quimismo básico/máfico, cristalizada em regime ausente de tectônica e subseqüentemente não exposta à tectônica, metamorfozizada em fácies xisto-verde baixo, com a cloritização dos

piroxênio e alteração dos plagioclásios por fluido. Este metamorfismo poderia ser associado à processos análogos aos de espilitização em fundo oceânico.

E) **Classificação:** meta-dolerito (diabásio)

### AMOSTRA N6-0003- 146,8 a 146,85

#### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha com estrutura bandada/laminada mal-definida, com a segmentação das bandas e formação de ondulações de variados comprimentos de ondas e estilos, sendo dada por uma massa de jaspe com ocasionais leitos de hematita e sulfetos ocasionalmente.

B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 90	Calcopirita traços
Magnetita 5	Blenda traços
Quartzo 3	Apatita traços
Hematita 2	

C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como uma massa dada por calcedônia intensamente impregnada de microcristais de goethita e ocasionalmente de hematita, tornando o material opaco. O jaspe apresenta-se em bandas e laminas maciças mal-definidas, segmentadas e onduladas, intercaladas com leitos de magnetita granular, localmente martitizada.

Magnetita ocorre como cristais granulares anedrais a subedrais de até 0,5mm, dispostos em leitos descontínuos que se intercalam ao jaspe. Apresenta-se localmente martitizada. Associada a esses leitos de magnetita tem-se também calcopirita e blenda associada, ambas em cristais subedrais subquadráticos a tabulares.

Hematita ocorre como cristais tabulares a granulares de dimensões entre 0,1 e 0,5mm, dispostos tanto no interior da massa de jaspe quanto nas bandas de magnetita, assim como seu produto de martitização.

Quartzo ocorre como cristais granulares a subprismáticos de até 0,5mm, dispostos em leitos concordantes à laminação e também como venulações concordantes ou não ao bandamento mal definido, ramificadas e de discreta expressão.

Apatita ocorre como grãos anedrais de até 0,5mm associados às venulações quartzosas.

D) **Interpretação:** sedimento sílico-ferruginoso com transformação diagenética de jaspe em bandas de magnetita pouco desenvolvida e separação de fases sulfetadas associadas a essa diagênese. A perturbação da esperada laminação pode ser efeito de transporte pré-diagenético dos materiais como deformação em situação diagenética.

E) **Classificação:** jaspelito laminado a maciço

## AMOSTRA N6-0004- 96,25 a 96,35m

### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha bandada, formada pela intercalação entre leitos de jaspe avermelhado maciços em escala pequena e bandas de quartzo, localmente ocorrem bandas de hematita. As bandas de jaspe são laminadas em escala maior, apresentam em seu interior corpos subarredondados de calcedônia de até 0,5mm com microesferas de sílica e óxidos de ferro em seu interior. Tais laminas são micrométricas e apresentam contatos sinuosos a disruptos.

### B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 73	Carbonato 1
Hematita 15	Quartzo 1
Magnetita 7	turmalina traços
Calcedônia 3	Apatita traços

### C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como bandas laminadas finamente, sendo estas bandas mais ou menos extensas, apresentando freqüentes adelgaçamentos arqueados e formando laminação disrupta e freqüentemente dobramentos de variados estilos. Estas bandas apresentam espessuras variáveis, desde 1 micra até centímetros sendo estas aparente maciças a olho nu. Constituindo as bandas de jaspe se dão corpos arredondados de calcedônia com filmes de óxidos de ferro, que por vezes apresentam uma discreta orientação entre si, alongados segundo o bandamento, sendo esta feição muitas vezes disrupta. Hematita ocorre como pontuações no interior das bandas de jaspe, não superando 0,5 micra, sendo anedrais granulares e não formando agregados.

Hematita se dá como bandas mais ou menos contínuas, maciças, sendo grãos de até 0,3mm, formando agregados granulares por vezes. Estas bandas apresentam-se muitas vezes anastomosadas e desconectadas, isolando porções de jaspe em seu interior. Magnetita apresenta-se martitzada rendendo tábulas de hematita, sendo a mesma maciça anédrica.

Quartzo ocorre como cristais de até 1,3mm, anédricos, globulares dispostos em venulações oblíquas ao bandamento como em venulações onduladas de espessura variável que se alojam paralelamente ao bandamento. Estas venulações apresentam turmalina muito fina, tabular, sendo originadas a partir de fluidos que permearam a seqüência, em situação diagenética ou pela passagem de fluidos tectono-metamórficos. Carbonato ocorre como venulações, em arranjos de cristais muito finos, associados às venulações de quartzo.

