



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Caracterização das Sequências Metavulcanossedimentares da
Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)**

Autor Leandro Prado Costa

Orientação Carlos Alberto Rosière
Co-orientação Lydia Maria Lobato

Nº 86

BELO HORIZONTE 2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da
Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)**

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada

Autor: Leandro Prado Costa

Orientação: Carlos Alberto Rosière

Co-orientação: Lydia Maria Lobato

Nº 86

BELO HORIZONTE 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Caracterização das Sequências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

LEANDRO PRADO COSTA

Banca Examinadora:

Carlos Alberto Rosière - Prof. Dr. UFMG (orientador)

Alfonso Schrank - Prof. Dr. UNICAMP

Diniz Tamantini Ribeiro - Dr. UFRJ

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada

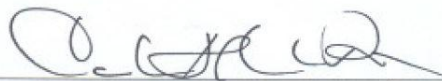
Belo Horizonte, 01 de 08 de 2007

Dissertação defendida e aprovada, em 01 de agosto de 2007, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

1.4 Aspectos Fisiográficos 9

1.5 Oceanografia 8

1.6 Dados Gerais 9



Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière

CAPÍTULO 2 - FORMAÇÕES FEIJOLEIRAS PRÉ-CAMBRIAS 10

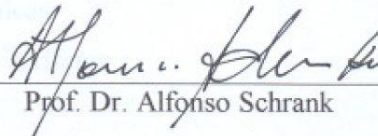
2.1 Definição e Classificação 10

2.2 Localização Tectônica 13

2.3 Características Geológicas 13

2.4 Origem das Formações 16

2.5 Importância Econômica 17




Prof. Dr. Alfonso Schrank

CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA REGIONAL 20

3.1 Estado Atual 20

3.2 Ambiente Geotectônico 22

3.3 Evolução Geológica 25



Dr. Diniz Tamantini Ribeiro

3.4 Evolução Tectônica 28

SUMÁRIO

Agradecimentos

Abstract

Resumo

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos e Metas	1
1.2 Trabalhos Desenvolvidos	1
1.3 Localização e Vias de Acesso	5
1.4 Aspectos Fisiográficos	6
1.5 Geomorfologia	6
1.6 Dados Gerais	9
CAPÍTULO 2 FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRECAMBRIANAS	10
2.1 Definição e Classificações	10
2.2 Distribuição Temporal	13
2.3 Características Geoquímicas	15
2.4 Origem das Formações Ferríferas	16
2.5 Importância Econômica	17
CAPÍTULO 3 GEOLOGIA REGIONAL	20
3.1 Breve Histórico	20
3.2 Arcabouço Geotectônico e Limites	22
3.3 Unidades Litoestratigráficas	25
3.3.1 Embasamento	25
3.3.2 Rochas Supracrustais	26
3.3.3 Complexos Máfico-Ultramáficos	26
3.3.4 Granitos Sintectônicos	28
3.3.5 Granitos Pósectônicos	28
3.3.6 Cinturão Araguaia	31

3.4 Geologia Estrutural	31
3.4.1 Zonas de Cisalhamento Regionais	33
3.4.2 Domos Estruturais	34
3.5 Modelo Evolutivo	35
CAPÍTULO 4 GEOLOGIA DA PORÇÃO LESTE DA PMC	37
4.1 Unidades Litoestratigráficas	37
4.1.1 Grupo Rio Novo	37
4.1.1.1 Rochas Vulcânicas Máficas	39
4.1.1.2 Anfibolito	43
4.1.1.3 Formações Ferríferas	45
4.1.1.4 Corpos de Minério de Ferro de Alto Teor em Serra Leste	53
4.1.2 Grupo Grão Pará	55
4.1.2.1 Formação Parauapebas	56
4.1.2.2 Formação Carajás	56
4.1.3 Complexo Estrela	58
4.2 Geologia Estrutural	60
4.2.1 O Problema das Estruturas Diagenéticas e Tectônicas	60
4.2.2 Domínios Estruturais	63
4.2.2.1 Domínio Estrutural I	63
4.2.2.2 Domínio Estrutural II	65
4.2.2.3 Domínio Estrutural III	69
4.2.3 Discussões e Interpretações	71
4.3 Química Mineral	73
4.3.1 Microanálise em Anfibólios	73
4.3.2 Microanálise em Cloritas	77
4.4 Metamorfismo	80
4.4.1 Considerações Gerais	80
4.4.2 Metamorfismo de Contato	80

CAPÍTULO 5 GEOQUÍMICA DA SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR	84
5.1 Geoquímica de Rocha	84
5.1.1 Rochas Vulcânicas Máficas	84
5.1.2 Anfibolito	88
5.1.3 Formações Ferríferas	89
5.1.4 Corpos de Minério de Ferro de Alto Teor em Serra Leste	102
5.2 Discussões e Interpretações	104
 CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	 109
6.1 Unidade Rio Novo	109
6.2 Características das Formações Ferríferas	109
6.3 Ambiente Tectônico	110
6.4 Modelo Evolutivo Proposto	112
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 114

ANEXOS

Anexo I	Mapa Geológico
Anexo II	Mapa de Pontos
Anexo III	Descrição de Pontos Geológicos
Anexo IV	Métodos Analíticos
Anexo V	Tabelas
	V.1 Síntese da descrição petrográfica
	V.2 Limite de detecção das análises
	V.3 Valores de geoquímica de rocha
	V.4 Valores de química mineral
	V.5 Localização geográfica dos furos de sondagem do depósito SL1
	V.6 Valores de elementos traço do condrito de Taylor & McLennan (1985) e de ETRs do condrito de Nakamura (1974)
	V.7 Valores de ETRs de FFs de Isua (Dymek & Klein 1988)

Agradecimentos

Aos meus orientadores Carlos Alberto Rosiére e Lydia Maria Lobato pela dedicação e atenção;

Aos geólogos e técnicos das minas de ferro da CVRD (sistema norte Carajás), em especial a Lambertus Schardt, Aroni M. Monteiro, Kalyne Cota, Roberto F. Carvalho, Edna, Gilberto L. P. Silva, Alexandre, Solange, Edézio, Jucélio e Wesley;

Ao geólogo da CVRD José Luzimar Rego (Projeto Cristalino);

Aos geólogos da MSOL, em especial a Celso Frizzo, Wilson Brunetto e Frederico Lana e, ao técnico Mauro Correia;

À FAPEMIG pela bolsa de estudos;

Aos demais membros e ex-participantes do projeto Ferro-Carajás em especial Rosaline e Giubráz;

Ao geólogo Franciscus Jacobus Barrs pelos comentários durante os diversos seminários;

Ao Prof. Ricardo Diniz da Costa pela ajuda com o programa PhotoLin;

Ao Neivaldo Castro e Liliane pela grande ajuda nas áreas de geoquímica e geoprocessamento;

Ao laboratório de química e ICP do DMG-IGc-USP na pessoa de Sandra Andrade pelas análises de FeO;

Ao Gabriel V. B. pela ajuda durante o trabalho de campo;

Ao corpo docente do programa de pós-graduação em geologia da UFMG;

A Maria Paula Borges Berlando pela atenção e esclarecimentos;

Aos colegas de mestrado, em especial, Mário, Camila e Luis;

Aos meus bons amigos Samuel, Romildo, João, Hugo e Reuber. “Onde estão? Notícias de todos quero saber...”;

Finalmente agradeço imensamente aos meus pais Vicente Marcelo Costa e Maria Helena Prado Costa pelo apoio incondicional, também a minha vó Glória, Marcelo e minha querida Nathalia.

Abstract

This work presents the characterization of the volcano-sedimentary sequences in the eastern part of the Carajás Mineral Province (Brazil) involving structural analysis, petrography and geochemistry. The study area is located in the southeast of Pará state and has an approximate 4.000 km² area. It belongs to the east-southeast portion of the Amazon craton, in the Guaporé or Brazil-central shield. The studied volcano-sedimentary sequences are part of the Rio Novo Group, are distributed in the Serra Leste and Serra do Rabo mountain ranges, exhibit a N-S continuity, being truncated and deformed by the Estrela Granite. The Rio Novo Group is divided in three portions: (1) sedimentary portion, encompassing quartzite and siltite-argillite with manganese layers; (2) undiscriminated portion, composed of volcano-sedimentary rocks that were previously designated as Complexo Xingu, and (3) volcano-sedimentary portion, constituted essentially of volcanic mafic rocks and subordinate iron formations and amphibolite. This latter represents the volcanic and chemical-sedimentary portion of the Rio Novo sequence, which contains high-grade iron orebodies of the Serra Leste SL1 and SL2 deposits. The rocks of the volcano-sedimentary portion constitute the principal object of the present study.

The Serra Leste volcanic mafic rocks have a basaltic composition, the primary minerals being plagioclase, pyroxene, quartz and ilmenite, as well as accessory grains of native copper. In the SL1 deposit drill holes, local portions of basalt are hydrothermally altered with hematite. The intensity and style of the hydrothermal alteration vary from strips of iron oxides with 0.1 mm average of thickness along planar structures (for instance schistosity), up to mafic rock containing significant portions of hard hematite (centimeter scale). Veins filled by iron oxides are very common, and these are mainly of platy martite with relict kenomagnetite in the center of crystals, anhedral martite and microplaty hematite.

The textural and compositional characteristics of iron formations are variable, with the south portion rocks displaying well preserved diagenetic structures and bands (and lamination). In the Plato da Água Boa region jaspilites are identified, while in the Cristalino deposit (Cu-Au) the iron formations contains jasper relic in the quartz bands. The northern portion iron formations contain little or no jasper. The Serra do Rabo, near the Estrela Granite, and the Serra Leste iron formations are more deformed relatively the iron formations in the southern portion. Close to the SL1 deposit, a tectonic foliation obliterates the primary structures of iron formations. The iron formations that border the Estrela Granite, as well as

other associated rocks, show contact metamorphic mineral assemblages that are compatible with the hornblende hornfels facies, in contrast with the regional low greenschist facies metamorphism. Near the Estrela Granite, the iron formations contain amphibole and exhibit granoblastic fabric.

The analysis of satellite images and radar, combined with field work allowed the study area to be subdivided into three structural domains, defined in agreement with the structural characteristics and predominant deformation regimes in each domain. The structural characteristics of Domain I suggest pure shear conditions for the regional deformation, with an approximate N-S shortening. The Structural Domain II presents interference patterns that suggest deformation fields of intrusion-type pure shear deformation. The Structural Domain III is characterized by shear zones with predominant left lateral, strike-slip faults. In the study area, the primary (diagenetic) and secondary (tectonic) structures are observed mainly in iron formations. In Serra Leste the mesoscopic characteristics of folds probably reflect the result of the regional deformation. This deformation generated folds with E-W axial plans that were later rotated in the counterclockwise sense due to the influence of the Estrela Dome deformation and/or shear zones (*Zona de Cisalhamento do Cinzento*). Folds were measured systematically in weathered iron formations of the Plato do Cristalino, and in general they present decimeter scale and form that can vary from elliptical to chevron, with an 50 for S-SE axial plunge. The integrating of data at the various scales defines synformal-antiformal pair in the Plato do Cristalino region.

The trace-element geochemical data suggest that the basalts were generated in a volcanic-island-arc tectonic setting, the iron formations of the Rio Novo sequence interpreted as having been deposited in a back-arc basin in the marginal sea.

Keywords: Carajás Mineral Province, Volcano-Sedimentary Sequences, Iron Formations, Structural Model

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo de caracterização das seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Mineral Carajás (PMC) envolvendo análise estrutural, petrografia e geoquímica. A área de estudo tem aproximadamente 4.000 km² e está situada na região sudeste do estado do Pará, localizada na região leste-sudeste do Cráton Amazônico no escudo Guaporé ou Brasil-Central. Nesse trabalho as seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Carajás fazem parte do Grupo Rio Novo redefinido informalmente, apresentando continuidade N-S, distribuindo-se ao longo das regiões de Serra Leste e Serra do Rabo, e truncado e deformado pelo Granito Estrela. A unidade Rio Novo é dividida em três porções: (1) porção sedimentar, caracterizada pela predominância de rochas metassedimentares clasto-químicas, composta principalmente por quartzitos e metasiltitos intercalados com camadas manganíferas; (2) porção indivisa, onde predominam rochas metavulcanossedimentares anteriormente designadas pela unidade Complexo Xingu e (3) porção vulcânica-sedimentar, constituída essencialmente por rochas vulcânicas máficas e subordinadamente por formações ferríferas e anfibolitos. Representa a porção vulcânica e sedimentar-química da seqüência Rio Novo e hospeda corpos de minério de ferro de alto teor nos depósitos SL1 e SL2 (Serra Leste). As rochas dessa porção constituem o principal objeto de estudo da dissertação e são caracterizadas detalhadamente.

As rochas vulcânicas máficas da região de Serra Leste apresentam composição basáltica, os constituintes primários são plagioclásio, piroxênio, quartzo e ilmenita, como mineralogia acessória ocorrem grãos de cobre nativo. Nos testemunhos de sondagem do depósito SL1 localmente ocorrem porções hematizadas da rocha máfica, a intensidade e o estilo das feições associadas ao processo de hematização variam, desde esteiras de óxidos de ferro com em média 0,1 mm de espessura, que ocorrem intercaladas ao longo de estruturas planares, até a rocha máfica contendo bolsões centimétricos de hematita compacta, também são muito comuns veios e venulações preenchidos por óxidos de ferro, constituídos principalmente martita lamelar contendo relictos de kenomagnetita, martita anédrica e hematita microlamelar. Na região de estudo as características texturais e composicionais das FFs variam, as FFs da porção sul apresentam estruturas diagenéticas e bandamento (e laminação) bem preservados. Na região do Platô da Água Boa ocorrem jaspilitos enquanto as FFs do Depósito Cristalino, apresentam apenas relictos de jaspe nas bandas quartzosas. As FFs da porção norte da região são caracterizadas por apresentarem pouco ou nenhum jaspe.

As FFs da Serra do Rabo próximas ao Granito Estrela e da região de Serra Leste encontram-se bastante deformadas em relação as demais. Próximo ao depósito SL1 identifica-se uma foliação tectônica que transpõe/oblitera as estruturas primárias das FFs. As FFs que ocorrem no entorno do Granito Estrela, assim como as demais rochas associadas, experimentaram metamorfismo de contato compatível com a fácies hornblende hornfels, em contraste com o metamorfismo regional da fácies xisto-verde baixa, as FFs anfibolíticas compreendidas nessa região exibem textura granoblástica.

A análise de imagens de satélite e radar, combinada com dados de trabalho de campo permitiu dividir a região de estudo em três domínios estruturais, definidos de acordo com as características do acervo estrutural e regimes de deformação predominantes em cada domínio. As características do acervo estrutural do Domínio - I sugerem condições de deformação regional por cisalhamento puro, com encurtamento aproximado na posição N-S. O Domínio Estrutural II apresenta características de interferência entre campos de deformação, tipo intrusão-deformação coaxial. O Domínio Estrutural III é caracterizado por zonas de cisalhamento com movimentação predominante transcorrente sinistral. Na região ocorrem estruturas primárias (diagenéticas) e secundárias (tectônicas) principalmente nas FFs. Em Serra Leste as características mesoscópicas das dobras provavelmente refletem o resultado da deformação regional, que gerou dobras com plano axial E-W e posteriormente foram rotacionadas no sentido anti-horário por influência da deformação associada ao Domo Estrela e/ou pela zona de cisalhamento do Cinzento. Na região do Platô do Cristalino as dobras foram medidas sistematicamente em cangas estruturadas, e no geral são de escala decimétrica, apresentando forma que pode variar entre elíptica e *chevron*, com eixo caindo em torno de 50° para S-SE. Integrando os dados nas várias escalas de observação é possível definir um par sinformal-antiformal na região do Platô do Cristalino.

Os dados geoquímicos de elementos traço sugerem que os basaltos da região de Serra Leste foram gerados em ambiente de arco vulcânico de ilhas. Levando em consideração esse ambiente tectônico é interpretado que as FFs da seqüência Rio Novo foram precipitadas em bacia retro-arco no mar marginal.

Palavras-chaves: Província Mineral Carajás, Seqüências Metavulcanossedimentares, Formações Ferríferas, Modelo Estrutural

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa esquemático com localização e acesso à área de estudo identificada pelo retângulo hachurado em vermelho. **5**
- Figura 2** - Imagem panorâmica aérea com visada para nordeste e exagero vertical de 3 vezes, com a localização do Platô da Água Boa na porção inferior-esquerda e da Serra do Rabo na porção superior-direita. A linha tracejada em amarelo separa o relevo colinoso do relevo de serras. Observar cangas em coloração marrom compondo a região de platô (fonte: Google Earth 2007). **7**
- Figura 3** - Imagem panorâmica com visada para nordeste, na porção inferior-esquerda está localizada a meia-encosta da escarpa norte do Platô da Água Boa, na porção superior direita está localizado um morrote sustentado por seqüência metavulcanossedimentar, localizada próximo à borda sudoeste do Granito Estrela. A linha tracejada em amarelo separa o relevo colinoso representado pelas baixadas planas, do relevo de serras. **7**
- Figura 4** - Mapa hipsométrico da Província Mineral de Carajás com a distribuição dos pontos de campo, a área de estudo compreende a região a leste do paralelo 50°W no mapa. Escala hipsométrica dividida em 32 classes de acordo com variações abruptas no relevo, base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005). **8**
- Figura 5** - Classificação de Gross (1973) para as FFs e os ambientes tectônicos associados, desenho esquemático modificado de Gross (1996). **12**
- Figura 6** - Diagrama esquemático mostrando o volume relativo das principais FFs do mundo em relação ao tempo, destacando em linha tracejada a posição das FFs pertencentes ao Grupo Itabira e Formação Carajás, modificado de Klein (2005). **13**
- Figura 7** - Mapa esquemático com a localização de importantes depósitos de minério de ferro de alto teor no mundo, os círculos representam qualitativamente o volume dos depósitos (fonte: Beukes *et al.* 2002). **18**
- Figura 8** - Mapa esquemático com a estruturação regional da Amazônia oriental e localização aproximada da área de estudo, identificada pelo retângulo hachurado em preto, modificado de Araújo & Maia (1991). **23**
- Figura 9** - Mapa esquemático com as províncias geológicas-geocronológicas do cráton Amazônico, o círculo hachurado em preto representa aproximadamente a localização da Província Mineral de Carajás, modificado de Santos (2003). **24**
- Figura 10** - Mapa geológico esquemático com as principais unidades litoestratigráficas da Província Mineral de Carajás, modificado de Bizzi *et al.* (2001). **27**
- Figura 11** - Mapa geológico da Província Mineral de Carajás. **30**
- Figura 12** - Fotointerpretação da Província Mineral de Carajás com as principais estruturas em escala subregional. Base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005), fotolineamento modificado de Seone *et al.* (2004). **32**
- Figura 13** - Bloco diagrama esquemático da Província Mineral de Carajás e arredores. A escala horizontal é aproximada e a vertical exagerada, a charneira da dobra de Carajás apresenta caimento entre 20 e 35° W (fonte: Rosière *et al.* 2004 e 2005). **36**

- Figura 14** - Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha vulcânica máfica localizada no depósito SL1. (A) - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de rocha máfica. (B) - Fotomicrografia (LT e NC), textura geral da rocha vulcânica máfica (SL-F27-P65); os minerais opacos são ilmenita. Legenda: LT - Luz Transmitida, LR - Luz Refletida, NC - Nicóis Cruzados e NP - Nicóis Paralelos. **40**
- Figura 15** - Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha máfica hematitizada localizada no depósito SL1. (A) - Foto de testemunho de furo de sondagem (SL-F30-P184), observar veios e venulações de óxidos de ferro concordantes com a xistosidade da rocha máfica. (B) - Veio de óxido de ferro, delimitado pela linha tracejada, cortando a rocha máfica (SL-F62-P93). (C) - Sequências de fotos de superfície de lâminas (delgada-polida) mostrando graus variados da intensidade do processo de hematitização. (D) - Fotomicrografia (LT e NC), venulação de quartzo apresentando dobramento com direção plano-axial paralela à xistosidade (SL-F30-P183A). (E) - Fotomicrografia (LT e NC), clivagem na rocha máfica (SL-F30-P183A). (F) - Fotomicrografia (LT e NC), venulações de óxidos de ferro com direção subparalela a xistosidade (SL-F30-P183A). **41**
- Figura 15** - (continuação) Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha máfica hematitizada localizada no depósito SL1. (G) - Foto de superfície de lâmina delgada-polida da rocha máfica apresentando venulação de óxido de ferro, observar a zona de alteração em coloração marrom bordejando a venulação. (H) - Foto de lâmina de rocha máfica hematitizada com venulações de óxidos de ferro em posição subparalela a xistosidade. (I) - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita lamelar com relictos de kenomagnetita, bordejados por hematita microlamelar (SL-F30-P183B). (J) - Fotomicrografia (LR e NC), venulação dobrada contendo hematita lamelar fibrosa (SL-F62-P89). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita e Hm - Hematita. **42**
- Figura 16** - Prancha de fotos e fotomicrografias de anfibolitos localizados a nordeste do Granito Estrela. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de anfibolito, observar a coloração esverdeada e o aspecto maciço da rocha. (B) - Fotomicrografia (LT e NP), cristais de hornblenda com coloração esverdeada típica (LC-164). (C) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada (direita) de anfibolito. (D) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de cristais de anfibólio apresentando textura nematoblástica (LC-62). **44**
- Figura 17** - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs da região de Serra Leste. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita). Observar a foliação de transposição cortada por veios e venulações de quartzo. (B) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de venulação de quartzo, observar a variação na granulação dos cristais (LC-19). (C) - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF, observar na lâmina a clivagem com aproximadamente 0.8 cm de espaçamento. (D) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação na FF registrada pela alternância de porções contendo quartzo e chert e porções de óxidos de ferro, contendo principalmente martita (SL-F35-P62). **46**

Figura 18 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região de entorno do Granito Estrela. **(A)** - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF anfibolítica localizada na região de Serra leste, observar o bandamento e as porções de coloração marrom ricas em anfibólio. **(B)** - Fotomicrografia (LT e NP), detalhe do bandamento, contato entre porções de quartzo e porções de anfibólio (LC-04). **(C)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais de martita com relictos de kenomagnetita, observar na porção inferior da fotomicrografia cristais de anfibólio bordejados por finas camadas de óxidos de ferro (LC-04). **(D)** - Fotos de superfície de lâmina delgada-polida, aspecto geral das FFs anfibolíticas. **(E)** - Fotomicrografia (LT e NP), detalhe de cristais de hornblenda apresentando coloração típica esverdeada (LC-153). **(F)** - Fotomicrografia (LR e NC), óxidos de ferro preenchendo fratura e planos de clivagem nos cristais de anfibólio (LC-154). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita, Hm - Hematita, Anf - anfibólio e Qzo - quartzo. **48**

Figura 19 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região da Serra do Rabo. **(A)** - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF, com venulações cortando a laminação. **(B)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação. Os óxidos de ferro são principalmente hematita anédrica (LC-58). **(C)** - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF do Depósito Cristalino. Observar na lâmina *pod* de deformação contendo jaspe. **(D)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais anédricos de magnetita (CRIS-F15-P175). **(E)** - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF do Depósito Cristalino. Observar laminação nas bandas de quartzo e banda contendo jaspe. **(F)** - Fotomicrografias (esquerda LR e NC, direita LT e NC), FF do Depósito Cristalino. Observar bandamento e laminação (CRIS-F21-P395). Legenda: Mg - Magnetita, Hm - Hematita e Qzo - quartzo. **50**

Figura 19 - (continuação) Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região da Serra do Rabo. **(G)** - Fotomicrografia (LT e NC), FF do Depósito Cristalino. Detalhe de venulação de calcita cortando o bandamento (CRIS-F15-P202). **(H)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de calcopirita e magnetita na FF do Depósito Cristalino (CRIS-F21-P398). **(I)** - Fotomicrografia (LR e NC), linhas de geminação em magnetita, FF do Depósito Cristalino (CRIS-F15-P199). **(J)** - Fotomicrografia (LT e NC), grãos de jaspe e chert em amostra de FF (CRIS-F15-P199). Legenda: Mg - Magnetita e Cpy - Calcopirita. **51**

Figura 20 - Prancha de fotos e fotomicrografias do minério de ferro compacto do depósito SL1. **(A)** - Foto de testemunho de sondagem de minério de ferro compacto (SL-F66-P150). **(B)** - Foto de testemunho de sondagem de minério de ferro compacto. Observar veio de quartzo paralelo à laminação (SL-F19-P099). **(C)** - Foto de seção polida de minério de ferro compacto com relictos de laminação (SL-F83-P33). **(D)** - Foto de colúvio de hematita compacta localizado próximo ao depósito SL1. **(E)** - Fotomicrografia (LR e NC), textura geral do minério de ferro compacto (SL-F32-P99). **(F)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais de martita com relictos de kenomagnetita (SL-F79-P97). **(G)** - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita subédricos bordejados por hematita microlamelar (SL-F32-P138). Legenda: Mt - Martita e Kmg - Kenomagnetita. **54**

Figura 21 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs da Formação Carajás, localizadas na região do Platô da Água Boa. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de jaspilito. Observar falhas na amostra e veios de quartzo cortando o bandamento na lâmina. (B) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe do bandamento e laminação da FF (LC-91). (C) - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita com relictos de kenomagnetita (LC-91). (D) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF bandada e laminada. (E) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação em FF, registrada pela alternância de porções de óxidos de ferro, principalmente magnetita, e porções de chert (LC-103). (F) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe da laminação em FF, registrada pela alternância de porções de óxidos de ferro, principalmente magnetita, e porções de chert (LC-103).
Legenda: Mt - Martita e Kmg - Kenomagnetita. 57

Figura 22 - Prancha de fotos de estruturas diagenéticas em FFs da região de estudo. (A) - Afloramento de jaspilito localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa, observar bandamento típico da rocha (LC-91). (B) - Amostra de testemunho de sondagem do Depósito Cristalino, observar afinamento de bandas na porção inferior-direita da foto. (C) - Detalhe de amostra de jaspilito (LC-91). (D) - Foto de lâmina, observar *pods* apresentando forma amendoada típica. (E) - Detalhe de dobra convoluta em amostra de FF do Depósito Cristalino. (F) - Detalhe de brecha intrabanda, afloramento de FF localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-104). 61

Figura 23 - Prancha de fotos de estruturas tectônicas em FFs da região de estudo. (G) - Dobras centimétricas com charneira angulosa em minério de ferro compacto laminado, afloramento localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-105). (H) - Detalhe de dobras em caixa em FF (LC-105). (I) - Dobras com charneira angulosa em FF, afloramento localizado na escarpa sul do Platô da Água Boa (LC-95). (J) - Dobra apresentando charneira sinuosa em HD laminado (LC-95). (L) - Detalhe de micro-falha inversa em jaspilito, afloramento localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-103) (M) - Detalhe de *kink band* em FF (LC-105). 62

Figura 24 - Imagem fotointerpretada com os principais domínios estruturais da porção leste da Província Mineral de Carajás, base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005). Legenda: (Dom-I) Domínio Estrutural I, (Dom-II) Domínio Estrutural II e (Dom-III) Domínio Estrutural III, (a) Zona de Cisalhamento do Cinzento e (b) Zona de Cisalhamento de Carajás. 64

Figura 25 - Diagramas de roseta representando os fotolineamentos dos três domínios estruturais. 65

Figura 26 - Prancha de fotos de estruturas das regiões de Serra Leste (Domínio Estrutural - III) e Serra do Rabo (Domínio Estrutural I). (A) - Detalhe de acamamento em metasiltito, afloramento localizado no talude da cava do garimpo de Serra Pelada (LC-142). (B) - Seção aparente de dobra em metasiltito, identificada pelo traço do acamamento (LC-142). (C) - Relação angular entre o acamamento (So) e a foliação (Sn) em metasiltito, trata-se do flanco invertido de dobra métrica (LC-142). (D) - Detalhe do acamamento em metasiltito identificado pela variação composicional (LC-142). (E) - Detalhe de dobras parasíticas em forma de M com plano axial com vergência para norte, em afloramento de hematita compacta localizado na Serra do Rabo (LC-95). (F) - Detalhe de dobras parasíticas em forma de Z com plano axial com vergência para norte, em afloramento de hematita compacta localizado na Serra do Rabo (LC-95). 66

Figura 27 - Mapa geológico-estrutural da porção leste da Província Mineral de Carajás, com estruturas sinformal-antiformal interpretadas. 67

- Figura 28** - Prancha de fotos dos domínios estruturais. (A) - Domínio Estrutural II, veios de quartzo subparalelos a foliação principal (Sn) no Granito Estrela. (B) - Domínio Estrutural II, detalhe de veios de quartzo subparalelos a foliação principal no Granito Estrela. (C) - Domínio Estrutural II, veio de quartzo apresentando dobras ptigmáticas com traço plano-axial paralelo ao traço da foliação principal no Granito Estrela. (D) - Domínio Estrutural IIIb, afloramento de rocha máfica foliada (LC-115). (E) - Domínio Estrutural IIIa detalhe da rocha máfica xistificada, amostra de testemunho de sondagem (SL-F30-P183). (F) - Domínio Estrutural IIIb afloramento de magnetitito encaixado em rocha máfica alterada (LC-131). **68**
- Figura 29** - Desenho esquemático fora de escala exemplificando o processo de rotação dos eixos de dobras na região do Platô do Cristalino. O eixo de rotação é perpendicular à seção do desenho (NW-SE), as setas representam os eixos das dobras. **72**
- Figura 30** - Diagrama de classificação para anfibólios monoclinicos (Hawthorne 1981), 14 análises em amostra de FF (LC-04). **74**
- Figura 31** - Prancha de fotos e fotomicrografias de amostras de FFs contendo anfibólio, nas lâminas são indicados os campos onde foram realizadas as microanálises. Seqüência (A), (B) e (C): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de grunerita (LT e NP), amostra de FF LC-04 localizada próxima à borda nordeste do Granito Estrela. Seqüência (D), (E) e (F): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de hornblenda (LT e NP), amostra de FF LC-153 localizada próxima à borda leste do Granito Estrela. Seqüência (G), (H) e (I): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de hornblenda (LT e NP), amostra de FF LC-154 localizada próxima à borda leste do Granito Estrela. **75**
- Figura 32** - Prancha de fotos e fotomicrografias de amostras de rocha máfica hematitizada e FF brechada contendo clorita, nas lâminas são indicados os campos onde foram realizadas as microanálises. Seqüência (A), (B) e (C): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NP), amostra de rocha máfica hematitizada do depósito SL1 (SL1-F30-P183-A). Seqüência (D), (E) e (F): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NP), amostra de rocha máfica hematitizada do depósito SL1 (SL1-F62-P95). Seqüência (G), (H) e (I): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NC), amostra de FF brechada do Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88). **78**
- Figura 33** - Diagrama de classificação para cloritas oxidadas (Deer *et al.* 1972), 4 microanálises em amostra FF brechada do Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88) e 6 microanálises e amostras de rocha máfica hematitizada do depósito SL1 (SL1-F62-P95 e SL1-F30-P183-A). **79**
- Figura 34** - Prancha de fotomicrografias de anfibólios em FFs e anfibolitos. (A) - Fotomicrografia (LT e NP), textura geral de anfibolito (LC-164). (B) - Fotomicrografia (LR e NC), observar na porção inferior da fotomicrografia relictos de martita em porções ricas em anfibólios (LC-04). (C) - Fotomicrografia (LR e NC), relação textural entre anfibólio e óxido de ferro, a hematita preenche fraturas e planos de clivagem nos cristais de anfibólio (LC-154). (D) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de grãos de hornblenda em anfibolito (LC-164). (E) - Fotomicrografia (LT e NP), cristais de hornblenda e quartzo apresentando textura granoblástica em amostra de FF (LC-153). (F) - Fotomicrografia (LT e NC), cristais de hornblenda e quartzo apresentando textura granoblástica em amostra de FF (LC-153). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita, Hm - Hematita, Anf - anfibólio e Qzo - quartzo. **81**

- Figura 35** - Prancha de fotomicrografias de texturas envolvendo anfibólios e óxidos de ferro em FFs. (A) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 150 vezes, aspecto geral da textura em amostra de FF (LC-04). (B) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 500, detalhe da clivagem oblíqua em cristal de anfibólio (LC-04). (C) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 1.000 vezes, detalhe da clivagem oblíqua em cristal de anfibólio. (D) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 2.000 vezes, detalhe da clivagem em cristal de anfibólio. (E) - Imagem adquirida na ME por elétron retroespalhado, os tons de cinza claro representam óxidos de ferro, e os tons de cinza escuro representam anfibólios (LC-04). (F) - Imagem adquirida na ME por elétron retroespalhado, observar padrão linear dos óxidos de ferro preenchendo planos de clivagem em cristal de anfibólio (LC-04). **83**
- Figura 36** - Diagrama binário de classificação de rochas de SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Cox *et al.* 1979), com 3 amostras de rocha máfica do depósito SL1 em Serra Leste. **85**
- Figura 37** - Diagrama com distribuição de elementos traço (selecionados) normalizados em relação ao condrito (Taylor & McLennan 1985), para 3 amostras de rocha máfica (sem hematitização) do depósito SL1 em Serra Leste. **85**
- Figura 38** - Diagrama dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de rocha máfica do depósito SL1 em Serra Leste. **A** - 3 amostras de rocha máfica são sem nenhum tipo de alteração. **B** - 10 amostras de rocha máfica hematitizada. **86**
- Figura 39** - Diagrama ternário de classificação de basaltos em relação a ambientes tectônicos, levando em consideração as variáveis $\text{Zr}/4$, Nb^*2 e Y (Meschede 1986), para 3 amostras de rocha máfica do depósito SL1 em Serra Leste. **87**
- Figura 40** - Diagrama dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974) para amostras de anfibolito. A amostra LC-164 localiza-se na escarpa norte da Serra do Sereno, e a amostra LC-129 localiza-se na Serra do Rabo, nas proximidades da borda sudeste do Granito Estrela. **89**
- Figura 41** - Imagem da porção leste da Província Mineral de Carajás com localização das amostras de formação ferrífera, base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005). **90**
- Figura 42** - Diagramas bivariantes para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino (legenda comum aos dois diagramas). (A) - Diagrama bivariante SiO_2 versus $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ ($r = -0,95$). (B) - Diagrama bivariante TiO_2 versus Al_2O_3 . **92**
- Figura 43** - Diagramas com valores absolutos de elementos traço selecionados (Ba, Co, Zr, Y, Mo, Cu, Pb, Zn e Ni) em amostras de formação ferrífera da região de estudo. (A) - Sub-região de Serra Leste. (B) - Sub-região da Água Boa. (C) - Sub-região da Serra do Rabo. (D) - Sub-região do Cristalino. **95**
- Figura 44** - Diagrama *spider* com valores de elementos traço (selecionados) normalizados em relação ao condrito (Taylor & McLennan 1985), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino. **96**
- Figura 45** - Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste e Água Boa. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul, Dymek & Klein 1988). (A) e (B) sub-região de Serra Leste, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. (C) e (D) sub-região da Água Boa, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. **99**

- Figura 45** - (continuação) Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra do Rabo e Cristalino. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul claro, Dymek & Klein 1988). **(E)** e **(F)** sub-região da Serra do Rabo, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. **(G)** e **(H)** sub-região do Cristalino, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. **100**
- Figura 46** - Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1, localizado em Serra Leste. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul claro, Dymek & Klein 1988). **(A)** e **(B)** curva por amostra e comportamento geoquímico geral. **103**
- Figura 47** - Diagrama binário de $(Co + Cu + Ni)$ versus $(La + Ce + Nd + Sm + Eu + Tb + Yb + Lu)$, com o campo dos depósitos hidrotermais e sedimentos metalíferos de fundo oceânico (Dymek & Klein 1988), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino. **107**
- Figura 48** - Desenho esquemático fora de escala com o provável ambiente tectônico da bacia de sedimentação das FFs da unidade Rio Novo. A linha tracejada em vermelho delimita a provável região de sedimentação das FFs, sob influência das fontes hidrotermais vulcanogênicas próximas a cadeia meso-oceânica, cujo o eixo é representado pela linha contínua azul (modificado de Rey 2006). **111**
- Figura 49** - Síntese do modelo evolutivo da porção leste da Província Mineral de Carajás, modificado de Sardinha *et al.* (2006). **113**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos tipos de seções entre amostras de campo e amostras dos depósitos (SL1 e Cristalino), ao todo foram preparadas 63 seções. Legenda: SDP - Seção Delgada Polida, SD - Seção Delgada, SP - Seção Polida e Fm - Fotomicrografia.	3
Tabela 2 - Número de análises químicas por tipo de rocha. Legenda: FF - Formação Ferrífera, HD - Hematita Dura ou Compacta, Máfica Hma - Máfica Hematitizada.	3
Tabela 3 - Principais características das FFs dos tipos Algoma e Lago Superior, modificado de Trendall (1983).	11
Tabela 4 - Reservas de minério de ferro no ano de 2005 e produção mundial nos anos de 2004 e 2005. (1) Reservas medidas e indicadas, (e) Dados estimados, exceto Brasil (fonte: Gonçalves 2006).	19
Tabela 5 - Síntese geológica-geotectônica do Domínio Carajás (fonte: Santos 2003).	29
Tabela 6 - Síntese da descrição petrográfica das rochas vulcânicas máficas onde são informadas a textura geral da rocha e, na presença de óxidos de ferro, a forma predominante.	42
Tabela 7 - Síntese da descrição petrográfica das FFs, é informada a textura geral da rocha e a forma predominante dos óxidos de ferro.	52
Tabela 8 - Síntese da descrição petrográfica do minério de ferro (HD) do depósito SL1, é informada a textura geral da rocha e a forma predominante dos óxidos de ferro.	55
Tabela 9 - Estatística simples de 14 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-04 (ND - Não Detectado).	74
Tabela 10 - Número e distribuição dos campos de microanálises nas lâminas delgadas de FF.	74
Tabela 11 - Estatística simples de 30 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-153 (ND - Não Detectado).	76
Tabela 12 - Estatística simples de 37 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-154 (ND - Não Detectado).	76
Tabela 13 - Valores de 4 microanálises em cristais de clorita da amostra de FF brechada do Depósito Cristalino. Amostra CRIS-F196-P88 (ND - Não Detectado).	79
Tabela 14 - Valores de 6 microanálises em cristais de clorita em amostras de rocha máfica hematitizada do depósito SL1. Amostras: SL1-F62-P95 e SL1-F30-P183-A (ND - Não Detectado).	79
Tabela 15 - Valores dos óxidos maiores em amostras de rocha máfica (sem hematitização) do depósito SL1 em Serra Leste.	85
Tabela 16 - Valores dos óxidos maiores em amostras de rocha máfica hematitizada do depósito SL1 em Serra Leste.	87
Tabela 17 - Valores dos óxidos maiores em amostras de anfibólitos, localizada na escarpa norte da Serra do Sereno (LC-164) e próximo a borda sudeste do Granito Estrela (LC-129).	88

Tabela 18 - Valores dos óxidos maiores em amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.	93
Tabela 19 - Valores de FeT, FeO e Fe ₂ O ₃ para amostras selecionadas de FFs do Depósito Cristalino, Serra Leste e Serra do Rabo.	94
Tabela 20 - Valores de ETRs em amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.	98
Tabela 21 - Valores dos óxidos maiores em amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1 localizado em Serra Leste.	102
Tabela 22 - Valores de ETRs em amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1 localizado em Serra Leste.	103

LISTA DE ABREVIACOES

Abreviaoes Gerais

ADIMB - Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira
AMSA - Amazônia Minerao S/A
CMM - Companhia Meridional de Minerao
CPMTC - Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
CRIS - Depósito Cristalino (Cu-Au)
CVRD - Companhia Vale do Rio Doce
ETRLs - Elementos Terras Raras Leves
ETRPs - Elementos Terras Raras Pesados
ETRs - Elementos Terras Raras
FFs - Formao Ferrífera
HD - Hematita Dura ou Compacta
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Jp - Jaspilito
LR - Luz Refletida
LT - Luz Transmitida
Máfica Hma - Rocha Máfica Hematitizada
MDT - Modelo Digital de Terreno
ME - Microsonda Eletrônica
MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura
NC - Nicóis Cruzados
ND - Não Detectado
NP - Nicóis Paralelos
PF - Perda ao Fogo
PMC - Província Mineral de Carajás
SIG - Sistema de Informaoes Geográficas
SL - Depósito Serra Leste 1 (Fe)
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
USS - United States Steel
VMS - Volcanogenic Massive Sulfide ore deposits

Abreviação Mineral

Anf - Anfibólio
Cb - Carbonato
Clo - Clorita
Cpy - Calcopirita
Cu Nat. - Cobre Nativo
Ep - Epidoto
Goe - Goethita
Hm - Hematita
Ima - Ilmenita
Jp - Jaspe
Kmg - Kenomagnetita
Mg - Magnetita
Mt - Martita
Plg - Plagioclásio
Pro - Piroxênio
Pxo - Piroxênio
Qzo - Quartzo
Tc - Talco

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO E METAS

O objetivo principal do trabalho surgiu a partir de uma hipótese de pesquisa sobre a estruturação da Província Mineral de Carajás (PMC) proposta inicialmente por Rosière *et al.* (2005). A principal questão a ser investigada, é verificar se o modelo de estruturação e evolução geológica da porção central da província pode ser extrapolado para leste da mesma. Várias metas foram traçadas levando em consideração a necessidade de estudos de caracterização das seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da PMC envolvendo análise estrutural, petrografia e geoquímica. As etapas de investigação de campo, escritório e laboratório, tiveram como metas principais:

- Amostragem de campo com maior detalhamento nas formações ferríferas (FFs) distribuídas em Serra Leste, entorno do Granito Estrela e Serra do Rabo;
- Caracterização mineralógica-petrográfica das seqüências metavulcanossedimentares e áreas adjacentes;
- Geoquímica dos elementos maiores, traços e terras raras (ETRs) com ênfase nas FFs;
- Levantamento, análise e interpretação de dados estruturais;
- Elaboração de um mapa geológico da área de estudo, com inserção da região no contexto da PMC;
- Avaliação acerca da influência das estruturas na mineralização de ferro no depósito SL1 em Serra Leste.

1.2 TRABALHOS DESENVOLVIDOS

Etapa de Campo

O autor realizou duas campanhas de campo na PMC totalizando 59 dias, a primeira no período de 18 de maio a 07 de junho de 2005 com os seguintes objetivos: reconhecimento regional, mapeamento geológico e amostragem; e a segunda no período de 16 de janeiro a 22 de fevereiro de 2006 com os objetivos de identificar/analisar estruturas e complementar a amostragem.

Ao todo foram 194 estações de campo (Anexo III) descritas e documentadas em 835 fotos e percorridos aproximadamente 5.000 km com veículo 4X4. As estações de campo foram localizadas com GPS Garmin modelo Etrex Venture utilizando o datum WGS84. Foram amostrados e descritos furos de sondagem dos depósitos SL1 localizado na região de Serra Leste e Depósito Cristalino, na região da Serra do Rabo. A descrição macroscópica de amostras de campo e furos de sondagem ressaltou aspectos como cor, textura e classificação preliminar mesoscópica.

Etapas de Escritório

O trabalho de escritório incluiu levantamento bibliográfico (impresso e digital) e geração de banco de dados sistemático sobre a PMC e FFs, totalizando aproximadamente 155 referências. Os trabalhos sobre a PMC enfatizam os temas geologia regional e geologia econômica, já os trabalhos sobre FFs no geral abordam a gênese das mesmas no Brasil e no mundo, assim como as características geoquímicas.