Apatita ocorre como grãos anedrais arredondados de até 0,2mm dispersos ao longo da lamina e situados nas bandas de jaspe

Calcedônia forma glóbulos de até 0,5mm, arredondados, compostos de grãos subarredondados menores com ou sem membranas e interiores com óxido-hidróxidos de ferro, tais estruturas estão confinadas às bandas de jaspe. Calcedônia ocorre como matriz nas bandas de jaspe.

D) **Interpretação:** sedimento quartzo-ferrífero de natureza estrutural como um gel, com a transformação da massa inicial para bandas de jaspe e óxidos de ferro, com a formação de laminação e bandamento sedimentar-diagenético pela

compactação e transformação mineral da rocha, com a formação de porções homogeneizadas com laminação disrupta pela movimentação dos materiais inconsolidados por fluidos diagenéticos. Ocorrem venulações oblíquas e paralelas ao bandamento com minerais metamórficos como quartzo bem cristalizado e com extinção ondulante, turmalina verde e carbonatos, indicando que em algum momento o maciço foi permeado por fluidos de maior temperatura, possivelmente um fluido tectono-metamórfico.

E) **Classificação:** jaspilito fácies óxido

### AMOSTRA N6-0004 - 134,0m

#### Descrição Microscópica:

**A) Estrutura/Textura:** rocha isotrópica, maciça, formada por um arcabouço de jaspe e clorita permeado por massa policristalina de carbonatos de ferro.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Calcopirita 5	Carbonato 15
Pirita 1	Clorita 4
Magnetita 13	Quartzo 25
Jaspe	Epidoto traços

**C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Calcopirita e pirita ocorrem como bolsões e corpos irregulares dispostos no interior da massa carbonática intersticial da rocha, associam-se também a quartzo, sendo cristais em geral anedrais granulares, localmente com cristais de pirita quadrática, dispostos também no interior da massa clorítica. Encontram-se em contato mútuo, sugerindo que se cristalizaram a partir de um mesmo fluido.

Epidoto ocorre como cristais anedrais granulares, de até 0,5mm, dispostos no interior da massa carbonática, associado a clorita.

Carbonato ocorre como uma massa de cristais anedrais granulares de até 0,4mm, dispostos como uma trama ramificada em meio a um arcabouço de cristais de clorita e fragmentos de jaspe angulosos dispersos. Trata-se de um Fe-carbonato.

Clorita ocorre como cristais tabulares de até 0,6mm, dispostos na lamina como um todo associados à epidoto, formando um arcabouço para a malha de carbonato.

Quartzo ocorre como cristais anedrais de até 0,5mm, dispostos no interior da massa carbonática e permeando fragmentos de clorita-epidoto, estes que constituem pseudomorfos de rocha básica.

Magnetita ocorre associada a fragmentos de jaspe, estes fragmentos são em geral granulares ou tabulares, sendo a magnetita granular com até 0,5mm.

**D) Interpretação:** rocha magmática básica que engolfou material proto-jaspilitico em estado plástico com a formação de matriz intersticial carbonático-quartzosa.

**E) Classificação:** peperito sulfetado

## AMOSTRA N6-0004- 173,85 a 174m

### Descrição Microscópica:

F) **Estrutura/Textura:** rocha bandada formada por intercalações entre bandas de quartzo, jaspe e óxidos de ferro, sendo estas laminais contínuas, localmente disruptas formando pods e lentes, especialmente as de óxido de ferro em meio às laminais de jaspe, sendo de espessura homogênea ao longo da lamina e nas lâminas, sendo de até 1,0mm. Ocorrem venulações de óxidos de ferro, pouco penetrativas na rocha

G) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Quartzo 25	Jaspe 20
Hematita 35	Pirita traços
Magnetita 20	

H) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Quartzo ocorre como laminais mais ou menos espessas, homogêneas, dadas por cristais anedrais granulares, poligonalizados de até 1,0mm, situados em bandas, com teores variáveis de hematita formando poeira muito fina dada por grãos e micro-esfêrulas. Ocorrem porções jasperoidais mais ou menos 'limpas' de hematita, em geral são menos contínuas e heterogêneas quanto à quantidade de hematita.

Magnetita ocorre como grãos anedrais a eudrais de dimensões variadas entre 0,1 e 0,8mm, dispostos na lamina em bandas e dispersos no arcabouço de jaspe, sendo que apresenta pseudomorfizando cristais tabulares de hematita que estão posteriormente martitizados.

Hematita compõe as bandas junto de magnetita, como cristais anedrais, tabulares e também pseudomorfos sobre a magnetita, além de pontuações muito finas bem cristalizadas dispostas na massa jasperoidal e também como cristais granulares muito finos e também microesfêrulas nas bandas de jaspe.