Durante a etapa de escritório criou-se um banco de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG) contendo dados na forma de vetores (*e.g.* pontos de campo, estruturas, logística) e *rasters* (imagens de satélite e radar). O SIG foi uma ferramenta útil para planejar as campanhas de campo e analisar/interpretar dados espaciais. As imagens utilizadas da área de estudo foram o Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução de 90 m (radar) e a imagem de satélite Landsat denominada Short-Wavelength Infrared (SWIR), composição das bandas 7, 4 e 2 (RGB) com resolução espacial de 28,5 m. Ambas as imagens foram adquiridas em Global Land Cover Facility (GLCF 2005).

Para o processamento dos dados estruturais (*e.g.* acamamento, lineamento) os seguintes programas foram utilizados: os estereogramas e diagramas de roseta foram elaborados nos programas StereoNett V2.46 e Dips V5.00, respectivamente, a análise de fotolineamento foi realizada no programa PhotoLin, desenvolvido e descrito por Costa & Starkey (2001). O programa PhotoLin identifica a direção de lineamentos com comprimento superior a sete *pixels* na imagem a ser processada, e se mostrou bastante eficaz na análise dos domínios estruturais.

O trabalho envolveu a descrição petrográfica em escalas mesoscópica e microscópica de 63 amostras. As seções foram distribuídas entre amostras de campo e amostras dos depósitos SL1 (Serra Leste) e Cristalino (Serra do Rabo), ver Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos tipos de seções entre amostras de campo e amostras dos depósitos (SL1 e Cristalino), ao todo foram preparadas 63 seções. Legenda: SDP - Seção Delgada Polida, SD - Seção Delgada, SP - Seção Polida e Fm - Fotomicrografia.

Seção/ Amostra	SDP	SD	SP	Total	Fm
Campo	16	8	4	28	122
SL1	17	-	6	23	215
Cristalino	12	-	-	12	66

As seções foram preparadas no laboratório do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC). Quando necessário as amostras de FFs e minério de ferro foram impregnadas com resina antes de serem cortadas e polidas. O estudo petrográfico foi realizado utilizando microscópios de luz transmitida e refletida das marcas LEICA e Zeiss, com ocular de 10X e objetivas de 2,5X, 5X, 10X, 20X e 50X. A análise petrográfica destacou aspectos texturais e composicionais de amostras de FF, minério de ferro, rocha máfica, anfibolito e granitóides, ao todo foram realizadas 403 fotomicrografias em câmara digital e analógica. Uma tabela com a síntese da descrição petrográfica encontra-se no Anexo V.1.

Etapa de Laboratório

Análise Química de Rocha - a preparação e análise química de 45 amostras (Tabela 2) foram realizadas no laboratório comercial ACME. Os óxidos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 e Sc) juntamente com o scândio foram analisados por ICP, os ETRs (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), refratários (Ba, Be, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y) e metais base (Co, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se, Ni, Sc) foram analisados por ICP-MS. Todos os elementos analisados por ICP e ICP-MS foram decompostos por fusão com metaborato de lítio e digestão com HNO_3 ; os metais base ainda foram digeridos com água régia. Os elementos C e S foram analisados por Leco; também foi informado o parâmetro de Perda ao Fogo (PF). Na análise dos óxidos maiores, o Fe total é informado como $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$. Os limites de detecção das análises assim como todos os valores de geoquímica de rocha encontram-se nos anexos V.2 e V.3

Tabela 2 - Número de análises químicas por tipo de rocha. Legenda: FF - Formação Ferrífera, HD - Hematita Dura ou Compacta, Máfica Hma - Máfica Hematizada.

ROCHA	FF	HD	Máfica	Máfica Hma	Anfibolito	Total
Nº de análises	23	7	3	10	2	45

A análise de FeO de 12 FFs, 3 HDs e 1 rocha máfica hematitizada foi realizada no Instituto de Geociências da USP, por método clássico de análise titrimétrica com $K_2Cr_2O_7$. Para utilizar esse método os teores de porcentagem em peso (% peso) de sulfeto e manganês devem ser menores que 0,1 % e o de matéria orgânica menor que 0,5 %. Os procedimentos analíticos são descritos detalhadamente por Andrade *et al.* (2002).

Microsonda Eletrônica e MEV - a análise química mineral de 6 amostras previamente preparadas foi realizada em microsonda eletrônica JEOL modelo JXA 8900RL no Laboratório de Microscopia e Microanálise do Departamento de Física da UFMG pelo técnico Willian Tito Soares, as condições de operação foram: tensão 15 Kv, corrente 20 nA e diâmetro do feixe 1 μ m. Foram analisadas a composição química de anfibólios em FFs e anfibolitos, e de cloritas em rocha máfica hematitizada; todos os valores de química mineral encontram-se no Anexo V.4. Análise qualitativa de carbonato em venulações foi obtida por Espectrometria de Dispersão de Energia (EDS); também foram obtidas imagens por elétrons retroespalhados de anfibólios e hematitas. Foram capturadas imagens em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de diversas texturas de rocha e hábitos de óxidos de ferro.

Os diagramas geoquímicos foram elaborados no programa Minpet, Mineralogical and Petrological Data Processing System versão 2.02, de autoria de Linda R. Richard. Para melhor compreensão dos métodos analíticos foi feita uma breve revisão com base em texto de Sial e McReath (1984); essa compilação encontra-se no Anexo IV.

Comentários Gerais e Termos Utilizados

Como última etapa de trabalho, os dados de mapeamento, petrografia e geoquímica foram integrados e interpretados. O volume final da dissertação foi elaborado em 6 capítulos. O capítulo 2 versa sobre o tema Formações Ferríferas Precambrianas. É uma breve síntese sobre o assunto e aborda temas relevantes para o desenvolvimento da dissertação e não tem como objetivo fazer uma extensa revisão bibliográfica.

No decorrer do texto os pontos geológicos são mencionados como, por exemplo, LC-04 referente à estação de campo 04 (Leandro Carajás). Duas identificações são utilizadas para as amostras de furo de sondagem, uma para controle do autor, por exemplo, ALC18 e a outra com a localização completa da amostra, onde consta o nome do depósito, o número do furo e a profundidade da amostra, por exemplo, SL-F30-P184 se refere ao depósito SL1, furo 30 e profundidade de 184 m. A localização geográfica em coordenadas UTM dos furos de sondagem do depósito SL1 encontra-se no Anexo V.5.

O termo foliação é utilizado no trabalho como definido por Hobbs *et al.* (1976). Foliação é um termo não genético, geral, que abrange todas as superfícies encontradas em rochas deformadas como, por exemplo, clivagem espaçada e clivagem penetrativa. Para a descrição de estruturas planares de origem secundária, registradas pela orientação regular de minerais placóides, utiliza-se o termo xistosidade.

O termo laminação é utilizado nas FFs para descrever a alternância de lâminas com espessura igual ou inferior a 1 mm, paralelas e geralmente sub-horizontais, distintas entre si por variação composicional e/ou granulométrica. O termo bandamento é utilizado nas FFs para descrever lâminas com espessura superior a 1 mm.

1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo situa-se na região sudeste do estado do Pará, na porção nordeste da folha Serra dos Carajás (SB.22-Z-A) e sudeste da folha MIR-171, ambas na escala 1:250.000 (IBGE). Abrange parte dos municípios de Parauapebas, Marabá, Curionópolis, Canaã dos Carajás e Eldorado dos Carajás, perfazendo uma superfície de aproximadamente 4.000 km². Geologicamente a área se insere na porção leste da PMC, localizada na região leste-sudeste do Cráton Amazônico, no Escudo Guaporé ou Brasil-Central. Levando em consideração a classificação geocronológica proposta por Santos (2003), a região se insere na Província Carajás (Domínio Carajás). As unidades geotectônicas e geocronológicas são definidas no tópico 3.2 Arcabouço Geotectônico e Limites.

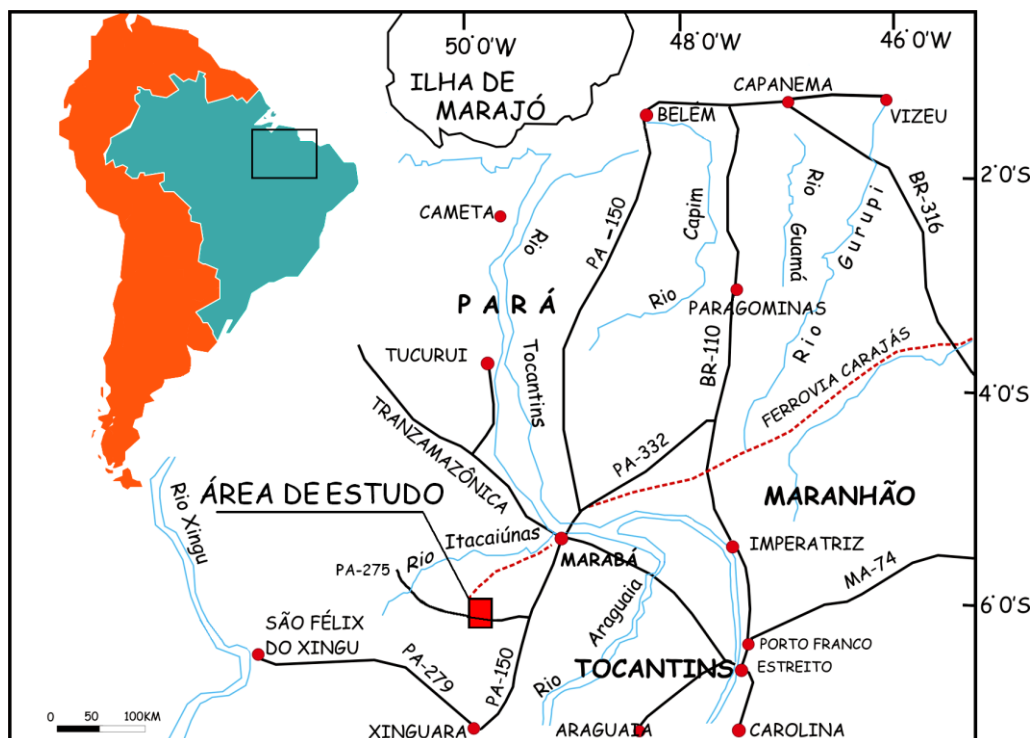


Figura 1 - Mapa esquemático com localização e acesso à área de estudo identificada pelo retângulo hachurado em vermelho.

O acesso à área pode ser feito através de vias aérea, rodoviária ou férrea. O acesso aéreo é feito a partir de Belém ou Belo Horizonte até a Serra dos Carajás por vôos regulares. O acesso rodoviário a partir de Belém é feito pela PA-150 e PA-275 até a Serra dos Carajás, totalizando um percurso de aproximadamente 800 km (Figura 1). Um outro acesso possível é pela ferrovia instalada pela Companhia Vale do Rio Doce, que liga o depósito N4E ao Porto de Itaqui em São Luiz (MA), numa extensão de 887 km. Várias quedas d'água inviabilizam o acesso fluvial que poderia ser feito a partir de Marabá pelos rios Tocantins, Itacaiúnas, Vermelho e Parauapebas.

1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A folha Serra dos Carajás (escala 1:250.000) está inserida numa área de clima tropical-úmido de monção (classificação de Köpen Am). A região apresenta temperatura média anual mínima entre 10 e 26 °C e máxima entre 25 e 35°C, com umidade relativa média de 85%. No geral, os meses de junho a setembro são os mais secos.

A região de estudo é drenada pela bacia hidrográfica do rio Parauapebas. O rio Itacaiúnas é tributário da margem oeste do rio Tocantins e, por sua vez, o rio Parauapebas é tributário da margem leste do rio Itacaiúnas. O rio Parauapebas apresenta direção aproximada norte-sul, ocorrendo ao longo do curso cachoeiras e corredeiras, seus principais afluentes são os igarapés Canastrão e Sossego, na margem oeste, e o rio Plaquê, na margem leste.

Na região onde afloram seqüências metavulcanossedimentares ocorre latossolo, principalmente associado às rochas máficas. O latossolo é caracterizado por apresentar perfis profundos, friáveis, porosos e permeáveis (Araújo & Maia 1991).

1.5 GEOMORFOLOGIA

As características geomorfológicas da região são importantes para a análise das estruturas regionais, e auxiliam na seleção de alvos para mapeamento e levantamento estrutural. Os relevos podem ser agrupados em dois conjuntos principais (Figuras 2 e 3):

Relevo de Serras - caracterizado por cotas superiores a 200 m com amplitude média de 300 m, associado às seqüências metavulcanossedimentares, principalmente às FFs e cangas, localmente controlado por falhas e zonas de cisalhamento de direção geral NW-SE (*e.g.* sistema de falhas Carajás e Cinzento). Constituem destaque topográfico as serras do Rabo, Leste, Norte e Sul (Figura 4), e o Platô da Água Boa. A declividade das escarpas é predominantemente alta (20 %), e localmente média (9-20 %) no sopé. O perfil das vertentes é retilíneo, no geral apresentando formato côncavo ou convexo.



Figura 2 - Imagem panorâmica aérea com visada para nordeste e exagero vertical de 3 vezes, com a localização do Platô da Água Boa na porção inferior-esquerda e da Serra do Rabo na porção superior-direita. A linha tracejada em amarelo separa o relevo colinoso do relevo de serras. Observar cangas em coloração marrom compoendo a região de platô (fonte: Google Earth 2007).

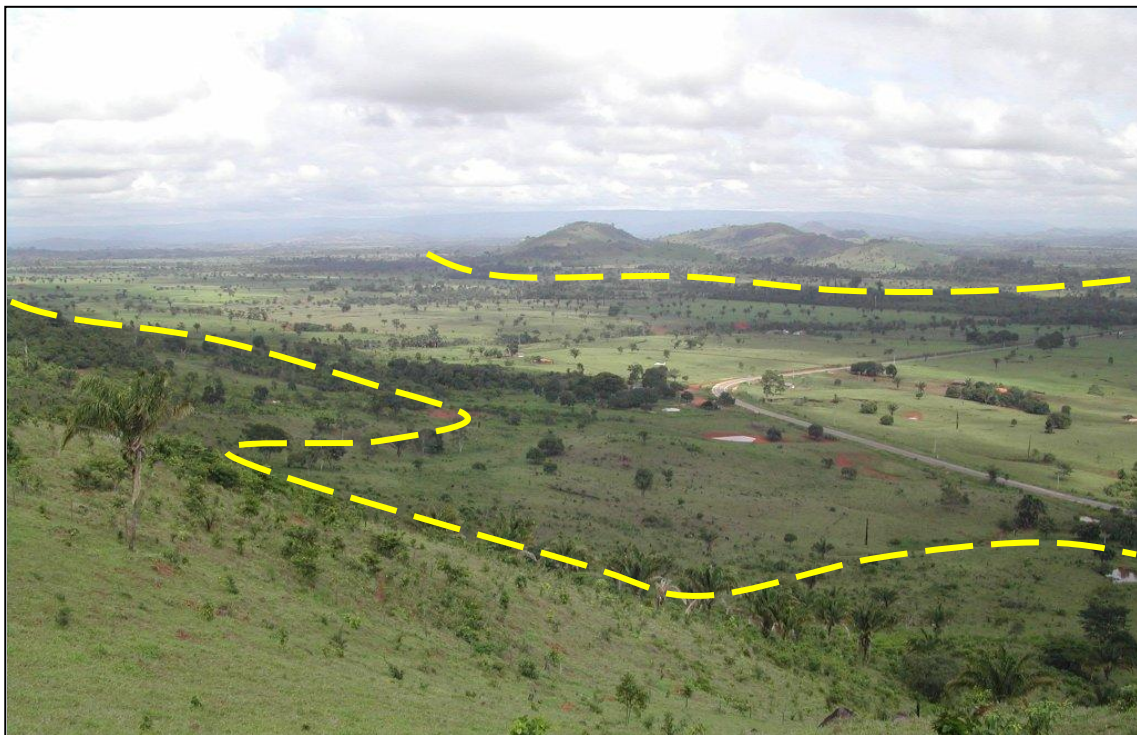
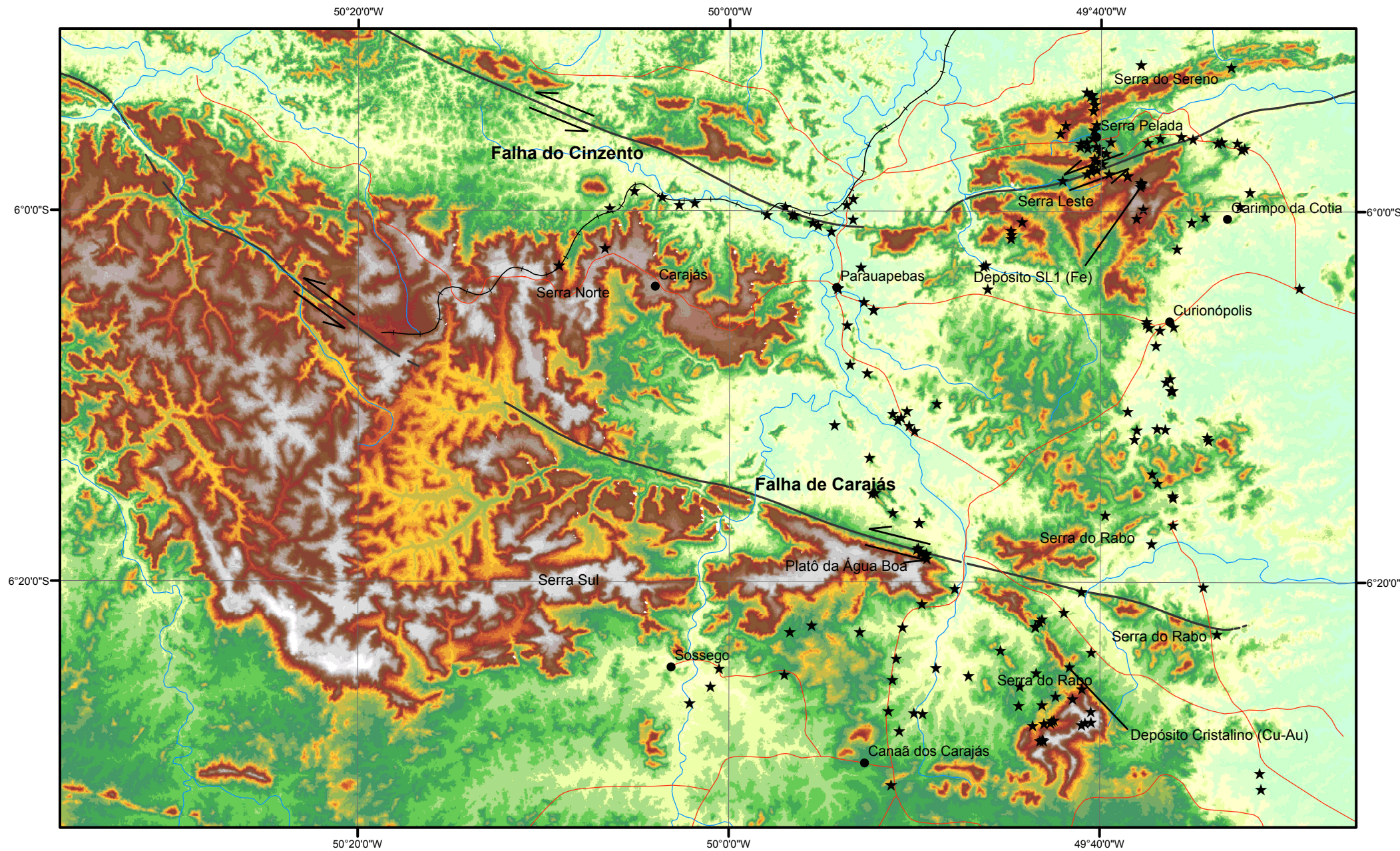
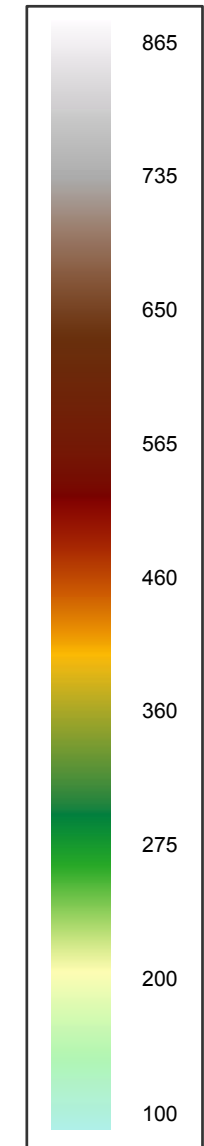


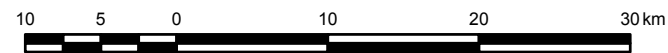
Figura 3 - Imagem panorâmica com visada para nordeste, na porção inferior-esquerda está localizada a meia-encosta da escarpa norte do Platô da Água Boa, na porção superior direita está localizado um morrote sustentado por seqüência metavulcanossedimentar, localizada próximo à borda sudoeste do Granito Estrela. A linha tracejada em amarelo separa o relevo colinoso representado pelas baixadas planas, do relevo de serras.

Legenda

Escala hipsométrica (m)



ESCALA 1:500.000



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM HORIZONTAL: WGS84
 Origem das coordenadas: Equador e meridiano Gr.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS E GEOLÓGICAS

- Localidade
- Estrada
- Drenagem
- Ferrovias
- ★ Ponto geológico
- ≡≡≡ Falha transcorrente sinistral

TÍTULO: Mapa hipsométrico da Província Mineral de Carajás - PA
 ESCALA: 1 : 500.000
 AUTOR: Leandro Prado Costa
 FINANCIAMENTO: ADIMB, CNPq e FAPEMIG
 APOIO: CVRD, CPMTc e Roots Rock

Figura 4 - Mapa hipsométrico da Província Mineral de Carajás com a distribuição dos pontos de campo, a área de estudo compreende a região a leste do paralelo 50°W no mapa. Escala hipsométrica dividida em 32 classes de acordo com variações abruptas no relevo, base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005).

Os topos são aplainados, eventualmente arredondados tendendo a angulares (*e.g.* Serras do Rabo e Serra Leste). Predomina o padrão de drenagem dentrítico, localmente apresentando forte controle estrutural, é comum a presença de ravinamento nas encostas formando vales fechados em forma de V.

Relevo colinoso - caracterizado por cotas com valores em torno de 200 m, com valores máximos e mínimos de 300 m e 170 m respectivamente. No geral o relevo é aplainado com declividade baixa, eventualmente apresenta algum pico topográfico, é associado ao Complexo Xingu, Granito Estrela, Suíte Plaquê e granitos anorogênicos. O perfil das vertentes é retilíneo com vales abertos em forma de U, o padrão de drenagem dominante é dentrítico, com planícies aluvionares localizadas ao longo do rio Parauapebas.

1.6 DADOS GERAIS

Na década de 70 a estrutura econômica da região teve um grande impulso com a construção de uma rodovia ligando o município de Marabá à rodovia Belém-Brasília, e com a implantação de projetos de exploração mineral no distrito de Carajás. Outras obras de importante aspecto sócio-econômico foram a construção da Hidroelétrica de Tucuruí, com geração de energia a baixo custo, e a construção da Ferrovia Carajás para escoamento da produção de minério de ferro.

A indústria mineral paraense representa uma real e significativa contribuição para a economia estadual, resultado dos grandes investimentos em exploração mineral. O histórico dos indicadores econômicos registram um economia fortemente vinculada a mineração, com destaque para a participação do setor mineral no PIB, na receita tributária e na pauta de exportações. Nesse contexto é altamente significativa a participação da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) direta ou indiretamente através de empresas terceirizadas, em atividades exploratória e na produção e comercialização de ferro, manganês, ouro, bauxita e caulim como bens primários e alumina e alumínio como produtos da transformação mineral.

Atualmente os centros socioeconômicos mais importantes são: Curionópolis, Parauapebas e o Núcleo Habitacional de Carajás, todos localizados ao longo da rodovia PA-275. Curionópolis e Parauapebas possuem agências bancárias, correios, hospitais, telefone, rede de energia elétrica, hotéis e pousadas. O Núcleo Habitacional de Carajás, localizado na Serra Norte, pertence à CVRD e serve principalmente aos seus funcionários. Possui um aeroporto capacitado para receber aeronaves de grande porte, agência bancária, escolas de primeiro e segundo graus, hospital, agência dos Correios, telefone, energia elétrica e dois hotéis.

CAPÍTULO 2

FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRECAMBRIANAS

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÕES

A definição de FF adotada neste trabalho segue o conceito de James (1954). Formação Ferrífera (*Iron Formation*) é uma rocha sedimentar química, tipicamente bandada e/ou laminada, contendo quantidade igual ou superior a 15% de ferro e, comumente, mas não obrigatoriamente contendo camadas de chert.

No geral, as classificações para as FFs levam em consideração aspectos como mineralogia, textura, estrutura, idade e rochas associadas. James (1954) Estudando as FFs precambrianas na região de Lago Superior - EUA, propôs uma divisão considerada clássica na literatura, publicada em artigo do periódico *Economic Geology*, intitulado *Sedimentary Facies of Iron-Formation*. Nesse artigo James divide as FFs nas fácies óxido, sulfeto, carbonato e silicato, propondo um modelo genético que prediz a localização das fácies sedimentares no ambiente marinho, levando em consideração principalmente o potencial de oxi-redução do ambiente sedimentar.

A idéia central do modelo de fácies proposto por James para as FFs é bastante simples. Com base em experimentos físico-químicos, é possível construir diagramas de precipitação bivariantes (Eh e pH) com os campos de estabilidade dos minerais hematita, siderita e pirita, e por analogia, esses campos representariam de forma simplificada os ambientes marinhos de plataforma, talude e zona abissal próxima a centros exalativos, respectivamente. Embora os experimentos de James pudessem ser reproduzidos em laboratório, vários autores questionaram a inexistência de fatos suficientes para a aplicação do modelo na natureza. Trendall (1983) defendeu a utilização das “fácies de James” como termo de conotação descritiva, e não genética.

Também é muito difundida a classificação de Gross (1973), que leva em consideração as características geológicas-geotectônicas das seqüências que hospedam as FFs, o autor divide as FFs em dois tipos principais Lago Superior e Algoma descritos sucintamente a seguir e sintetizados na tabela 3.

As FFs do tipo Lago Superior são sedimentos químicos tipicamente bandados e/ou laminados. O bandamento é identificado pela alternância de estratos de óxidos de ferro intercaladas com estratos de quartzo (chert), carbonato ou sulfeto. Constituem extensas unidades geológicas, precipitadas principalmente durante o Paleoproterozoico em margens cratônicas, nas plataformas continentais marinhas (Figura 5) e em bacias rasas do tipo *rift*, são tipicamente associadas a sedimentos com boa maturidade e sedimentos químicos, como quartzo arenito, dolomito, folhelho

negro e argilito, eventualmente as FFs do tipo Lago Superior podem ocorrer interdigitadas com estratos tufáceos e rochas vulcânicas (Gross 1996).

As FFs do tipo Algoma apresentam bandamento e/ou laminação identificado pela alternância de camadas de jaspe (chert impregnado com hematita microcristalina) ou quartzo, e camadas ricas em minerais de ferro, como magnetita, hematita, pirita, pirrotita, carbonatos e silicatos de Fe. As FFs do tipo Algoma são encontradas comumente em *greenstone belts* de idade arqueana, no registro geológico ocorrem associadas a seqüência depositadas em ambiente marinho limitado por arco vulcânico de ilhas, em centros exalativos próximo a cadeia meso-oceânica na zona abissal e também em zonas extensionais ao longo de fraturas (Figura 5). A FFs do tipo Algoma geralmente ocorrem associadas a grauvacas, turbiditos, sedimentos metalíferos, depósitos do tipo VMS (Gross 1996).

Os equema de classificação de Gross também divide as FFs em um grupo menor denominado Rapitan. As FFs do tipo Rapitan são associadas a sedimentos glaciais como diamictito, conglomerado, grauvacas, arenito e argilito incluindo *dropstones*. As FFs são encontradas em seqüências do Proterozóico superior e Paleozóico inferior, depositadas em bacias do tipo *rift*.

Tabela 3 - Principais características das FFs dos tipos Algoma e Lago Superior, modificado de Trendall (1983).

	Tipo Algoma	Tipo Lago Superior
Idade	Anterior a 2.600 Ma	Anterior a 1.800 Ma
Ambiente	Vulcanogênico, próximo a cadeias meso-oceânicas na zona abissal	Bacias plataformais extensas e intra-cratônicas restritas
Extensão	Corpos lenticulares de escalas métricas a quilométricas	Corpos extensos e contínuos de escala quilométrica
Localização na seqüência sedimentar	Corpos sobrepostos a rochas arqueanas do embasamento (geometria <i>dome and keel</i>)	Em seqüências sedimentares transgressivas
Rochas associadas	Grauvacas, folhelhos, <i>pillow lavas</i> , vulcânicas máficas, andesitos	Rochas sedimentares clásticas e químicas
Vulcanismo	Associação temporal e espacial	Sem associação direta
Exemplos	Brasil - Supergrupo Rio das Velhas Austrália - Blocos de Yilgarn e Pilbara Índia - Sul de Mysore EUA - Distrito de Vermilion, Minnesota	Brasil - Supergrupo Minas Austrália - Grupo Hammersley Índia - Bihar, Orissa, Goa EUA - Região do Lago Superior

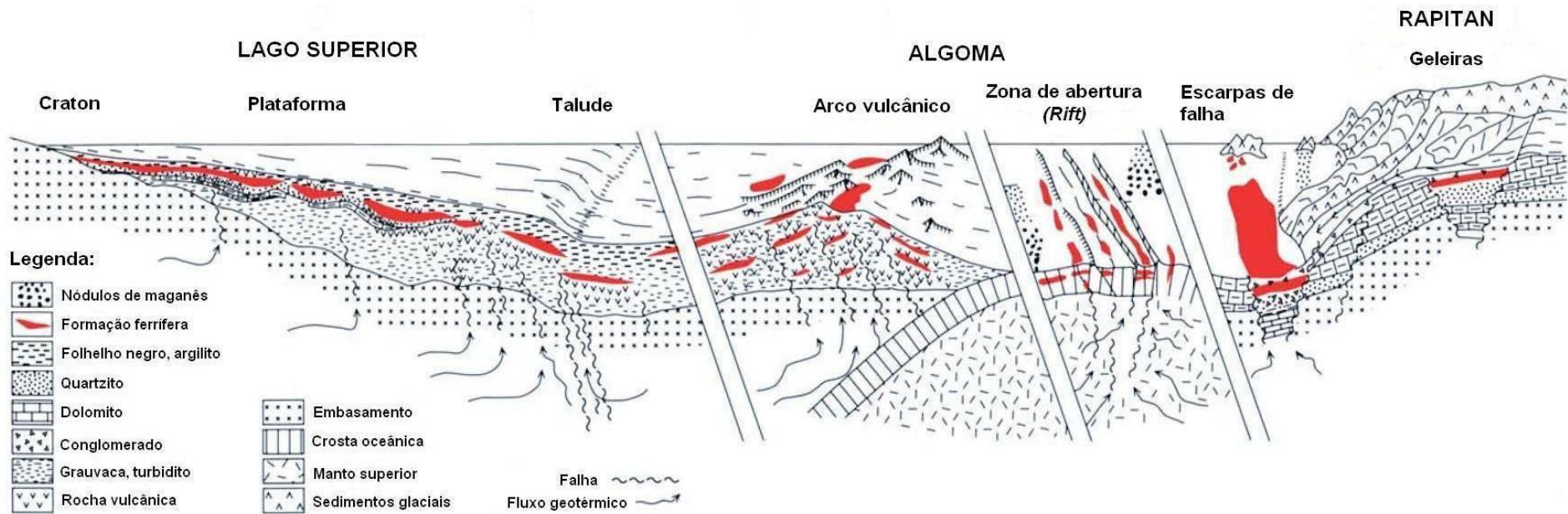


Figura 5 - Classificação de Gross (1973) para as FFs e os ambientes tectônicos associados, desenho esquemático modificado de Gross (1996).

2.2 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL

Segundo James (1983) o número de ocorrências de FFs conhecidas certamente é da ordem de milhares, já aquelas que foram investigadas em detalhe devido ao seu potencial econômico são algumas centenas. As FFs ocorrem em várias eras geológicas, desde 3,8 Ga (Isua, Groenlândia) ao Devoniano (Altai, Rússia). Estimativas do volume inicial das FFs estão sujeitas a incertezas, salvo raras exceções, onde a bacia de deposição preservou suas características primárias. No geral fatores como erosão e magnitude da deformação dificultam boas estimativas do volume inicial de FF precipitadas.

Segundo este autor 90% das FFs pré-cambrianas estão restritas a um período anterior a 1,8 Ga, e a maior parte dos grandes depósitos de ferro formou-se em duas épocas distintas, quais sejam, 2,8 Ga e entre 2,0-2,2 Ga. Já Gole & Klein (1981) acreditam que a deposição das FFs foi contínua e crescente, no intervalo de 3,7 até 1,8 Ga, de maneira similar ao diagrama da Figura 6, onde foram destacadas a posição das FFs pertencentes ao Grupo Itabira e Formação Carajás.

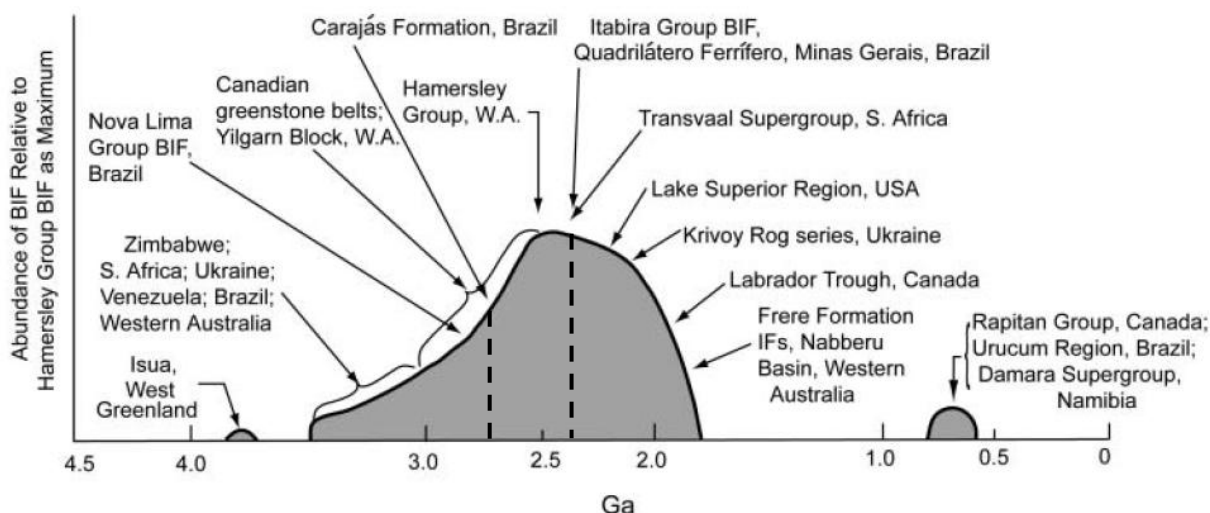


Figura 6 - Diagrama esquemático mostrando o volume relativo das principais FFs do mundo em relação ao tempo, destacando em linha tracejada a posição das formações ferríferas pertencentes ao Grupo Itabira e Formação Carajás, modificado de Klein (2005).

Ainda não é possível se tirar grandes conclusões sobre o significado das variações na taxa de deposição das FFs com relação ao tempo (dV/dt , onde V = volume de FF e t = idade geológica), provavelmente porque esta resposta está relacionada à origem das FFs, ou simplesmente porque o registro geológico das formações é descontínuo, principalmente no Arqueano. O problema ainda permanece em aberto, mas de acordo com James (1983) algumas especulações podem ser feitas:

(1) Durante o Arqueano e Proterozóico, os oceanos estavam em equilíbrio com uma atmosfera fracamente oxigenada, constituindo assim um excelente reservatório para ferro dissolvido (Fe^{2+}) e sílica, derivados de fontes vulcânicas marinhas e continentais intempéricas.

(2) O Arqueano superior foi uma era marcada por processos de orogenia, seguido por um longo período de relativa estabilidade crustal, originando terrenos aplainados, conseqüentemente diminuindo a intensidade do ciclo de erosão e deposição clástica nas bacias.

(3) Durante o Proterozóico inferior, os terrenos cratonizados foram submetidos a processos de tectônica extensional e soergimento, com o desenvolvimento de bacias intracratônicas e de margem passiva.

(4) Transgressões marinhas sucessivas com aporte de nutrientes vindos de águas oceânicas profundas, podem ter sido o início de uma série de eventos incluindo o rápido crescimento e evolução da biota, provável produtora de oxigênio. A precipitação de ferro e sílica foi induzida em parte pela grande disponibilidade de oxigênio (incluído o oxigênio gerado localmente por fotossíntese) e em parte pelo aumento da concentração de ferro e sílica por evaporação da água do mar, ou ainda pela precipitação direta por processos biológicos. Em lâminas de água rasas, (*e.g.* ambiente plataformal), fácies oxidadas seriam depositadas, enquanto em águas profundas em regiões restritas, existiriam condições mais favoráveis para a deposição das fácies silicato, carbonato e sulfeto, onde nenhuma destas requer excesso de oxigênio. Em resumo, os processos dominantes na precipitação de ferro dependeram fortemente das condições locais.

(5) O processo de transferência de sílica e ferro dissolvido, pelo aporte de águas profundas, para precipitar em bacias relativamente oxigenadas é irreversível e controlado pelas características de deposição de cada bacia, ou em último caso pelo fim do aporte de ferro nos oceanos. Em síntese, a existência de regiões apropriadas para o aporte/transferência e precipitação de ferro não significa apenas a busca de um equilíbrio químico entre águas profundas e a atmosfera, mas a necessidade de se conhecer o processo responsável por mudanças na composição da atmosfera da terra, como mecanismo motriz do processo.

Segundo Isley (1995) as condições tectônicas e/ou ambientais particularmente apropriadas para deposição das FFs ocorreram entre 2,3 e 2,4 Ga. A distribuição da FFs estaria limitada ao período em que a atmosfera da Terra era não-oxidante (anterior a 1,8 Ga). Em uma atmosfera pobre em oxigênio, o ferro permaneceria em solução, precipitando somente em condições especiais, ocorrendo em regiões calmas e amplas. Provavelmente é correto associar a deposição de grandes volumes de FFs no Proterozóico Inferior, concomitante ao crescente nível de oxigênio nos ambientes marinhos.

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Muitos autores sugerem homogeneidade composicional entre as FFs de diferentes regiões do mundo. Segundo Davy (1983) é preciso levar em consideração as dificuldades que envolvem a amostragem dessas rochas, que apresentam heterogeneidades em escalas micro e mesoscópica. Vários fatores devem ser levados em consideração durante a comparação entre FFs de diferentes regiões, como por exemplo grau de oxidação, metamorfismo, provável ambiente deposicional, intemperismo e principalmente se a análise química foi realizada em uma banda individual da FF ou se representa a mistura de várias.

Do ponto de vista composicional as FFs são caracterizadas por apresentarem elevados teores de Fe como Fe_2O_3 e/ou FeO (20 a 40 %) e SiO_2 (34 e 56 %), e teores menores de CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O e P_2O_5 (Klein 2005). No geral teores elevados de CaO , MgO e MnO refletem a presença da carbonato (*e.g.* siderita, ankerita, dolomita e calcita) na FF, já valores elevados de Al_2O_3 , Na_2O e K_2O sugerem a existência de silicatos (*e.g.* riebeckita, greenalita e stilpnomelano). Na literatura teores elevados de Al_2O_3 são interpretados como resultado de contribuição clástica nas bacias de deposição (*e.g.* Klein 2005).

De acordo com Davy (1983) o estudo dos elementos traço nas FFs encontra-se em um estágio mais primitivo quando comparado aos outros grupos, por ainda não existirem dados suficientes. De qualquer forma os elementos traço podem registrar uma assinatura geoquímica mais específica sobre as FFs, resultado do maior número de elementos a serem investigados no seu comportamento geoquímico. Grenne e Slack (2005) estudando camadas de jaspe em ofiolito (*Lokken*) de idade arqueana na Noruega, chegaram à conclusão que razões elevadas de As/Fe e Sb/Fe podem ser associadas a regiões próximas a fumarolas.

O estudo dos ETRs tem se mostrado uma ferramenta importante para interpretação de processos geológicos, principalmente aqueles que envolvem variação no estado de oxi-redução. Todos os ETRs apresentam estado de valência 3+ com exceção do Eu e Ce que também podem apresentar o estado 2+ e 4+ respectivamente. Portanto a partir do comportamento geoquímico dos ETRs é possível inferir condições de oxi-redução para a precipitação das FFs.

No geral as FFs precambrianas apresentam conteúdo total de ETRs (somatório) baixo. De acordo com os dados de Fryer (1983), em relação ao condrito médio as FFs arqueanas apresentam enriquecimento geral do ETRs de aproximadamente 3 vezes, e as proterozóicas variando entre 5 e 50 vezes, para ambas idades os ETRs são enriquecidos em relação aos pesados. As FFs arqueanas são caracterizadas por uma anomalia positiva de Eu, já para as FFs proterozóicas a anomalia de Eu tende a desaparecer, e anomalias positivas e negativas de Ce são características (*e.g.* Fryer 1983).

Nos ambientes marinhos modernos os ETRs apresentam baixa solubilidade e mobilidade, conseqüentemente a composição da água do mar reflete o aporte dos elementos nos oceanos, resultando em concentrações heterogêneas (Fryer 1983).

Piper (1974) sintetiza as principais características, da distribuição do ETRs no ciclo sedimentar moderno:

- (1) A concentração de ETRs nos oceanos é extremamente baixa, medida geralmente em parte por trilhão (1×10^{-12} g/g);
- (2) Nos oceanos modernos o elemento Ce é oxidado para o estado de valência 4+, tornando-se insolúvel e rapidamente incorporado aos sedimentos de fundo oceânico, principalmente em nódulos de manganês;
- (3) O elemento Eu ocorre normalmente em seu maior estado de oxidação (3+) e, aparentemente, não sofre mudanças no seu estado de valência, durante o intemperismo e sedimentação;
- (4) Os minerais autigênicos são bons indicadores do comportamento geoquímico da água responsável pela sedimentação, principalmente em relação à concentração dos elementos Ce e Eu;
- (5) Os ETRPs formam complexos que permanecem livres na água do mar, os ETRLs, por outro lado, entram na composição (por adsorção) de partículas sólidas e precipitam junto com os sedimentos marinhos.

Atualmente os sedimentos químicos que estão sendo depositados nas proximidades das cadeias meso-oceânicas (*e.g.* depósitos de Fe-Mn) refletem o empobrecimento relativo dos elementos Eu e Ce. De acordo com Fryer (1983), os sedimentos químicos são os melhores para se traçar mudanças no comportamento dos ETRs ao longo do tempo, particularmente as FFs, devido a sua larga distribuição espacial e temporal.

2.4 ORIGEM DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS

As FFs são constituídas por minerais formados durante a diagênese e metamorfismo, o que resulta em um elevado grau de incertezas sobre as condições de precipitação dos minerais primários, diversas inferências têm sido feitas sobre a composição da água na qual estes minerais foram precipitados, e principalmente sobre os processos que desencadearam a precipitação. No geral são apontados processos fisico-químicos e/ou bioquímicos.

Diferentes teorias vêm sendo propostas para a origem das FFs provavelmente pela complexidade do problema, por não existirem exemplos modernos de ambiente de deposição ou ainda pelo interesse econômico. Existem algumas propostas gerais para explicar o transporte e precipitação de ferro e sílica que podem auxiliar no entendimento dessas rochas.