Pirita ocorre como cristais eudrais e anédricos dispostos ao longo da lamina, especialmente isolados em meio a massa de jaspe ou nas proximidades das bandas de óxido de ferro.

O bandamento da rocha apresenta-se freqüentemente ondulado e perturbado levando à segmentação das laminais de hematita-magnetita e jaspe, com a formação de porções convolutas de tempo diagenético, sendo possível a formação de pods em devido à compactação

I) **Interpretação:** sedimento químico quartzo-ferruginoso, portador de jaspe com micro esfêrulas de origem biótica ou não, submetido a recristalização dos géis e formação de bandas silicosas mais ou menos limpas de óxido-hidróxidos de ferro, levando a formação de quartzo, com a formação de bandas do mesmo, separação de bandas de jaspe e bandas de óxidos de ferro como hematita e magnetita, podendo-se assinalar a seguinte sequência possível para algumas das bandas, onde se observa uma sequência de pseudomorfização dada por hematita->magnetita->martita.

J) **Classificação:** itabirito

## AMOSTRA N6-0008- 75,92 a 76,00m

### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha bandada, com a intercalação entre bandas de óxidos de ferro e jaspe, localmente com bandas de quartzo muito discretas. Estas

bandas são de espessura pouco variável, seus contornos são ondulados a dobrados de modo aberto, os contatos entre as mesmas são bruscos. As bandas de jaspe são internamente laminadas enquanto as de óxidos de ferro são maciças, com a laminação das primeiras dadas por trilhas discretas de microesferas de hematita-calcedônia. Corpos globulares de calcedônia-hematita formados por microesferas dos mesmos materiais agregados ocorrem limitados às bandas de jaspe, apresentando deformação subparalela ao aleitamento. Ocorrem venulações de quartzo bem cristalizado paralelas ao bandamento, além de venulações carbonáticas oblíquas ao bandamento.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Jaspe 44	Quartzo 1
Magnetita 34	Carbonato 1
Hematita 16	Apatita traços
Goethita 2	

**C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como bandas onduladas de espessura pouco variável, em geral de até 0,5mm, são contínuas, porém localmente encontram-se com terminações bruscas em bandas de óxidos, como em pods. Estas bandas de jaspe são maciças a fracamente bandadas onde o mesmo se dá por paralelismo entre glóbulos de calcedônia/quartzo microcristalino com filmes hematita e goethita muito finos com arranjo fibroradial freqüente. No interior das bandas de jaspe ocorrem grânulos milimétricos formados por microesférulas de hematita-calcedônia também com goethita, aglomeradas em formas de cachos de uva, coalescentes entre si, com pontuações de magnetita em seu interior de até 1micra. Os contatos dos grânulos milimétricos ocorrem filmes de hematita muito fina que apresentam glóbulos em menor escala. Por vezes os grânulos apresentam coalescência paralela das microesférulas, sendo paralela ao bandamento, sendo esta uma feição diagenética/compactação.

Estruturas em tubos de calcedônia com bordos de hematita muito fina são pouco freqüentes e encontradas nas bandas maciças de jaspilito, sendo inferiores a 1,0micra, sendo dispersos e não coalescentes.

Magnetita ocorre como cristais sub- a euedrais granulares a quadráticos alcançando até 0,5mm de maior dimensão com seus bordos em geral transformados em hematita e também mostrando localizada transformação ao longo das clivagens formando arranjo em treliça. Os contornos da banda de jaspilito são ondulados ao redor dos cristais de magnetita e com discreta redução da freqüência de microesférulas de hematita ao redor dos mesmos, tornando as mesmas maciças, dando indícios de que esta magnetita seja de origem diagenética, sendo que estas microesférulas e os grãos estão ausentes nos mesmos. Hematita ocorre no interior dessas bandas subparalela ao bandamento, porém como aglomerados de cristais muito finos globulares.

Hematita ocorre como pontuações micrométricas anédricas, não orientadas, dispersas ao longo das bandas de hematita e também se associa a magnetita nas bandas maciças, como um produto da sua martitização. Localmente ocorre como tábulas e espículas associadas às bandas de quartzo, sendo ortogonais ao acamamento e bem cristalizadas

Goethita ocorre como filmes ao redor de cristais de hematita, magnetita, também junto de microesferas de hematita no interior das bandas de jaspe e localmente no interior das mesmas.

Quartzo ocorre como venulações pouco freqüentes, bem cristalizado, sem extinção ondulante, estas venulações são paralelas ao bandamento da rocha.

Carbonatos ocorrem em venulações discretas subparalelas, oblíquas ao bandamento.