Algumas hipóteses foram abandonadas embora eventualmente ainda possam ser aplicadas. Alguns autores argumentam que as FFs se formam pela substituição de minerais de ferro e sílica em carbonatos durante a diagênese (*e.g.* Dimroth 1976). Esta hipótese se apoia principalmente na semelhança entre as características texturais das rochas carbonáticas e FFs. Posteriormente verificou-se que este argumento não encerrava a discussão, pois no geral as características texturais, eram inerentes a todos os sedimentos químicos.

James (1954) e outros autores alegam que o intemperismo dos continentes é a principal fonte de ferro. Atualmente a deposição das FFs tem sido relacionada à atividade hidrotermal submarina, o que é particularmente claro para as FFs do tipo Algoma que apresentam associação litológica coerente com as fontes de origem vulcânica (*e.g.* Goodwin *et al.* 1985).

O estudo geoquímico do comportamento dos ETRs indica que sistemas hidrotermais submarinos se encontravam ativos no início do Precambriano, particularmente no Arqueano. Segundo Fryer *et al.* (1979) a atividade hidrotermal injetou nos oceanos Arqueanos uma grande quantidade de elementos no estado de valência reduzida, incluindo os complexos ferrosos. O fato é que as FFs mais jovens do que as do tipo Algoma tendem a apresentar uma concentração menor de ferro.

Estudos geoquímicos revelaram contraste na composição isotópica e nos elementos traço das FFs e rochas associadas (*e.g.* Klein & Beukes 1989), dando suporte a um modelo de oceano estratificado (*stratified ocean model*). Modelos recentes para a deposição de FFs do tipo Lago Superior (*e.g.* Beukes & Klein 1992) enfatizam processos atuantes em lâminas d'água profundas (ricas em ferro) e rasas (pobres em ferro), de maneira similar a formação de nódulos de MnO₂ no mar Negro. Entender a razão da ciclicidade das FFs nas várias escalas (micro, meso e macroscópica) certamente é um dos maiores desafios dos estudiosos do assunto.

2.5 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Os maiores produtores de ferro do mundo são Ex-União Soviética, Brasil, Austrália e China. A maior parte do minério de ferro extraído atualmente nestes países é proveniente de FFs Precambrianas ou de depósitos derivados (*e.g.* cangas e colúvios). Os depósitos de minério de ferro de mais alta economicidade estão associados às FFs, sendo no geral minérios ricos em hematita, com aproximadamente 64 % de teor em ferro, que se formaram por processos de lixiviação de sílica e oxidação dos minerais ferrosos.

Muitos depósitos econômicos de minério de ferro foram formados pelo intemperismo de FFs Precambrianas, particularmente durante o final do Mesozóico e Terciário, incluindo nesta categoria as cangas que ocorrem na América do Sul (Hoppe *et al.* 1987) e as limonitas pisolíticas fluviais, mineradas na região de Robe River, no oeste da Austrália. Os depósitos recentes são constituídos principalmente por hidróxidos de ferro (*e.g.* goethita), contendo impurezas e apresentando baixo teor de ferro quando comparados aos depósitos precambrianos.

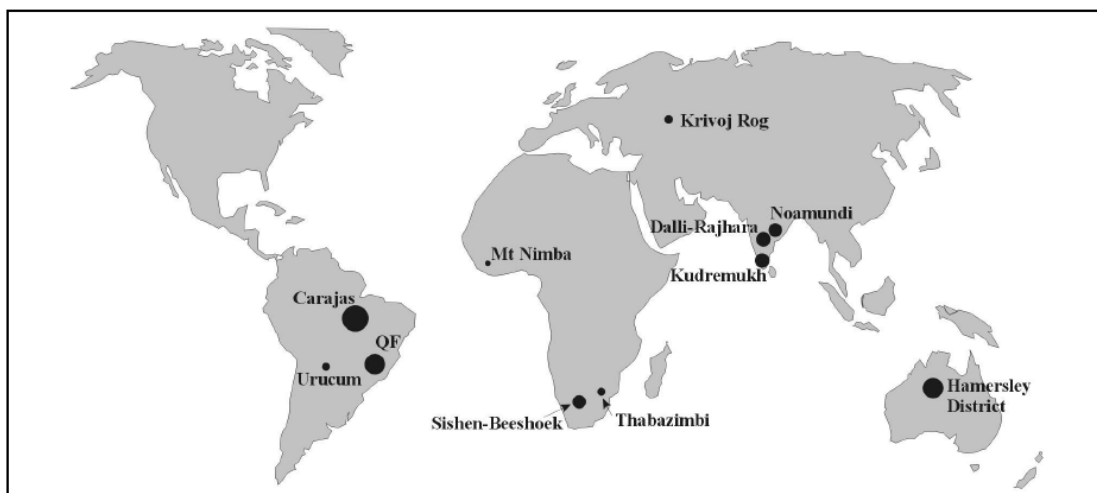


Figura 7 - Mapa esquemático com a localização de importantes depósitos de minério de ferro de alto teor no mundo, os círculos representam qualitativamente o volume dos depósitos (fonte: Beukes *et al.* 2002).

As reservas mundiais de minério de ferro (medidas mais indicadas) são da ordem de 370 bilhões de toneladas (Figura 7 e Tabela 4). O Brasil possui 7,2 % das reservas mundiais ocupando o quinto lugar entre os países detentores das maiores reservas de minério. O país ocupa um lugar de destaque no cenário mundial devido aos altos teores de ferro em seus minérios (50 a 60 % nos itabiritos e 60 a 69 % nos minérios ricos em hematita). As reservas brasileiras estão assim distribuídas: Minas Gerais (63,7 %), Pará (18,4 %), Mato Grosso do Sul (16,9 %) e outros estados (1 %).

Tabela 4 - Reservas de minério de ferro no ano de 2005 e produção mundial nos anos de 2004 e 2005. (1) Reservas medidas e indicadas, (e) Dados estimados, exceto Brasil (fonte: Gonçalves 2006).

Discriminação Países	Reservas ⁽¹⁾ (10 ⁶ t)		Produção (10 ³ t)		
	2005 ^(e)	%	2004 ^(e)	2005 ^(e)	%
Brasil	26.474	7,2	261.674	280.861	18,5
África do Sul	2.300	0,6	39.000	40.000	2,6
Austrália	40.000	10,8	231.000	280.000	18,4
Canadá	3.900	1,1	28.000	30.000	2,0
Cazaquistão	19.000	5,1	20.000	19.000	1,3
China	46.000	12,4	310.000	310.000	20,4
Estados Unidos	15.000	4,1	55.000	55.000	3,6
Índia	9.800	2,6	121.000	140.000	9,2
Irã	2.500	0,7	17.000	17.000	1,1
Mauritânia	1.500	0,4	11.000	11.000	0,7
México	1.500	0,4	12.000	12.000	0,8
Rússia	56.000	15,1	97.000	95.000	6,3
Suécia	7.800	2,1	22.000	23.000	1,5
Ucrânia	68.000	18,4	66.000	69.000	4,5
Venezuela	6.000	1,6	22.000	22.000	1,4
Outros Países	64.226	17,4	27.326	116.139	7,6
Total	370.000	100,0	1.340.000	1.520.000	100,0

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA REGIONAL

A Província Mineral de Carajás (PMC) está situada na região leste-sudeste do estado do Pará, limitada a leste pelos rios Araguaia-Tocantins, oeste pelo rio Xingu, norte pela serra do Bacajá e a sul pela Serra dos Gradaús (DOCEGEO 1988). É considerada atualmente uma das principais províncias minerais do Brasil e do mundo, com produção e potencial crescentes para Fe, Mn, Cu, Au, Ni, U, Ag, Pd, Pt, Os, entre outros (Lobato *et al.* 2002). Destacam-se os depósitos de ferro das serras Norte (N1 a N9), Sul (S1 a S45) e Leste (SL1 a SL3); os depósitos da classe óxido de Fe-Cu-Au: Salobo, Pojuca, Alemão, Igarapé Bahia, Cristalino, Sossego, Alvo 118, Gameleira; Manganês Azul; e níquel do Vermelho.

3.1 BREVE HISTÓRICO

O Projeto Araguaia foi um dos primeiros trabalhos geológicos realizados na região da Província Carajás, executado pelo DNPM em 1947, envolvendo levantamento aerofotogramétrico (escala 1:45.000) na área compreendida entre os rios Tocantins e Xingu, e os paralelos 5° e 6° sul. Os trabalhos resultaram na publicação de uma monografia acompanhada de mapa geológico na escala 1:1.000.000 (Barbosa *et al.* 1966).

As jazidas de minério de ferro da Serra dos Carajás foram descobertas em agosto de 1967 por geólogos da Companhia Meridional de Mineração (CMM), uma subsidiária da companhia United States Steel (USS), como resultado de um programa sistemático de prospecção mineral.

Em 1970 foi iniciado um intenso programa de pesquisa mineral em dezoito áreas requeridas pela CVRD e CMM, comprovando a existência de grandes reservas de minério de ferro de alto teor na região da Serra dos Carajás. Imediatamente iniciou-se o desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica que levaram à escolha da jazida N4 para início de lavra, sendo os trabalhos de pesquisas posteriores concentrados nesse local. Em setembro de 1974 foi outorgado o direito de lavra à Amazônia Mineração S/A (AMSA), empresa criada através de uma *joint venture* entre a CVRD e a CMM. Em 1977 a CVRD adquire as ações pertencentes à USS, tornando-se a única responsável pelo projeto.

Existem vários trabalhos que abordam a geologia regional da região de Carajás, entre eles destacam-se as sínteses elaboradas pela DOCEGEO (Hirata *et al.* 1982, DOCEGEO 1988) e CPRM (Araújo *et al.* 1988, Faraco *et al.* 1996).

Quanto às informações geocronológicas, destacam-se os trabalhos de Gibbs *et al.* (1986) e Machado *et al.* (1991), que demonstraram que a idade da província é predominantemente arqueana e não paleoproterozóica como considerado até então. Diversos estudos geocronológicos têm fornecido idades mais precisas para as unidades estratigráficas da PMC, (*e.g.* Macambira e Lancelot 1996, Macambira e Dall’Agnol 1997, Macambira *et al.* 1998, Rodrigues *et al.* 1992 e Pidgeon *et al.* 2000).

Trabalhos recentes (2002-2005) foram executados na PMC pelo projeto Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia (Marini *et al.* 2005), desenvolvido sob coordenação geral de Hardy Jost (ADIMB) e Emanuel Teixeira de Queiroz (DNPM), envolvendo várias universidades do país (UNB, UFPA, UFMT, UNISINOS, USP, UFMG, FUA e AFBA). Nos depósitos de ferro de Carajás os trabalhos foram coordenados por L.M. Lobato e C.A. Rosière (UFMG), os resultados foram publicados em um capítulo de livro intitulado A Mineralização Hidrotermal de Ferro da Província Mineral de Carajás - Controle Estrutural e Contexto na Evolução Metalogenética da Província (Lobato *et al.* 2005).

O depósito de minério de ferro da região de Serra Leste se insere na região de estudo, é formado pelos corpos SL1, SL2 e SL3. Data de 1972 os trabalhos pioneiros de pesquisa na região, realizados pela CVRD-CODIM, onde foram executados quatro furos de sondagem no depósito SL1 (totalizando 504,75 m) e 6 furos no depósito SL2 (totalizando 588,85 m). A reserva do corpo SL1 foi estimada em 200 milhões de toneladas de minério de ferro, já o corpo SL2 foi estimado em 120 milhões de toneladas (CVRD-CODIM 1972 *in* Matias 2003). Os trabalhos executados em 1972 indicaram teores elevados de fósforo no minério de ferro, em relação aos demais corpos pesquisados na Província Carajás. Os teores anômalos de fósforo foram associados a intervalos com intercalações de rocha máfica, tendo um comportamento similar aos teores de Al_2O_3 .

Em 1990 foram executados 19 furos em Serra Leste (2550,50 m) ampliando a malha de sondagem lateralmente. Uma nova estimativa da reserva reduziu substancialmente o volume de minério do depósito SL1 para 50 milhões de toneladas. Em 1995 foi realizado um levantamento da distribuição de material detrítico (rolado) de SL1, cuja reserva foi estimada em 280.000 toneladas, também foram executados 13 furos (1.580,20 m). Durante o ano de 2000 agregaram-se à sondagem 57 novos furos (5904,70 m), tendo como principal objetivo a pesquisa para o modelamento da porção leste de SL1, identificada como a região com teores de fósforo relativamente menores.

Em 2001 foram abertas duas galerias de pesquisa em SL1, denominadas Galeria Central (com 228,60 m) e Galeria Leste (com 169,20 m), no mesmo ano foi concluído um modelo geológico para Serra Leste, prevendo para SL1 reserva de 166 milhões de toneladas e para SL2 reserva de 90 milhões de toneladas de minério de ferro.

3.2 ARCABOUÇO GEOTECTÔNICO E LIMITES

O Cráton Amazônico é uma das maiores e menos conhecidas áreas pré-cambrianas do mundo. É uma das principais unidades geotectônicas da América do Sul (5.600.000 km²), separada da faixa orogênica andina por extensa cobertura cenozóica, que recobre tanto bacias paleozóicas como extensões do cráton, dificultando o estabelecimento do seu limite ocidental.

No Brasil o Cráton Amazônico (4.400.000 km²) é limitado a leste (Grupo Baixo Araguaia), sul e sudeste (Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá) por rochas geradas durante o ciclo orogênico Brasileiro (930–540 Ma), e é em relação a esse ciclo orogênico que o conceito de cráton é aplicado (Almeida 1978), representando área estabilizada em tempos pré-brasilianos. Existem dois modelos principais para a subdivisão do cráton Amazônico em províncias geotectônicas, o modelo geofísico-estrutural e o modelo geocronológico, descritos sucintamente a seguir.

Modelo Geofísico-Estrutural - a estruturação tectônica da Amazônia oriental foi interpretada por Hasui & Haralyi (1985) e Hasui *et al.* (1984) com dados geofísicos gravimétricos e magnetométricos, associados à informação geológica disponível na época. Esse modelo propõe a estruturação antiga da Amazônia oriental como articulação de blocos crustais denominados Belém, Araguacema, Juruena e Porangatu. As bordas dos blocos são definidas por anomalias gravimétricas positivas, por domínios magnéticos fortemente perturbados e por linearização das unidades rochosas. Nos núcleos dos blocos ocorrem granitóides e seqüências vulcanossedimentares, tipo *greenstone belts*, caracterizados por domínios magnéticos pouco perturbados e isentos de anomalias gravimétricas. Com esse modelo se individualizam os cinturões Araguaia, Itacaiúnas e alto Tapajós (Hasui *et al.* 1984) nas bordas do bloco Araguacema, e no seu núcleo o terreno granito-*greenstone* do sul do Pará (Figura 8).

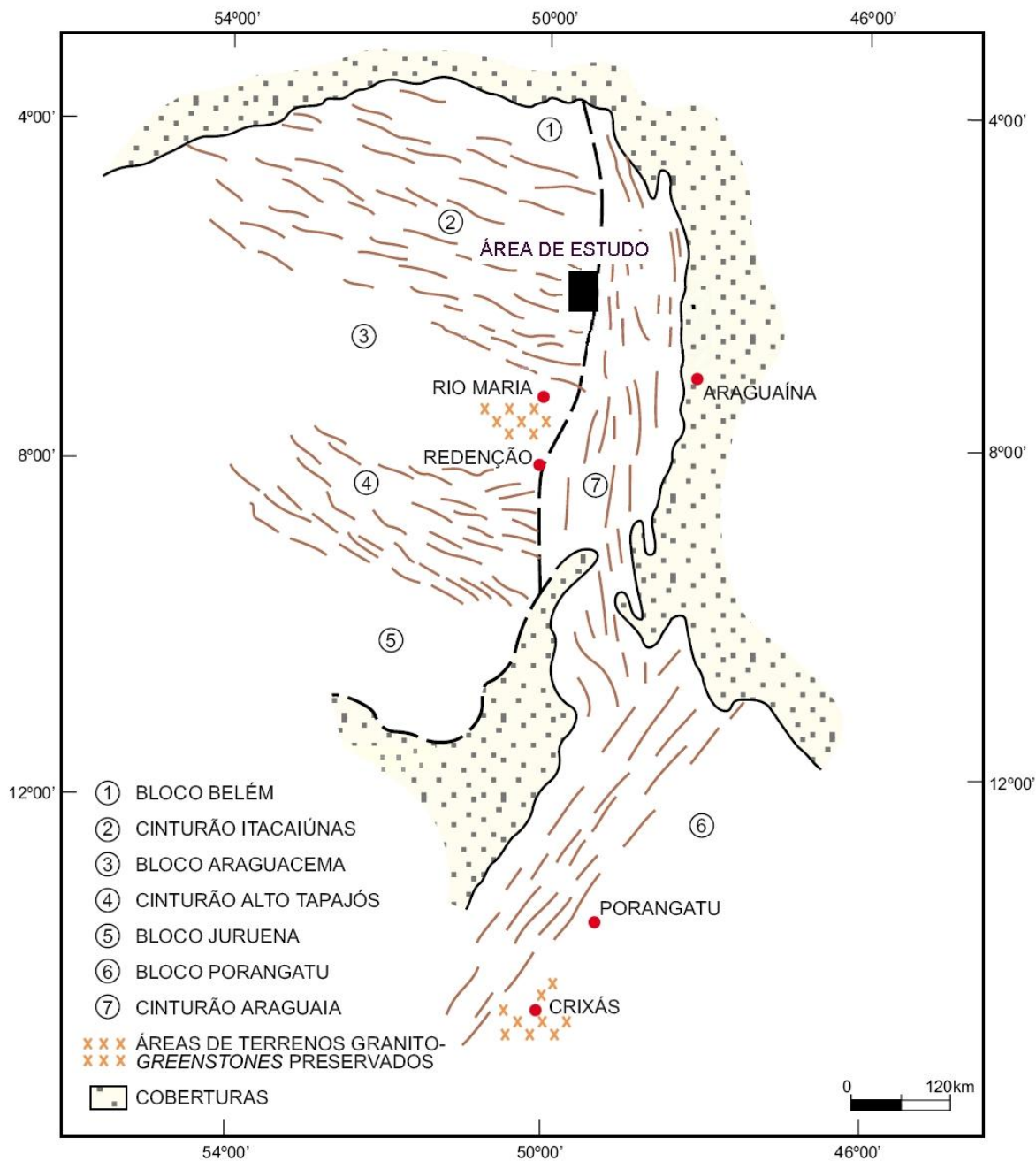


Figura 8 - Mapa esquemático com a estruturação regional da Amazônia oriental e localização aproximada da área de estudo, identificada pelo retângulo hachurado em preto, modificado de Araújo & Maia (1991).

Modelo Geocronológico - Amaral (1974) subdividiu o cráton em três províncias geocronológicas: Amazônia Oriental, Amazônia Central e Amazônia Ocidental, com base em centenas de datações geocronológicas utilizando os métodos K-Ar e Rb-Sr. Esse trabalho serviu de base para os modelos geocronológicos que se seguiram.

Santos (1999) e Santos *et al.* (2000) reinterpretaram as províncias do cráton Amazônico com base em dados U-Pb e Sm-Nd. Datações geocronológicas utilizando os métodos Sm-Nd e U-Pb SHRIMP foram realizadas pela CPRM (Santos 2003) na Amazônia, o que promoveu algumas alterações no modelo de Santos *et al.* (2000). O modelo de províncias geocronológicas com modificações feitas pela CPRM é sintetizado na Figura 9.

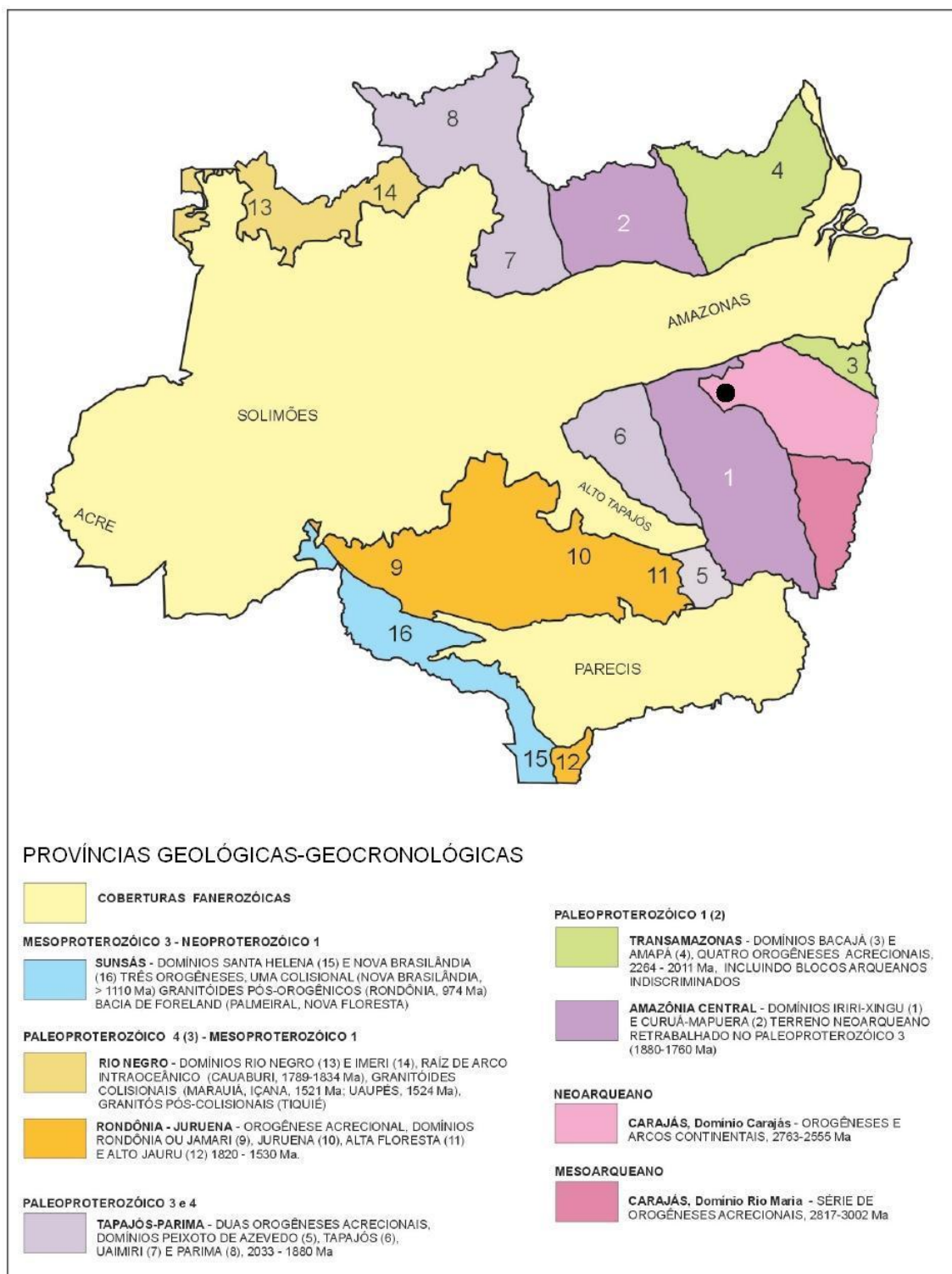


Figura 9 - Mapa esquemático com as províncias geológicas-geocronológicas do cráton Amazônico, o círculo hachurado em preto representa aproximadamente a localização da Província Mineral de Carajás, modificado de Santos (2003).

A província Carajás apresenta idade predominantemente Arqueana, é caracterizada por uma estruturação WNW–ESE e aparente ausência de rochas geradas durante o ciclo Transamazônico (2,26 - 1,86 Ga). A província é subdividida em dois domínios: Rio Maria (Mesoarqueano) e Carajás (Neoarqueano). O domínio Rio Maria está localizado a sul do Domínio Carajás (Figura 9), é constituído essencialmente por terrenos tipo granitóide-*greenstone*. O Domínio Carajás Apesar de apresentar rochas mesoarqueanas como os complexos Xingu e Pium (2,86 e 3,00 Ga, respectivamente), é predominantemente de idade neoarqueana e caracterizado por seqüências vulcanossedimentares e granitóides gerados no intervalo de 2,76 a 2,55 Ga.

3.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

3.3.1 Embasamento

Complexo Pium

As rochas mais antigas e de grau metamórfico mais alto ocorrem ao sul de Carajás, correspondendo ao Complexo Pium. São descritas como granulitos félsicos e máficos muitas vezes designados com nomenclatura de rocha ígnea (charnockitóides). O Complexo Pium com idade de 2.859 ± 9 Ma (Pidgeon *et al.* 2000), apresenta zircões com núcleo herdado registrando idade de 3.002 ± 14 Ma, indicando protólito de idade mesoarqueana, possivelmente relacionado a rochas do Domínio Rio Maria.

Complexo Xingu

O Complexo Xingu (Silva *et al.* 1974) engloba rochas de composição granodiorítica e tonalítica da fácies anfíbolito. Apresenta idades de 2.859 ± 2 e 2.851 ± 4 Ma (U-Pb em zircão, Machado *et al.* 1991). O nome Complexo Xingu representa um problema de nomenclatura que persiste na literatura sobre o Cráton Amazônico (Santos 2003), abrangendo granitóides com idades entre 3,00 Ga e 2,05 Ga sem posição estratigráfica definida. Atualmente a distribuição da unidade é restrita a Província Carajás (Santos *et al.* 2000), embora ainda mal definida. À medida que novos trabalhos são realizados as regiões pertencentes ao Complexo Xingu são redefinidas, dando lugar a outras unidades tectono-estratigráficas (*e.g.* Rio Maria, Xinguara, Mogno, Arco Verde e Pium).

3.3.2 Rochas Supracrustais

Na PMC as seqüências metavulcanossedimentares estão reunidas em diversos grupos (*e.g.* Buritirama, Tapirapé, Rio Novo, Alto Bonito, Aquiri, Igarapé Bahia) e no Supergrupo Itacaiúnas, subdividido nos grupos Grão Pará, Igarapé Salobo e Igarapé Pojuca (Santos 2003), algumas dessas unidades vulcanossedimentares estão datadas, enquanto outras permanecem sem dados isotópicos dificultando sua correlação. Os grupos Rio Novo e Grão Pará ocorrem na porção leste da Província Carajás e são detalhados no tópico 4.1 Unidades Litoestratigráficas.

Os dados geocronológicos indicam a existência de dois eventos vulcanossedimentares principais (Santos 2003), o mais antigo gerado por volta de 2,76 Ga (grupos Grão Pará e Igarapé Salobo) e o mais novo entre 2,73 e 2,75 Ga (grupos Pojuca e Igarapé Bahia). Cristais de zircão contidos em anfibolitos do Grupo Igarapé Pojuca foram datados em 2.732 ± 3 Ma (U-Pb, Machado *et al.* 1991), esse valor sugere que o Grupo Igarapé Pojuca é entre 22 e 35 Ma mais jovem que os grupos Grão Pará e Igarapé Salobo.

Uma seqüência de sedimentos psamo-pelíticos, contendo grauvacas, arenitos, siltitos e conglomerados cobre o Grupo Grão Pará, Silva *et al.* (1974) a definiram como Formação Rio Fresco, enquanto Araújo & Maia (1991) a redefiniram como Formação Águas Claras, pertencente ao Grupo Grão Pará.

A unidade apresenta espessura máxima de 1.500 m, sendo dividida por Nogueira *et al.* (1995) em duas porções: a parte superior composta por arenitos fluviais e litorâneos, e a parte inferior composta por pelitos e arenitos depositados em ambiente de plataforma marinha. Sua idade mínima é 2.573 ± 2 Ma (Machado *et al.* 1991) determinada por uma intrusão (Granito Velho Salobo), enquanto sua idade máxima é 2.681 ± 5 Ma (U-Pb, Trendall *et al.* 1998), estabelecida pela datação de zircões provenientes de vulcanismo sindeposicional. Datações U-Pb em zircão detrítico da Formação Águas Claras forneceram idades entre 2,77 e 3,02 Ga (Mougeot *et al.* 1996) sugerindo que a fonte dos sedimentos foram rochas dos domínios Carajás e Rio Maria.

3.3.3 Complexos Máfico-Ultramáficos

Complexos máfico-ultramáficos ocorrem nos domínios Carajás (Figura 9) e Rio Maria, na área de estudo encontram-se divididos em dois grupos:

Na porção sul da área encontram-se as suítes Vermelho e Santa Inês, em corpos intrusivos no Complexo Xingu e alongados na direção NE-SW, compostos por gabro, norito, piroxenito e serpentinito. A unidade Vermelho hospeda depósito de níquel, e assim como a unidade Santa Inês, ainda não foi datada mas apresentam idade estimada paleoproterozóico (Araújo & Maia 1991).

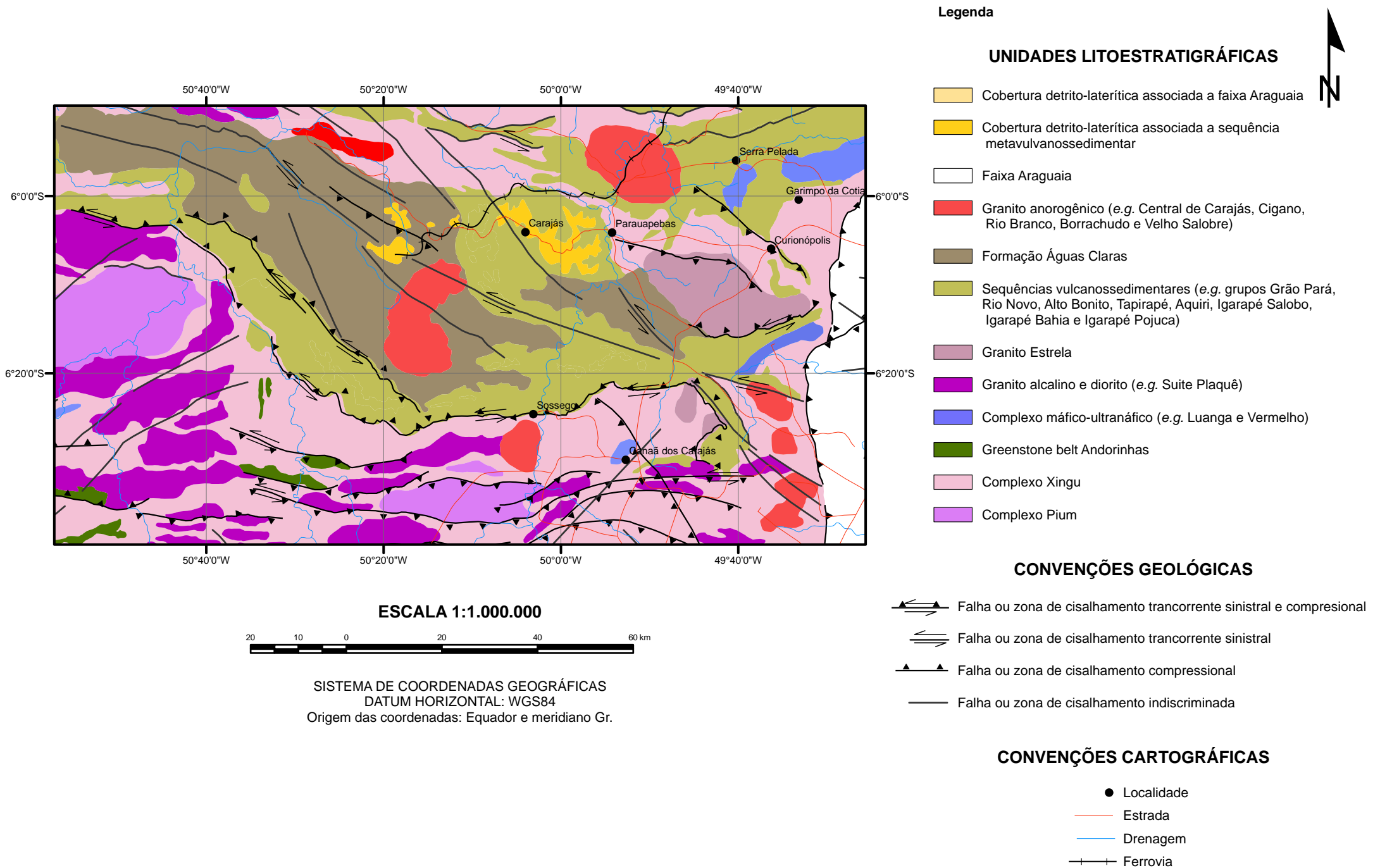


Figura 10 - Mapa geológico esquemático com as principais unidades litoestratigráficas da Província Mineral de Carajás, modificado de Bizzi *et al.* (2001).

Na porção nordeste da área de estudo situa-se o Complexo Luanga com idade de 2.763 ± 6 Ma (Machado *et al.* 1991), sendo correlacionado a plutonismo máfico-ultramáfico contemporâneo ao vulcanismo das seqüências supracrustais mais antigas (*e.g.* Grupo Igarapé Salobo 2,76 Ga).

3.3.4 Granitos Sintectônicos

Na porção centro-leste e sul da PMC uma série de corpos graníticos denominados Plaquê, Planalto, Serra do Rabo e Estrela apresentam características semelhantes, tais como: composição predominante monzogranítica, relação intrusiva com as seqüências supracrustais, forma alongada concordante com a foliação paralela ao *trend* regional WNW–ESSE e idades entre 2,73 e 2,76 Ga. Esses granitóides são sintectônicos e apresentam composição predominante cálcio-alcálica. São interpretados por Barros *et al.* (2001) como granitos de arco magmático com intenso retrabalhamento crustal.

O Granito Estrela é o mais antigo (2.763 ± 7 Ma, Barros *et al.* 2001), enquanto os granitos Planalto e Serra do Rabo representam plutonismo em torno de 20 Ma mais jovem. Apesar da incerteza acerca da idade do Granito Plaquê (2.736 ± 24 Ma, Avelar *et al.* 1999) a idade do mesmo é associado à dos granitóides Planalto, Estrela e Serra do Rabo. O Diorito Cristalino com idade de 2.738 ± 6 Ma (Huhn *et al.* 1999), também está temporalmente associado a essa granitogênese e caracterizado por uma associação cálcio-alcálica bimodal de arco continental.

A presença de auréolas de metamorfismo de contato corrobora com a hipótese dos granitóides serem intrusivos nas rochas vulcanossedimentares circundantes, como descrito por Barros *et al.* (2001).

3.3.5 Granitos Póstectônicos

Granitos tardios de idade paleoproterozóica (1,88 Ga, Gibbs *et al.* 1986) intrudem as seqüências vulcanossedimentares da PMC, e são caracterizados como corpos plutônicos de granitos, álcali-granitos, granodioritos e dioritos, sem aparente orientação preferencial e indícios de metamorfismo (*e.g.* corpos graníticos Velho Guilherme, Central de Carajás, Cigano, Pojuca e Young Salobo). Os granitos apresentam assinatura alcálica a cálcio-alcálica. Dall’Agnol *et al.* (1999) os classificam como anorogênicos, alternativamente, Lobato *et al.* (2005) interpretam tais granitóides como manifestações intracontinentais de colisão continental distal ao arco magmático. Segue na tabela com síntese geológica-geotectônica do Domínio Carajás proposta por Santos (2003).

Tabela 5 - Síntese geológica-geotectônica do Domínio Carajás (fonte: Santos 2003).

UNIDADE	GEOLOGIA	AMBIENTE TECTÔNICO	IDADE (Ga)
Granito Gameleira	Sienogranito e quartzo sienito, tipo A	Anorogênese intracontinental	1,53
Granitos Cigano, Pojuca, Serra dos Carajás	Granitos tipo rapakivi, tipo A	Anorogênese intracontinental	1,87 1,88
Grande hiato Sideriano-Riacciano com aproximadamente 600 Ma			1,89 2,52
Granitos Itacaiúnas, Velho Salobo	Granitogênese pós-tectônica	Intracontinental	2,56 2,58
Granito pré-Velho Salobo	Granitogênese tarditectônica	Intracontinental	2,58 2,59
Gabro pós-Águas Claras	Sills e diques tholeiíticos	Sedimentação em margem passiva	2,64 2,65
Grupo Rio Fresco/ Formação Águas Claras	Bacia continental	Sedimentação intracratônica	2,65 2,73
Monzogranito Geladinho	Intrusões calcialcalinas sintectônicas	Terceiro arco continental	2,67 2,69
Monzogranitos Plaquê, Planalto, Serra do Rabo e Diorito Cristalino	Intrusões calcialcalinas sintectônicas, bimodais	Segundo arco magmático continental	2,73 2,75
Grupo Igarapé Bahia	Bacia vulcanossedimentar continental	Segunda unidade vulcanossedimentar intra-arco	2,74 2,75
Granito Estrela	Intrusões cálcio-alcalinas sintectônicas	Primeiro arco magmático continental	2,76
Grupos Igarapé Salobro e Grão-Pará, Complexos Luanga e Lago Grande	Bacia vulcanossedimentar continental, com intrusões tholeiíticas	Primeira unidade vulcanossedimentar intra-arco	2,76
Complexo Xingu	Intrusões TTG, com corpos cálcio-alcalinos associados	Combinação de arco de ilhas e arco continental (?)	2,85 2,87
Crosta Proto-Carajás, parte do Complexo Xingu e protólito do Complexo Pium	-	-	3,02 3,70

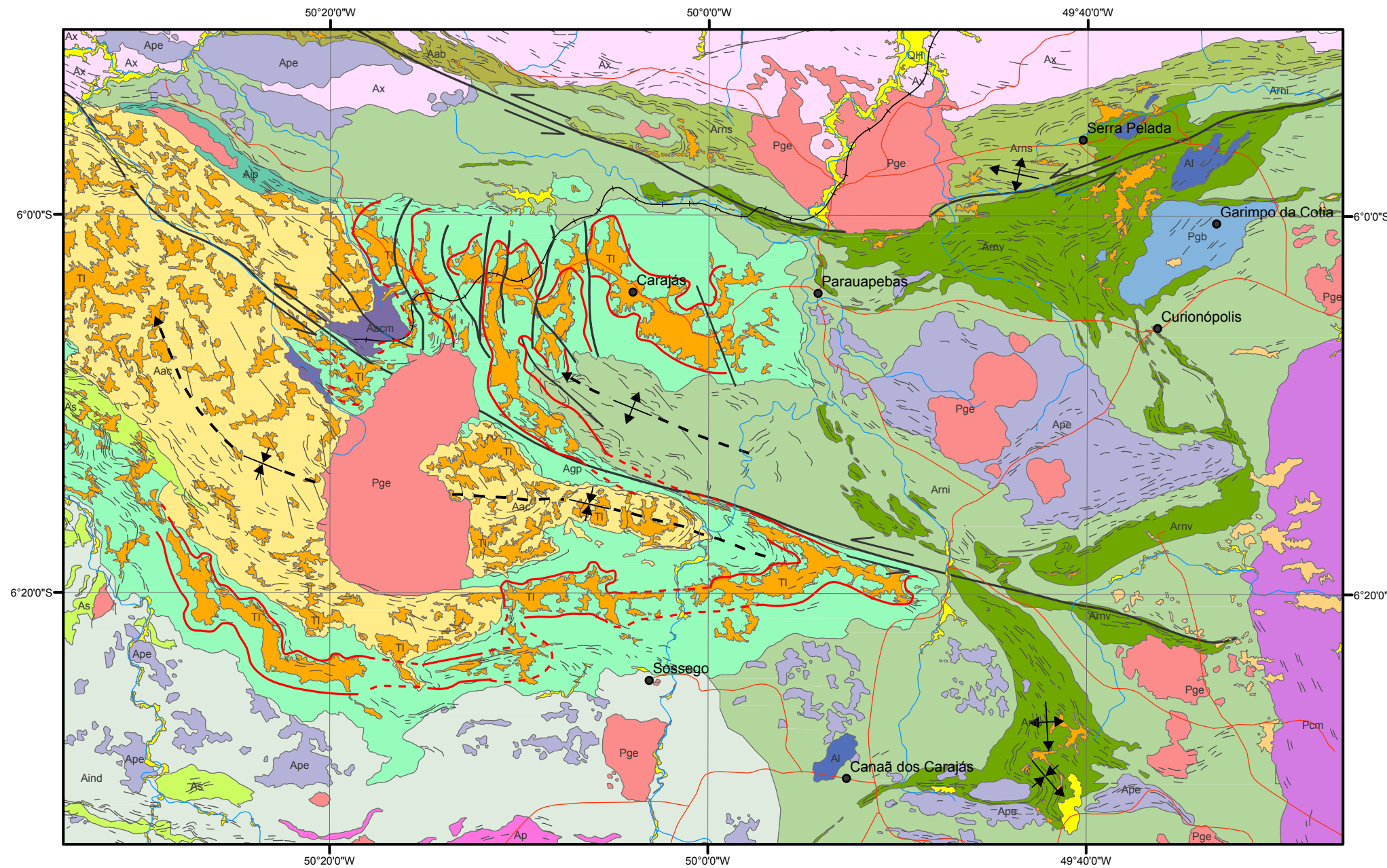
O mapa geológico da PMC apresentado a seguir (Figura 11) é o resultante da integração de dados de vários trabalhos de campo realizados por membros do projeto Alvo Fe Carajás incluindo o autor, com dados de origens diversas tais como: imagens de satélite (Landsat TM e ETM+) e radar (JERS-1), modelo digital de elevação (MDE), base de dados em SIG da Folha Araguaia - CPRM (Faraco *et al.* 2004) e literatura vigente (*e.g.* teses, dissertações, artigos e relatórios da CVRD).

O mapa geológico evoluiu dos trabalhos de análise geológica-estrutural de Rosière *et al.* (2005), geoprocessamento de Seoane *et al.* (2004) e da dissertação de mestrado do autor. Em relação à cartografia geológica da CPRM (Bizzi *et al.* 2001), o mapa apresenta diferenças marcantes em relação à distribuição e estruturação das unidades, discutidas no âmbito da província Carajás no tópico seguinte (3.4 Geologia Estrutural), e da região de estudo no Capítulo 4 (Geologia da Porção Leste da PMC).

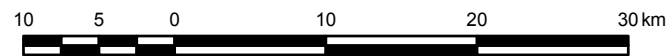
Legenda

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

- FANEROZÓICO (CENOZÓICO)**
- QH Aluvião e colúvio
 - TQa Silte, areia siltosa, conglomerado e laterita
 - TI Laterita
- PROTEROZÓICO**
- Associação Ígnea**
- Pge Granito e granitóide
 - Pgb Gabro
- Supergrupo Baixo Araguaia / Grupo Tocantins / Formação Couto Magalhães**
- Pcm Metaconglomerado, quartzito, arcósio e filito
- Grupo Rio Fresco / Formação Águas Claras**
- Aac Pelito, arcósio, arenito e conglomerado
 - Aacm Pelito manganífero
- Suíte Plaqué / Granito Estrela / Granito Serra do Rabo**
- Ape Leucogranito, granodiorito e granitóide
- Grupo Sapucaia**
- As Formação ferrífera, quartzito, filito, actinolita-xisto e rocha vulcânica básica e ultrabásica
- Grupo Igarapé Pojuca**
- Aip Rocha vulcânica básica, rocha vulcânica intermediária, pelito e sedimento químico
- Grupo Grão Pará**
- Agp Quartzito, metabasalto, metariolito, formação ferrífera e metadacito
- Grupo Alto Bonito**
- Aab Anfibolito, formação ferrífera, actinolita-xisto e metavulcânica-ácida
- Grupo Rio Novo**
- Arns Rochas metassedimentares clasto-químicas
 - Arnv Rocha vulcânica básica, formação ferrífera e anfibolito
- Grupo Rio Novo Indiviso**
- Arni Rochas metavulcanossedimentares
- Suíte Luanga**
- Al Norito, gabro, piroxenito, peridotito e serpentinito
- Complexo Pium**
- Ap Charnokito, enderbita e granulito básico
- Complexo Xingu**
- Ax Gnaisse diorítico, metagabro, metaultramáfica, ortogneisse, paragneisse, anfibolito, migmatito, gnaisse granodiorítico, gnaisse granítico e granulito
- Arqueano Indiviso**
- Aind Indiferenciado



ESCALA 1:500.000



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS
 DATUM HORIZONTAL: WGS84
 Origem das coordenadas: Equador e meridiano Gr.