Apatita ocorre como grãos micrométricos, subprismáticos a granulares dispersos na lamina.

- D) **Interpretação:** sedimento químico sílico-ferroso, com a participação de atividade biótica na constituição de estruturas coloniais de calcedônia com hematita e goethita associadas à sua diagênese com impregnação sobre si, em arranjos fibroradiais e radiais, localmente com núcleos de hematita, sendo estes granulas ausentes nas lamina de óxido de ferro, indicando que as mesmas sejam diagenéticas. Os túbulos apresentam-se no interior das bandas de jaspe, sendo possivelmente precipitações minerais associadas a organismos vivos, sejam substituições ou permineralizações associadas a sua estrutura ainda em vida
- E) **Classificação:** jaspilito fácies óxido e granular

### AMOSTRA N6-0011- 102,98 a 103,03

#### Descrição Microscópica:

- A) Estrutura/Textura:** rocha bandada dada pela intercalação de bandas de jaspe muito finas e bandas de hematita-magnetita de espessuras variáveis, deste submilimétricas até 3,0mm, sendo internamente laminadas. As bandas de jaspe são maciças. Ocorrem venulações com quartzo e adularia pré-bandas de óxidos de ferro.
- B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**
- |              |                    |
|--------------|--------------------|
| Jaspe 50     | Quartzo 2          |
| Magnetita 35 | Adularia traços    |
| Hematita 15  | Calcopirita traços |

#### **C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Jaspe ocorre como bandas mais ou menos espessas, maciças, formada por aglomerados de microesferas de jaspe+goethita, estes corpos sempre circulares a ovóides onde seus centros apresentam-se mais limpos em relação à goethita e frequentemente seu interior apresenta um núcleo de hematita, com as porções radialmente exteriores mais impregnadas de goethita. As dimensões dessas esferas são variáveis dentro de um intervalo restrito entre 0,1mm até 0,4mm, não são observadas gradações ou zoneamento.

Magnetita ocorre como núcleos e porções preservados da martitização penetrativa da rocha, onde hematita pseudomorfiza cristais quadráticos a subquadráticos de magnetita com até 0,4mm. Também perfaz bandas finamente laminadas de magnetita muito fina, com até 2micra, granular.

Hematita ocorre como grãos anedrais dispostos no interior das bandas de jaspe, no interior de micro esférulas de jaspe e também no interior das bandas de magnetita como pseudomorfos. Também dá-se como cristais tabulares ocasionais no interior das bandas de jaspe

Calcopirita ocorre como cristais anedrais quadráticos muito finos e raros no interior das bandas de jaspe.

Quartzo e adularia ocorrem como venulações mais ou menos espessas, ramificadas e raras, oblíquas ao bandamento e apresentam uma geometria anterior à formação das bandas de óxido de ferro, sendo cortadas pelos mesmos.

- D) **Interpretação:** sedimento sílico-ferruginoso apresentando microesférulas de jaspe possivelmente relacionados a atividade biótica, zonados, que em situação diagenética renderam bandas de óxidos de ferro, inicialmente são formadas bandas de magnetita que posteriormente são martitizadas ainda em situações diagenéticas. Ocorrem venulações de quartzo-adularia anteriores à consolidação das bandas de óxido, confirmando a hipótese da adularização por metamorfismo de fundo oceânico dos basaltos da Fm Parauapebas.
- E) **Classificação:** jaspelito fácies óxido.

### AMOSTRA N6-0011- 103,03 a 103,08m

#### Descrição Microscópica:

- A) **Estrutura/Textura:** rocha com bandamento dado por leitões de jaspe e óxidos de Fe-Mn, onde ambas são finamente laminadas, ocorrendo nas bandas de jaspe porções maciças também, em geral são laminadas segundo alinhamento de chert impregnado por hematita, apresentando pontuações de hematita bem cristalizada micrométrica dispersa em seu interior.. Tais bandas são da ordem de 1,0-1,5mm, sendo as laminas de espessuras até 0,5mm. Essas bandas e lâminas são subparalelas, com uma geometria ondulada bem definida, com amplitudes pequenas e por vezes formam-se pods alongados de jaspe no interior das bandas de Fe-Mn-óxidos
- B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**
- |                          |    |           |        |
|--------------------------|----|-----------|--------|
| Chert/Calcedônia – Jaspe | 70 | Magnetita | traços |
| Hematita                 | 30 | Pirita    | traços |
- C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Bandas de jaspe são maciças, apresentam em seu interior microesférulas quartzo-ferrosas, mais a frente descritas, estas bandas apresentam espessura pouco variável, seus limites são bruscos com as bandas de óxidos de Fe-Mn, em seu interior há pontuações de hematita bem cristalizada, muito fina e granular. Os microesferóides de Fe-ox e sílica, como os de Greene & Slack (foto), com núcleos de óxido de Ferro/goethita, sendo este muitas vezes ausente, apresentando coating similar a uma franja de hematita concêntrico, chegam a formar agregados unidos e que se interpenetram.

As bandas de jaspe apresentam variação no teor de microesférulas de hematita/goethita e também variam na quantidade de grãos de hematita intersticial.

A hematita granular presente nas bandas de jaspe é inferior a 0,1mm, apresenta-se dispersa pelo arcabouço de chert/calcedônia, ocupando interstícios entre os grãos e também entre as microesférulas com núcleos ou não. Estes cristais representam também substituições sobre magnetita, com a local preservação da mesma.

Calcedônia ocorre como venulações discretas, onduladas, associadas a óxidos de Fe-Mn secundários.

Bandas maciças de hematita e magnetita granular muito finas ocorrem intercaladas às bandas de jaspe, sua granulação é inferior a 0,1mm, sendo a magnetita frequentemente martitzada

- D) **Interpretação:** sedimento ferro-silicoso com esférulas nucleadas por óxidos de ferro e jaspe, cuja interpretação das mesmas pode-se dar por precipitação induzida por nucleação sobre um mineral pré-formado, com a intercalação de bandas de óxido de ferro (magnetita e hematita) maciças que apresentam evidências de deformação diagenética como a formação de pods e zonas de transição com perda de massa silicosa no interior das bandas de óxido devido à separação por gravidade ou compactação.
- E) **Classificação:** jaspilito bandado fácies óxido.

### AMOSTRA N6-0011- 120,8 a 121,98.

#### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha bandada inequigranular hiatal, dada pela alternância de leitos de quartzo de diferentes granulações, não ultrapassando 0,3mm, praticamente monominerálicos, contendo apenas variadas proporções de hematita granular em seu interior, a textura da rocha é granular. Ocorre porção de rocha básica com textura ofítica, equigranular com clorita. A rocha m-máfica sobrepõe-se ao itabirito no testemunho, o contato entre ambos apresenta uma mistura entre os mesmos, com fragmentação do itabirito e seu alojamento no interior da máfica, formando zonas anastomosadas.

**B) Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Itabirito:	Meta-máfica:
Quartzo 83	Clorita 40
Hematita 9	Carbonato 10
carbonato 4	Plagioclásio/adulária 10
Magnetita 3	Apatita traços
Calcoirita 1	Magnetita 10
Apatita traços	

**C) Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Quartzo ocorre como bandas de dimensões entre 0,1 e 1,0mm, que se arranjam em bandas homoganeamente granulares, sem tropia, de contatos ondulados a retos entre si, sendo o quartzo de extinção ondulante, seus contatos são retilíneos entre si, poligonalizados. Algumas bandas apresentam granulação algo maior de até 1,5mm, poligonalizados, de extinção reta, paralelas às bandas, sendo possivelmente vênulas, visto que apresentam também carbonato em seu interior.

Carbonato ocorre como grãos de até 0,8mm anedrais, dispersos ao longo da lâmina, em geral menores de 0,1mm localizados no interior das bandas de quartzo e também associados a vênulas de variados portes.

Calcoirita ocorre como cristais anedrais de até 0,2mm, dispostos no interior das bandas quartzosas, em aglomerados de dois a três cristais, apresentando alterações para óxidos e sulfetos secundários de coloração azuls. Trata-se de sulfetação dada por fluidos tectono-metamórficos, devido a sua associação com carbonatos e clorita.

Apatita ocorre como grãos anedrais de até 0,4mm, dispersos pela lâmina, de contorno arredondado, situado especialmente nas bandas quartzosas.

Magnetita ocorre como restos de cristais anedrais granulares de contornos quadráticos, pseudomorfizados parcialmente por hematita e mantendo seus contornos. Hematita ocorre como grãos isolados na matriz de quartzo, sempre menores que 0,1mm, de contornos também quadráticos evidenciando que sejam substituições de magnetita.

Clorita ocorre associada a venulações quartzo-carbonáticas oblíquas e paralelas ao bandamento também, seus cristais são ripiformes a lamelares, inferiores a 0,1mm. Ocorre também como transformação de piroxênios, como pseudomorfos prismáticos que formam o arcabouço da metabásica em contato com o jaspilito acima descrito.

Carbonatos ocorrem como grãos subedrais associados aos pseudomorfos de plagioclásio muito mal definidos, transformados em sericita e carbonato, sendo preservados poucos cristais de adularia.