TÍTULO: Mapa geológico da Província Mineral de Carajás - PA
 ESCALA: 1 : 500.000
 AUTORES: C A Rosière, J C S Seone, F J Baars, L M Lobato e L P Costa
 FINANCIAMENTO: ADIMB, CNPq e FAPEMIG
 APOIO: CVRD, CPMTc e Roots Rock

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Localidade
- Estrada
- Drenagem
- Ferrovia

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- ≡≡≡ Falha transcorrente sinistral
- Falha indiscriminada
- Fotolineamento, no geral representam a continuidade das seqüências vulcano-sedimentares
- ↙↘ Estrutura sinclinal com caimento do eixo
- ↖↗ Estrutura anticlinal com caimento do eixo
- ← - - Traço aproximado de plano axial com caimento do eixo
- Envoltoria das formações ferríferas
- - - Envoltoria estimada das formações ferríferas

Figura 11 - Mapa geológico da Província Mineral de Carajás.

3.3.6 Cinturão Araguaia

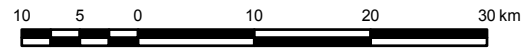
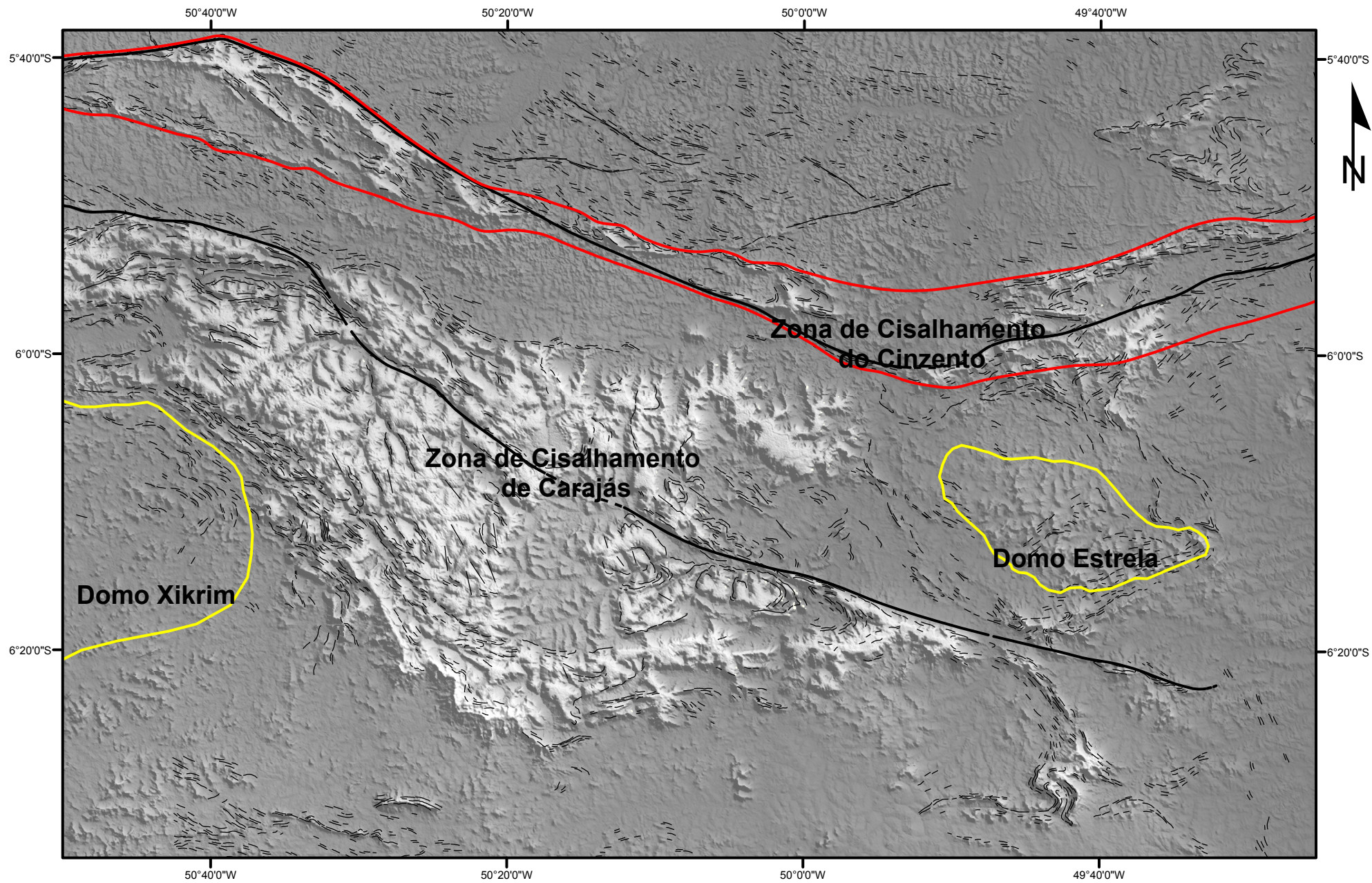
O Cinturão Araguaia não constitui objeto de estudo de detalhe da dissertação, a unidade ocorre na porção sudeste da área de estudo em uma faixa com aproximadamente 50 km de comprimento e 10 km de largura, corresponde a uma região de dobramentos e empurrões gerada durante o ciclo Brasileiro. Aparentemente a faixa Araguaia não influenciou a estruturação das seqüências vulcanossedimentares que ocorrem a oeste.

A faixa deformada abrange diversas unidades litoestratigráficas de idades arqueanas e proterozóicas incluindo os metassedimentos do Supergrupo Baixo Araguaia. Hasui *et al.* (1977) introduziram o termo Grupo Baixo Araguaia para designar metamorfitos que ocorrem na região do baixo rio Araguaia, dividindo o grupo nas formações Estrondo, Pequizeiro e Couto Magalhães. Nesse trabalho utiliza-se a coluna estratigráfica sugerida por Abreu (1978), que eleva a unidade Baixo Araguaia a categoria de supergrupo, dividido nos grupos Estrondo (formações Morro do Campo e Xambioá) e Tocantins (formações Couto Magalhães e Pequizeiro).

Na área de estudo ocorrem metassedimentos da Formação Couto Magalhães composta principalmente por filitos e metassiltitos. As rochas encontram-se posicionadas tectonicamente sobre a porção indivisa do Grupo Rio Novo.

3.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

A principal estrutura da Serra dos Carajás foi definida por Beisegel *et al.* (1973) como um sinclínio de aproximadamente 1.000 km de comprimento e 100 km de largura, com eixo caindo aproximadamente para WNW-ESE. Araújo & Maia (1991) definiram o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, de orientação E-W, representado na PMC pelas zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento (Figura 12).



Legenda

- Limite aproximado da zona de cisalhamento do Cinzento
- Limite aproximado de domo estrutural
- Falha transcorrente sinistral
- Fotolineamento

Figura 12 - Fotointerpretação da Província Mineral de Carajás com as principais estruturas em escala subregional. Base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005), fotolineamento modificado de Seone *et al.* (2004).

3.4.1 Zonas de Cisalhamento Regionais

As zonas de cisalhamento (ou falhas) de Carajás e Cinzento apresentam movimentação transcorrente e cinemática predominante sinistral, de caráter rúptil-dúctil, comumente acompanhadas de silicificação das rochas por elas cortadas. Apresentam forma sigmoidal e orientação variando entre E-W e ESE-NNW, sub-paralelas ao plano axial de dobras de escala regional (Rosière *et al.* 2005). Uma xistosidade penetrativa ocorre associada e restrita as zonas de cisalhamento, principalmente na do Cinzento, com orientação subparalela as falhas e identificada principalmente nas rochas metavulcânicas e metapelíticas.

A zona de cisalhamento de Carajás acompanha o flanco rompido que divide o par antiformal-sinformal da Dobra Carajás (Figura 11) definida por Rosière *et al.* (2005). Segundo os mesmos autores, trata-se do produto de amplificação da dobra durante os estágios tardios de um encurtamento com direção aproximadamente N-S. De maneira semelhante a Zona de Cisalhamento ou falha do Cinzento, aparenta ter se desenvolvido ao longo de outro par antiformal-sinformal entre a Serra Norte e a Serra do Salobo, com o flanco comum rompido e deslocado paralelamente ao plano axial.

Segundo Holdsworth & Pinheiro (2000) a deformação associada à falha Carajás ocorre em níveis crustais relativamente rasos (< 5 km), e sua orientação seria controlada pela trama dúctil das rochas do embasamento. O domínio setentrional da falha contém corpos de minério de ferro dobrados, falhados e rotacionados na Serra Norte. Várias ramificações lítricas do tipo *splay* de orientação aproximada N-S controlam o posicionamento desses corpos. O domínio meridional na região da Serra Sul inclui corpos de minério com mergulho para norte.

As seqüências vulcanossedimentares na PMC apresentam continuidade regional e estruturação NE-SW, com desenvolvimento de dobras com sistema de eixo apresentando caimento moderado para WNW. As dobras são intersectadas por diversas falhas de orientação geral E-W, subparalelas ao plano axial (Rosière *et al.* 2005).

3.4.2 Domos Estruturais

Segundo Lobato *et al.* (2005) a análise das estruturas regionais registradas nas seqüências metavulcanossedimentares em torno do Complexo Pium, indica que as unidades supracrustais envolvem o complexo magmático-metamórfico, de idade mais velha, como um bloco resistente. A Serra Sul apresenta orientação distinta do *trend* regional E-W próxima à borda nordeste do complexo, registrado inflexão para NW onde as unidades do Grupo Grão Pará encontram-se mais deformadas, exibindo dobramento apertado (isoclinal) e estruturas planares subparalelas à Zona de Cisalhamento de Carajás.

Esta variação na estruturação das seqüências metavulcanossedimentares na região da Serra Sul é interpretada por Lobato *et al.* (2005) como resultado da interferência tectônica do dobramento das seqüências contra a borda norte-nordeste de um bloco ou domo estrutural, constituído pelas rochas do complexo Pium e corpos graníticos da suíte Plaquê, definido pelos mesmos autores como Domo de Xikrim. O Domo provavelmente serviu de anteparo durante a deformação por achatamento com encurtamento N-S, resultando em rotação no sentido dextral da seqüência e originando a estruturação atual. Dobras com perfis mais abertos são encontradas a oeste do Domo Xikrim no Grupo Aquiri, na região considerada sombra de deformação.

Segundo Lobato *et al.* (2005) a origem do Domo de Xikrim ainda deve ser estudada com maior detalhe, entretanto os autores sugerem uma origem associada a um sistema tipo *core complex* erodido, posicionado tectonicamente contra as seqüências metavulcanossedimentar do Supergrupo Itacaiúnas. O mecanismo de posicionamento deste domo também não está esclarecido, embora se suponha que os granitos da Suíte Plaquê que também envolvem o domo na região, tenham contribuído para sua ascensão.

Unidades supracrustais também envolvem o Complexo Estrela na área de estudo, assim como outros corpos magmáticos ainda não caracterizados e comumente agregados de forma indiscriminada como Complexo Xingu (Lobato *et al.* 2005). A arquitetura juntamente com as feições estruturais de ambas as regiões é muito semelhante à geometria do tipo Domo e Quilha (*Dome and Keel*).

3.5 MODELO EVOLUTIVO

Com relação à evolução tectonoestratigráfica da PMC foram publicados modelos de cunho regional, como por exemplo, Araújo & Maia (1991), Oliveira *et al.* (1994), Costa *et al.* (1995), Pinheiro & Holdsworth (1997) e Holdsworth & Pinheiro (2000). Embora existam diversas divergências entre estes autores as propostas são bastante semelhantes, com uma evolução marcada por sistemas de falhas transcorrentes onde predominaram movimentações oblíquas, ora transtensivas ora transpressivas, com desenvolvimento de bacias tipo *pull-apart* onde foram depositadas seqüências sedimentares.

Pinheiro & Holdsworth (1997) propõe uma evolução marcada pela reativação rúptil a rúptil-dúctil, no acervo estrutural planar dúctil das rochas do embasamento (granitos e gnaisses com *ca.* 2.8 Ga), com pelo menos cinco episódios tectônicos consecutivos de movimentação transcorrente.

Holdsworth & Pinheiro (2000) sugeriram para os sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, durante o intervalo entre 2,8 e 1,9 Ga, os seguintes eventos: transpressivo sinistral (2,8 Ga); extensional (intracratônico 2,7 Ga); transtracional dextral (2,6 Ga); transpressivo sinistral/transtensivo (1,9 Ga), a partir deste último reconheceram reativações extensionais até a atualidade. Tais eventos foram correlacionados com os fenômenos de metamorfismo, deformação, sedimentação, vulcanismo e granitogênese na região.

Recentemente Rosière *et al.* (2005) apresentaram uma nova proposta de evolução geológica para a região de Carajás. Segundo os autores as características geométricas e cinemáticas das estruturas tectônicas na Província de Carajás indicam uma evolução associada a um encurtamento regional, de direção aproximadamente NE-SW.

O primeiro evento principal que afetou a região é associado a uma tectônica compressiva oblíqua. Esse evento foi responsável por dobramento com sistema de eixo com caimento moderado para WNW das diferentes seqüências vulcanossedimentares na província, que originalmente teriam uma estruturação (*strike*) NE-SW (Figura 13). A idade da deformação é associada ao Granito Estrela (Barros 1997), plúton que intrudiu as seqüências vulcanossedimentares e também mostra condições de deformação por achatamento.

Um segundo evento deformacional é caracterizado por uma tectônica transcorrente, registrado em diversas fraturas, falhas, lineamentos regionais de orientação E-W e em uma clivagem discordante ao bandamento composicional nas rochas metassedimentares, e do bandamento ígneo nos plútons. Este evento é consequência da acomodação da deformação por cisalhamento puro do primeiro evento por escape lateral. Esse tectonismo seria responsável pelos fortes contrastes no grau metamórfico em escala local a subregional, e poderia corresponder à tectônica transcorrente definida por Pinheiro & Holdsworth (1997).

Durante os dois eventos, possivelmente resultados de uma deformação progressiva, as seqüências vulcanossedimentares experimentaram deformação regional em condições dúcteis-rúpteis a rúpteis, com exceção das proximidades dos granitos sintectônicos ou dos domos estruturais, onde a temperatura relativamente mais elevada permitiu o desenvolvimento de estruturas dúcteis.

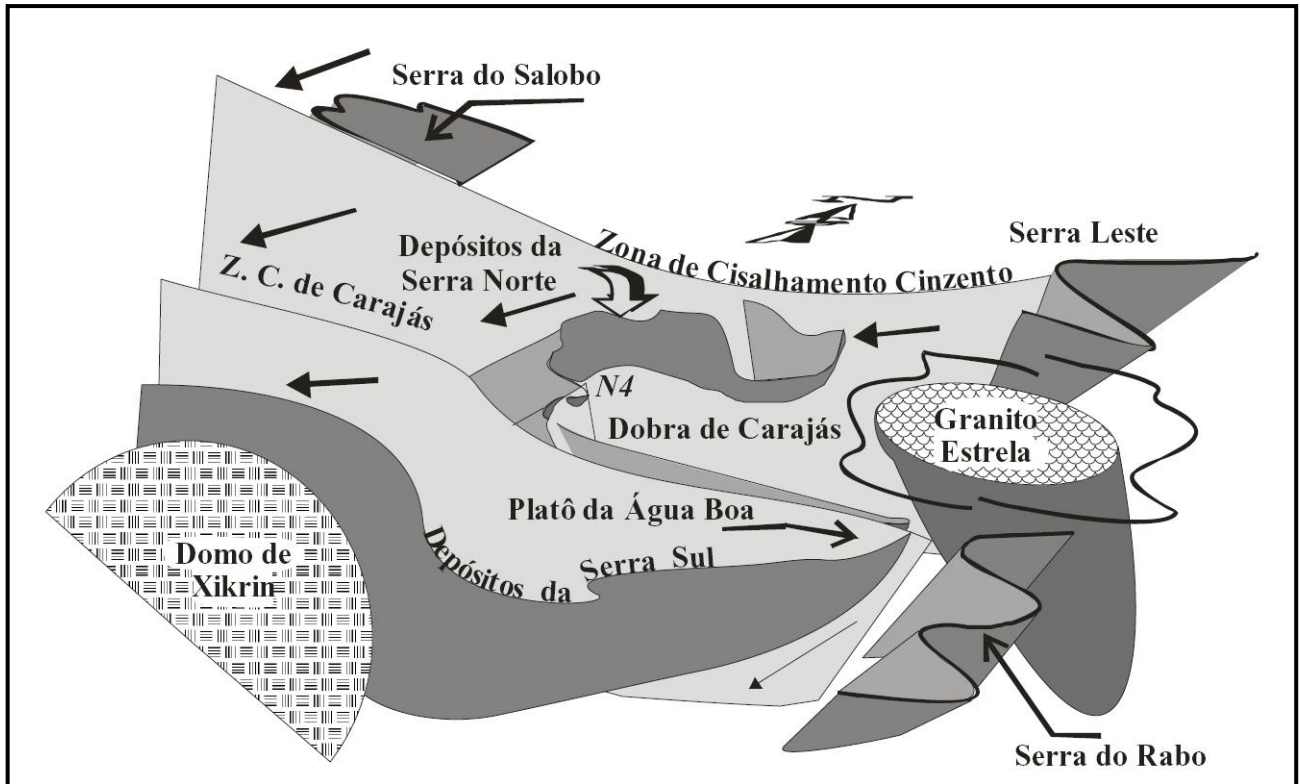


Figura 13 - Bloco diagrama esquemático da Província Mineral de Carajás e arredores. A escala horizontal é aproximada e a vertical exagerada, a charneira da dobra de Carajás apresenta caimento entre 20 e 35° W (fonte: Rosière *et al* 2004 e 2005).

CAPÍTULO 4

GEOLOGIA DA PORÇÃO LESTE DA PMC

4.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Na porção leste da Província Mineral de Carajás (Anexo I - Mapa Geológico), nas regiões de Serra Leste e Serra do Rabo, as seqüências metavulcanossedimentares correspondem aos grupos Rio Novo e Grão Pará respectivamente (*e.g.* Faraco *et al.* 2004). Foram agrupadas informalmente por Rosière *et al.* (2005) em uma única unidade, denominada seqüência Serra do Rabo, apresentando continuidade N-S, truncada e deformada pelo Granito Estrela.

Nesse trabalho, as seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da província fazem parte do Grupo Rio Novo redefinido informalmente, apresentando distribuição e estruturação semelhante à seqüência Serra do Rabo. Segue descrição e caracterização das principais unidades geológicas que ocorrem na área de estudo.

4.1.1 Grupo Rio Novo

A unidade geológica Rio Novo foi definida inicialmente por Hirata *et al.* (1982) como seqüência Rio Novo, ao descreverem afloramentos de anfibólio-clorita xistos associados a rochas félsicas, FFs e metacherts ao longo da estrada que liga o vilarejo de Serra Pelada à estrada PA-275. Após novos estudos, os mesmos autores sugeriram a possibilidade de se tratar de um terreno granito-*greenstone*, hipótese também aceita por Meireles *et al.* (1984) e Araújo & Maia (1991).

O Grupo Rio Novo, como definido por Araújo & Maia (1991), encontra-se em contato discordante com rochas do complexo Xingu, Granito Estrela e Granito Cigano. Compreende uma seqüência supracrustal de natureza vulcanossedimentar, metamorfisada na fácies xisto-verde, contendo FFs, xistos, anfíbolitos, rochas máficas e ultramáficas. A porção sedimentar é constituída por xistos micáceos, com textura lepidogranoblástica, compostos principalmente por biotita, muscovita, quartzo e feldspato. Os corpos ultramáficos ocorrem associados às rochas máficas, apresentando como mineralogia principal tremolita e clorita e, em menor proporção, actinolita.

O Grupo Rio Novo ainda não foi datado, mas o complexo intrusivo Luanga (2.763 ± 6 Ma, Machado *et al.* 1991) corta a seqüência limitando a sua idade mínima. A unidade Rio Novo pode ser relacionada temporalmente e/ou em termos de ambiência tectônica a outras seqüências vulcanossedimentares, especialmente com as seqüências mais próximas (*e.g.* grupos Grão Pará e Alto Bonito).

As publicações sobre o Grupo Rio Novo são escassas, restando apenas relatórios internos da CVRD. A unidade apresenta continuidade N-S e se estende na área de estudo entre os paralelos 5°50'S e 6°30'S (Figura 11). Na porção setentrional da unidade, na região de Serra Leste, está localizado o garimpo de Serra Pelada (ouro) atualmente desativado. Na porção meridional, na região da Serra do Rabo, encontra-se o Depósito Cristalino (Cu-Au). Em 2003, um estudo de pré-viabilidade para Cristalino indicou lavra a céu aberto com processamento de 13 milhões de toneladas de minério por ano, com reserva lavrável de 261 milhões de toneladas com teor de 0,73 % de cobre e 0,14 g/t de ouro (CVRD 2006).