Os opacos da rocha se tratam de hematita e magnetita, sendo a hematita ripiforme e a magnetita martitzada e formadora de cristais subedrais quadráticos.

Apatita ocorre na metamáfica como grãos dispersos no interior da rocha, anedrais, de até 0,1mm.

- D) **Interpretação:** o itabirito trata-se de um jaspilito que foi recristalizado e 'limpo' por efeito termal da rocha máfica que se cristalizou acima do mesmo, sendo que a m-máfica pode ter sido auto-metamorfizada por seus fluidos e também pelos fluidos liberados pelo jaspilito pretérito ou seu sedimento inicial em processo diagenético. Considera-se o efeito termal do basalto sobre o itabirito em vista do seu efeito de 'limpeza' sobre o jaspilito.
- E) **Classificação:** itabirito e meta-máfica (basalto).

#### AMOSTRA N6-JGM-111

##### Descrição Microscópica:

A) **Estrutura/Textura:** rocha inequigranular, com grãos de dimensões micrométricas até milimétricas, dada por arranjo de cristais angulosos pouco arredondados de quartzo, feldspato, fragmentos de rocha, apresentando matriz filossilicática fina, formando uma textura granular onde os cristais se entretocam, sendo a matriz intersticial incapaz de isolá-los

B) **Composição Modal Estimada Visualmente (%):**

Quartzo	83%	Muscovita	traços
Feldspato potássico	7%	Apatita	traços
Sericita	4%	Goethita	traços
Plagioclásio	2%	Leucóxênio	traços
Fragmentos de rocha	1%	Titanita	traços
Opacos	1%	Piroxênio (augita)	traços

C) **Relações Mineralógicas, texturais e estruturais:**

Quartzo dá-se como cristais granulares anedrais, pouco arredondados e angulosos, de até 2,0mm, dispostos sem orientação ou seleção, apresentando extinção em geral ondulante com raras exceções. Juntamente com feldspato e plagioclásio compõem o arcabouço estrutural da rocha, sendo apenas permeado por sericita. Fontes para esse quartzo podem ser consideradas como terrenos cristalinos e com pouco trabalhamento dos mesmos. Apresenta pontuações de hematita em seu interior, muito discretas.

Opacos apresentam-se dispostos ao longo da rocha todo, esparsos, com oxidação de seus entornos com a formação de óxidos de ferro, possivelmente pirita.

Feldspato ocorre de forma similar ao quartzo, sendo menos freqüente que o mesmo, apresenta em geral uma geminação mal-definida em seu interior, que some em direção aos bordos dos cristais, apresentam superfícies sericitizadas, especialmente no contato com a matriz sericitica, além de ocasionalmente filmes de óxido de ferro seguindo a geminação.

Plagioclásio dá-se por cristais anedrais subarredondados, muito finos, apresentando geminação polissintética em seu interior, esta que muitas vezes apresenta kinks, sua composição é variável com termos entre albita e oligoclásio.

Fragmentos de rocha dão-se como grãos de até 2,0mm, subarredondados de limites angulosos, compostos por quartzitos finos a médios poligonalizados ou não, xistos à muscovita, fragmentos quartzo-feldspáticos possivelmente de granitos ou gnaisses. Não apresentam tropia entre si.

Sericita ocorre como aglomerados maciços de granulação homogênea inferior a 0,1mm, presente nos interstícios do arcabouço da rocha, não evita os contatos entre os mesmos e ocorre de forma ampla na rocha.

Augita ocorre como cristais anedrais com a dissolução de suas bordas e formação de goethita com a preservação de suas clivagens em seu interior.

Titanita ocorre como cristais anedrais a 'balonares' de até 0,25mm, dispersos pela lâmina de modo amplo, não associados a algum outro mineral especificamente, apresenta a formação de leucoxênio e carbonatos em seu entorno.

Goethita ocorre como filmes ao redor de cristais de quartzo e feldspato, em porções onde ocorrem opacos, possivelmente pirita, formada a partir da alteração desse sulfeto.

Leucoxênio ocorre como aglomerados finos, de até 0,25mm, compostos por cristais anédricos de até 0,1mm associados aos interstícios do arcabouço da rocha em conjunto com goethita, possivelmente formado a partir da mobilização de Fe-Ti no sistema em situação metamórfica ou secundária.

Apatita ocorre como grãos anedrais a subedrais granulares de até 0,25mm, dispersos pela rocha, associados ao arcabouço da rocha.

Muscovita ocorre como cristais tabulares fragmentados, de contornos irregulares e serrilhados com a formação de sericita em seus bordos, são cristais de até 1,0mm raros na rocha, envolvidos pela matriz sericitica ou também em contato com os cristais que formam o arcabouço. Ocorre no interior de grãos de quartzo também.

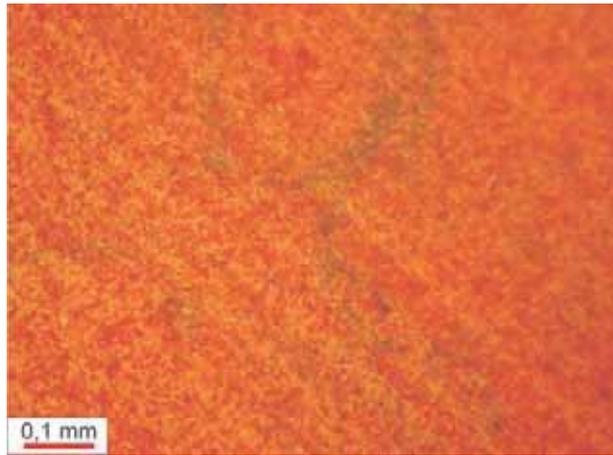
D) **Interpretação:** sedimento mal-selecionado quartzo-rudítico com a presença de matriz lamítica intersticial, submetido a diagênese/metamorfismo termal com a formação de sericita.

E) **Classificação:** arenito conglomerático com matriz.

## **FOTOMICROGRAFIAS**

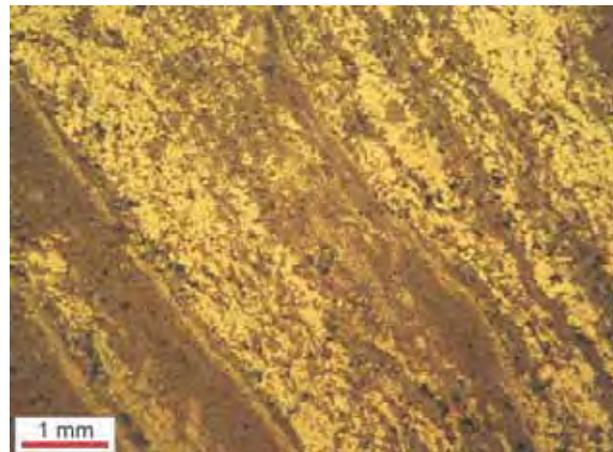
### **AMOSTRA N6-0001- 121,85 a 121,90m**

Detalhe de banda de jaspe com trilhas de hematita granular. Fotografia em luz refletida.



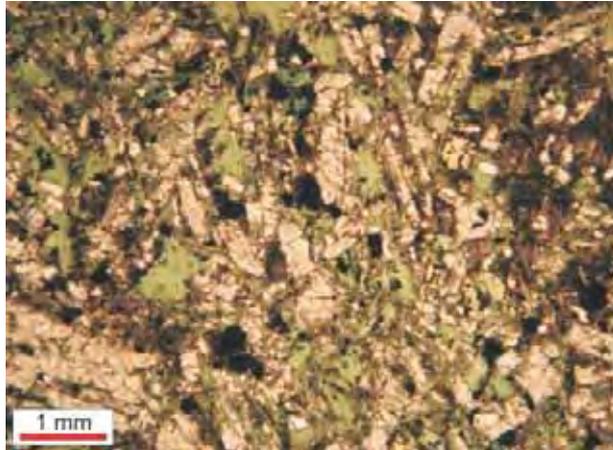
### **AMOSTRA N6-0001- 140,08 a 140,15m**

Laminação ondulada e segmentada das bandas de hematita e magnetita, com contatos disruptos das bandas de jaspe, havendo interpenetrações locais entre as mesmas. Fotografia em luz refletida.



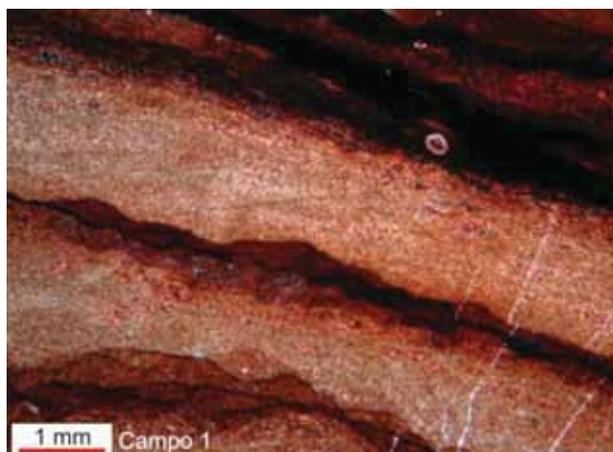
### **AMOSTRA N6- 0001- 169, 18 a 169,25m**

Metadiabásio com clorita intersticial a cristais de plagioclásio transformados em adularia. Luz transmitida em nicóis descruzados.



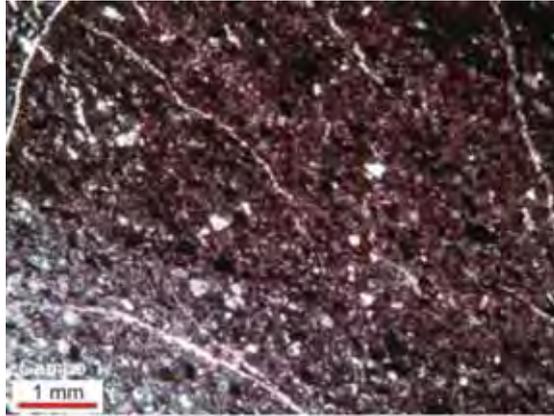
### **AMOSTRA N6-0002- 56,20 a 56,25m**

Bandas onduladas e segmentadas de jaspe com alta densidade de poeira de hematita e ocasionais micro-esférulas. Fotomicrografia em luz transmitida à nicóis cruzados.



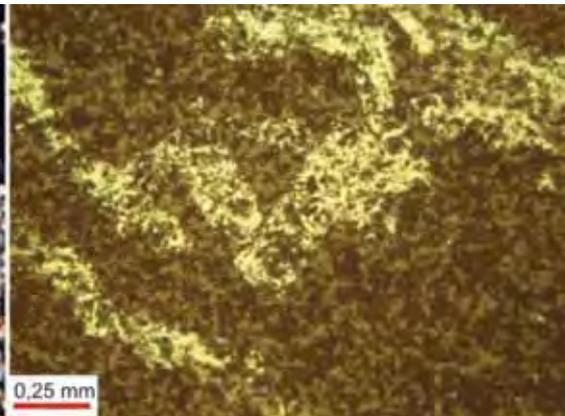
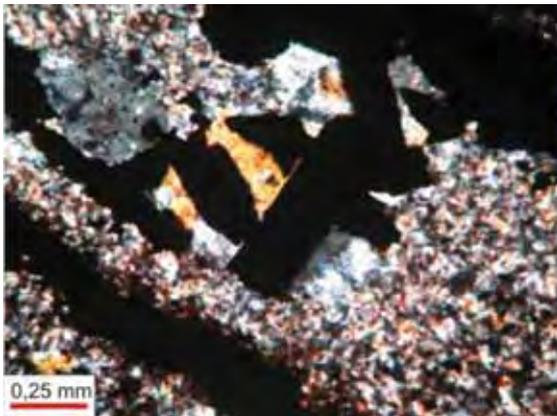
**AMOSTRA N6-0004- 96,25 a 96,35m**

Banda maciça de jaspe que apresenta acamamento muito mal-definido e grãos de calcedônia dispersos em seu interior. Fotomicrografia em luz transmitida à nicóis cruzados.



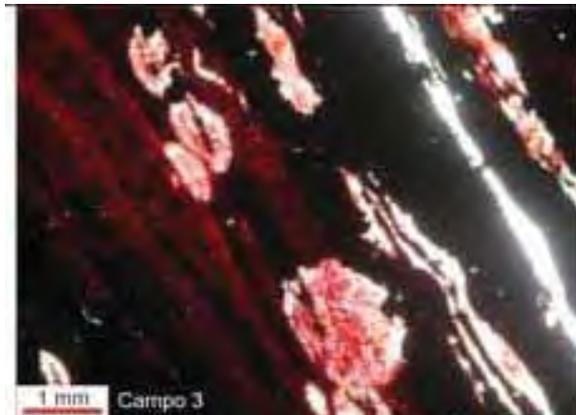
**AMOSTRA N6-0004- 173,85 a 174m**

Cristais de hematita tabular no interior de banda de quartzo associada a quartzo bem cristalizado. Fotografias em luz transmitida e à nicóis cruzados (esquerda) e à luz refletida (direita).



**AMOSTRA N6-0008- 75,92 a 76,00m**

Grânulos de sílica microcristalina com microesférulas de Fe e sílica em seu interior, no interior de banda de jaspe microlaminada, estando compactados paralelamente à laminação. Bandas de hematita e magnetita ocorrem intercaladas ao jaspe. Fotomicrografia em luz transmitida à nicóis cruzados.



**AMOSTRA N6-0011- 103,03 a 103,08m**

Banda de jaspe com microesférulas de hematita-silica intercalada com bandas de hematita e magnetita. Fotografia em luz transmitida à nicóis cruzados.