No presente trabalho, o Grupo Rio Novo é dividido em três unidades informais (Anexo I - Mapa Geológico) descritas a seguir:

Arqueano Grupo Rio Novo porção sedimentar (Arns) - caracterizada pela predominância de rochas metassedimentares clasto-químicas. Essa unidade ocorre principalmente na Serra do Sereno em uma faixa que se estende na direção E-W com aproximadamente 8 km de largura, composta principalmente por quartzitos e metassiltitos intercalados com camadas manganíferas. Os metassiltitos apresentam granulação fina e textura granoleptoblástica, exibindo uma fina clivagem de crenulação. Em escala mesoscópica, o acamamento da rocha é reconhecido por variação composicional registrada pela alternância de camadas de espessura centimétricas de cor marrom clara e escura. Os quartzitos no geral apresentam coloração branca e podem variar de moderadamente a bem recristalizados, quando ocorrem próximo a granitos intrusivos (*e.g.* Granito Cigano). Essa unidade é interpretada como a porção sedimentar de topo da seqüência vulcanossedimentar Rio Novo.

Arqueano Grupo Rio Novo Indiviso (Arni) - região indivisa do Grupo Rio Novo onde predominam rochas metavulcanossedimentares. Optou-se pelo termo indiviso, ao invés de agrupá-las entre as rochas do Complexo Xingu, pelos motivos mencionados no tópico 3.3.1 (Embasamento). A região necessita de estudos de maior detalhe para uma melhor proposta estratigráfica, por exemplo, na escala 1:100.000 ou maior.

Arqueano Grupo Rio Novo porção vulcanossedimentar (Arnv) - constituída essencialmente por rocha vulcânica máfica e subordinadamente por FFs e anfibolitos. Representa a porção vulcânica e sedimentar-química da seqüência Rio Novo. Essa unidade hospeda corpos de minério de ferro de alto teor nos depósitos SL1 e SL2, localizados na região de Serra Leste. As rochas dessa porção constituem o principal objeto de estudo da dissertação e são descritas e caracterizadas detalhadamente a seguir.

4.1.1.1 Rochas Vulcânicas Máficas

No contexto da porção vulcanossedimentar do Grupo Rio Novo, (redefinido informalmente), as rochas vulcânicas máficas são as que apresentam a maior distribuição espacial quando comparadas as FFs e anfibólitos. Via de regra, quando expostas a superfície são mais susceptíveis ao intemperismo, gerando relevos em forma de morrotes arredondados de coloração avermelhada. As amostras descritas são principalmente de furos de sondagem do depósito SL1. A síntese da descrição petrográfica das rochas máficas encontra-se na tabela 6.

As rochas máficas apresentam coloração esverdeada (Figura 14.A) e no geral composição basáltica, identificada pela petrografia (Figura 14.B) e, posteriormente, confirmada pela geoquímica de rocha (Capítulo 5, tópico 5.1.1 Rochas Vulcânicas Máficas). A granulação da rocha varia entre fina e média, sugerindo texturas vulcânicas e sub-vulcânicas (Figura 14.B). As rochas apresentam texturas ofítica e granular hipidiomórfica com cristais de até 4 mm de comprimento. Os constituintes primários são plagioclásio, piroxênio, quartzo e ilmenita, como mineral acessório ocorre cobre nativo, os cristais são subédricos com até 0,1 mm de diâmetro, apresentando coloração alaranjada típica.

Os cristais de plagioclásio, que constituem aproximadamente 50 % da mineralogia, apresentam geminação polissintética em uma direção. São subédricos com hábito tabular prismático exibindo em média 1 mm de comprimento, localmente apresentando sericitização. O plagioclásio ocorre em agregados de cristais tendendo a formar arranjo radial. Os cristais de piroxênio perfazem aproximadamente 40 % da mineralogia, predominando a augita, os grãos são anédricos com borda apresentando contato serrilhado; no geral os cristais apresentam granulação grossa superior a da mineralogia restante. É comum observar o intercrescimento de piroxênio no feldspato. A ilmenita ocupa 10 % do total, apresenta forma subédrica a anédrica com baixo polimento, os cristais apresentam aproximadamente 0,5 mm de diâmetro e no geral estão associados ao plagioclásio.

Nos testemunhos de sondagem do depósito SL1, próximo ao contato com o minério de ferro, localmente ocorrem porções hematizadas da rocha máfica (Figura 15.A, B e C), de forma semelhante ao que ocorre nos depósitos de minério de ferro em Serra Norte (Teixeira 1994, Lobato *et al.* 2005 e em referências contidas).

De acordo com Lobato *et al.* (2005) as rochas máficas em Serra Norte mostram-se afetadas por alteração hidrotermal, que vai desde a substituição dos constituintes primários, com preservação das texturas, até a transformação total da rocha original em hematita cloritito e cloritito. Estes últimos litotipos são formados por clorita, hematita, ilmenita/titanita e mica branca em diferentes proporções. As rochas vulcânicas localizadas junto ao contato com o minério mostram forte cloritização e estão parcialmente hematizadas (mineralizadas), com cristalização de hematita em

quantidades variadas, indicando que este contato foi um importante local de fluxo de fluido. Os efeitos desta alteração são visíveis principalmente na significativa cristalização de hematita nas rochas vulcânicas, que ocorre na forma de preenchimento de amígdalas e veios, e substituição dos minerais primários.

No depósito SL1 a hematização é associada a: (i) presença de foliação na rocha, que pode ser uma xistosidade registrada principalmente pela orientação da clorita (Figura 15.D), ou uma clivagem espaçada (Figura 15.E), onde a distância entre os domínios da clivagem varia entre 0,1 e 1 mm, (ii) mudança na coloração da rocha máfica, que passa adquirir tom marrom (Figura 15.A,C e D), (iii) mudança parcial da mineralogia, observada na borda das porções hematizadas, contendo principalmente clorita e venulações de quartzo (Figura 15.D e E). A região intermediária alterada, entre os óxidos de ferro e a rocha máfica sem alteração, pode variar de milímetros até alguns metros nos testemunhos de sondagem.

A intensidade e o estilo das feições associadas à hematização também variam, desde esteiras de óxidos de ferro com em média 0,1 mm de espessura, que ocorrem intercaladas ao longo das estruturas planares (Figura 15.F), até a presença de bolsões centimétricos de hematita compacta (Figura 15.A). Também são muito comuns veios e venulações preenchidos por óxidos de ferro, exibindo direção e dobramento com direção plano axial subparalelos às estruturas planares (Figura 15.F). Os óxidos de ferro são principalmente martita lamelar contendo relictos de kenomagnetita, martita anédrica e hematita microlamelar (Figura 15. G, H, I e J).

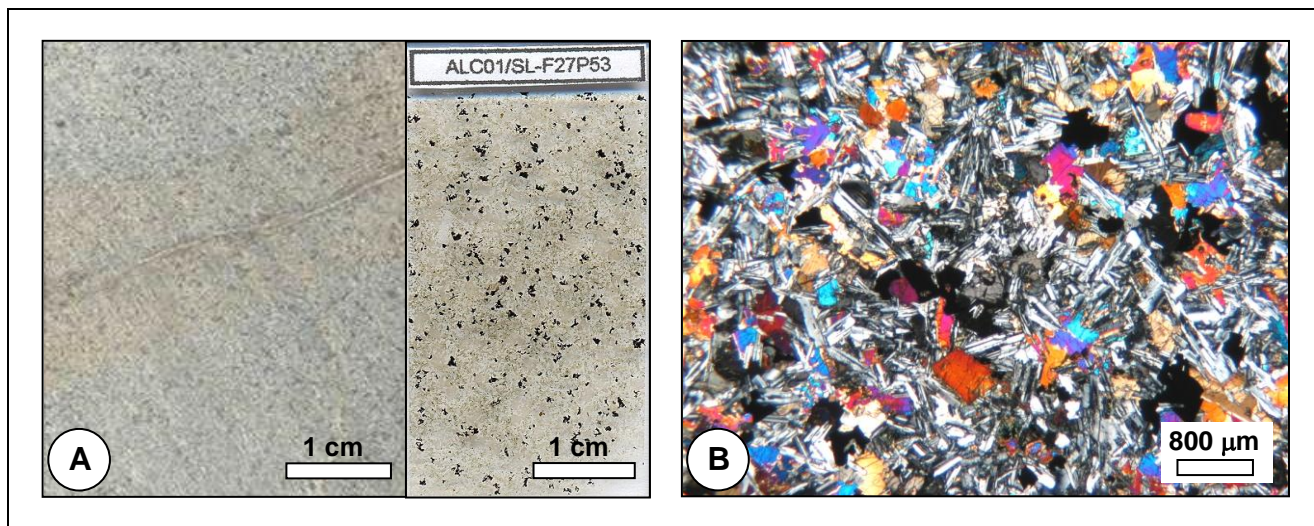


Figura 14 - Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha vulcânica máfica localizada no depósito SL1. (A) - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de rocha máfica. (B) - Fotomicrografia (LT e NC), textura geral da rocha vulcânica máfica (SL-F27-P65); os minerais opacos são ilmenita. Legenda: LT - Luz Transmitida, LR - Luz Refletida, NC - Nicóis Cruzados e NP - Nicóis Paralelos.

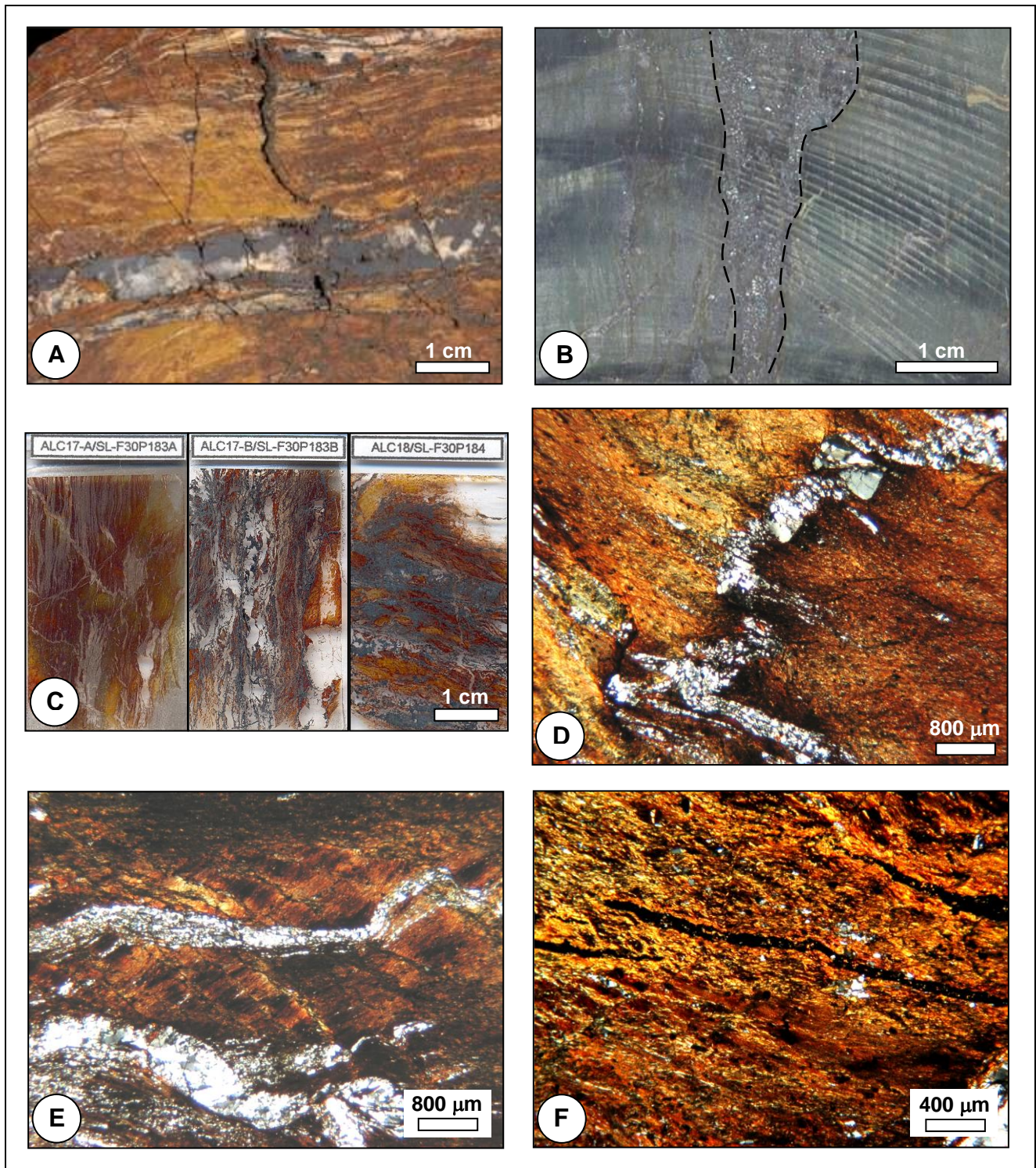


Figura 15 - Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha máfica hematizada localizada no depósito SL1. (A) - Foto de testemunho de furo de sondagem (SL-F30-P184), observar veios e venulações de óxidos de ferro concordantes com a xistosidade da rocha máfica. (B) - Veio de óxido de ferro, delimitado pela linha tracejada, cortando a rocha máfica (SL-F62-P93). (C) - Seqüências de fotos de superfície de lâminas (delgada-polida) mostrando graus variados da intensidade do processo de hematização. (D) - Fotomicrografia (LT e NC), venulação de quartzo apresentando dobramento com direção plano-axial paralela à xistosidade (SL-F30-P183A). (E) - Fotomicrografia (LT e NC), clivagem na rocha máfica (SL-F30-P183A). (F) - Fotomicrografia (LT e NC), venulações de óxidos de ferro com direção subparalela a xistosidade (SL-F30-P183A).

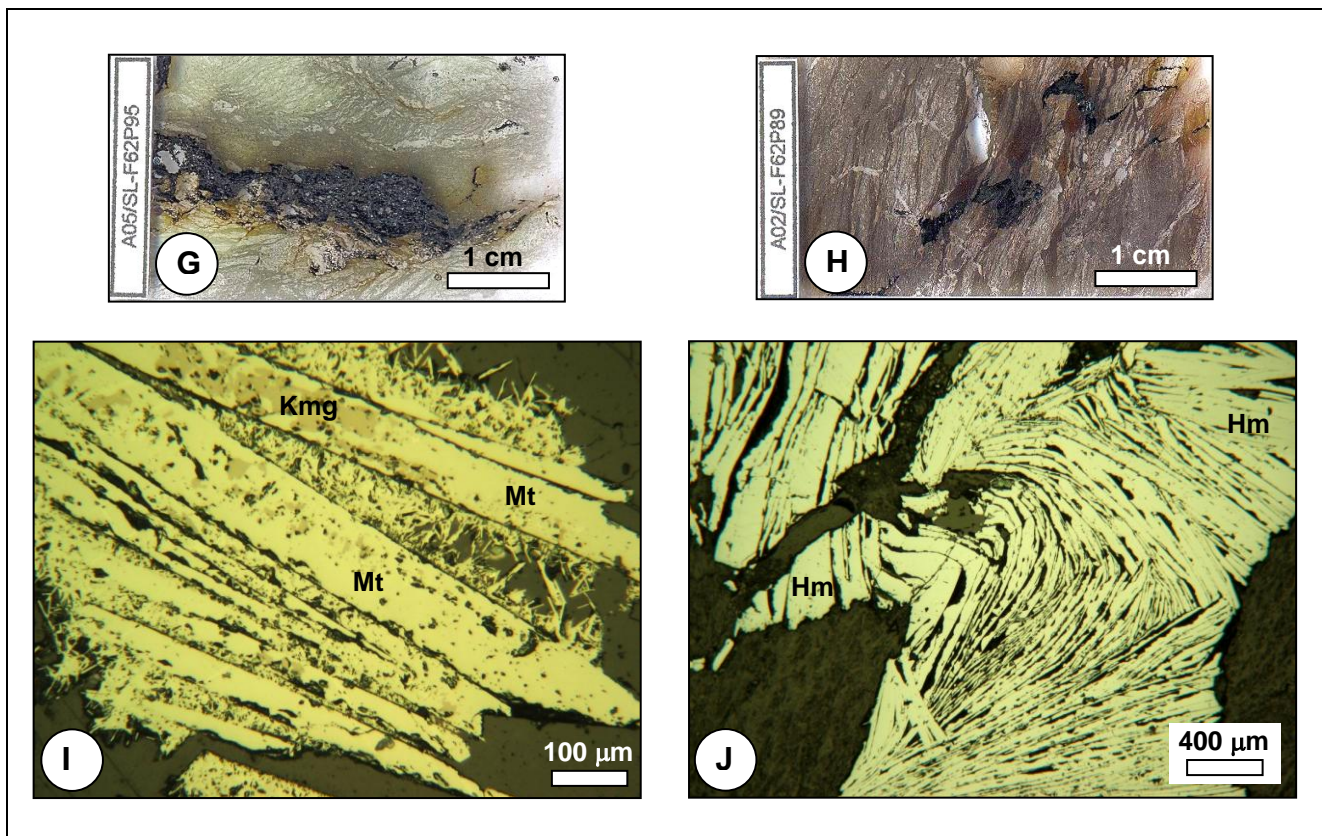


Figura 15 - (continuação) Prancha de fotos e fotomicrografias da rocha máfica hematitizada localizada no depósito SL1. **(G)** - Foto de superfície de lâmina delgada-polida da rocha máfica apresentando venulação de óxido de ferro, observar a zona de alteração em coloração marrom bordejando a venulação. **(H)** - Foto de lâmina de rocha máfica hematitizada com venulações de óxidos de ferro em posição subparalela a xistosidade. **(I)** - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita lamelar com relictos de kenomagnetita, bordados por hematita microlamelar (SL-F30-P183B). **(J)** - Fotomicrografia (LR e NC), venulação dobrada contendo hematita lamelar fibrosa (SL-F62-P89). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita e Hm - Hematita.

Tabela 6 - Síntese da descrição petrográfica das rochas vulcânicas máficas onde são informadas a textura geral da rocha e, na presença de óxidos de ferro, a forma predominante.

Amostra	Furo	Rocha	Textura	Qzo	Hm	Mt	Kmg	Clo	Plg	Pro	Ima	<1 (%)
ALC01	SL-F27-P053	Máfica	Inequigranular Hipoabissal	-	-	-	-	-	50	40	10	Cu Nat.
ALC03	SL-F27-P065	Máfica	Inequigranular Hipoabissal	-	-	-	-	-	50	40	10	Cu Nat.
ALC06	SL-F29-P064	Máfica	Inequigranular Hipoabissal	-	-	-	-	-	50	40	10	Cu Nat.
ALC17-A	SL-F30-P183-A	Máfica	Lepdoblástica	30	-	-	-	70	-	-	-	-
A22	SL-F79-P218	Máfica	Inequigranular Hipoabissal	-	-	-	-	-	50	40	10	Cu Nat.
ALC08-B	SL-F19-P102-B	Máfica Hma	Lepdogranoblástica	-	-	38	2	50	10	-	-	-
A26	SL-F19-P104	Máfica Hma	Lepdoblástica	-	-	39	1	60	-	-	-	-
ALC09	SL-F19-P150	Máfica Hma	Lepdoblástica	-	-	30	1	66	3	-	-	-
ALC10	SL-F19-P151	Máfica Hma	Lepdoblástica	-	-	42	1	50	7	-	-	-
A09	SL-F24-P187	Máfica Hma	Lepdoblástica	40	-	10	-	50	-	-	-	-
ALC17-B	SL-F30-P183-B	Máfica Hma	Lepdoblástica/Tabular-Microlamelar	40	-	18	2	40	-	-	-	-
ALC18	SL-F30-P184	Máfica Hma	Lepdoblástica/Microlamelar	30	-	28	2	40	-	-	-	-
A12	SL-F32-P140	Máfica Hma	Lepdoblástica/Tabular-Subédrica	40	-	20	-	40	-	-	-	-
A02	SL-F62-P089	Máfica Hma	Lepdoblástica/Tabular-Anédrica	40	20	-	-	40	-	-	-	-
A03	SL-F62-P092	Máfica Hma	Lepdoblástica/Tabular-Microlamelar	50	20	-	-	30	-	-	-	-
A04	SL-F62-P093	Máfica Hma	Microlamelar/Tabular	15	25	-	-	60	-	-	-	-
A05	SL-F62-P095	Máfica Hma	Lepdoblástica/Tabular-Microlamelar	15	25	-	-	60	-	-	-	-
A18	SL-F66-P165	Máfica Hma	Granoblástica/Subédrica	60	20	-	-	20	-	-	-	-

Martita é um termo textural-mineralógico designado para a hematita que ocorre como pseudomorfo da magnetita. A martita lamelar define cristais de forma placoíde que podem chegar a 0,5 mm de comprimento, no geral formando agregados de cristais delgados também descritos como hematita fibrosa. O termo hematita lamelar é utilizado na descrição de minério de ferro de alto teor nas regiões do Quadrilátero Ferrífero (Rosière *et al.* 2001) e Hamersley (Taylor *et al.* 2001); também é utilizado o termo hematita microlamelar para identificar cristais com seção losangular e comprimento entre 4 e 5 μm . A kenomagnetita, termo definido originalmente por Kullerud *et al.* (1969 *in* Morris 1980), é uma magnetita deficiente em Fe^{2+} apresentando coloração marrom. O termo hematita anédrica-subédrica (Figueiredo e Silva 2004) é utilizado para caracterizar cristais de granulação fina (+/- 20 μm) com bordas lobadas.

4.1.1.2 Anfíbolito

Anfíbolitos ocorrem na porção vulcanossedimentar do Grupo Rio Novo (Anexo I - Mapa Geológico), principalmente no entorno do Granito Estrela. As amostras descritas localizam-se a nordeste do Granito Estrela (*e.g.* LC-62, 129 e 164). Em escala mesoscópica, a rocha apresenta coloração esverdeada e granulação média com cristais de anfíbólio visíveis à vista desarmada (Figura 16.A, B e C). Os anfíbolitos são caracterizados por serem rochas duras e resistentes quando frescas. A textura pode variar entre granoblástica, na presença de pequena quantidade de quartzo e plagioclásio, e nematoblástica onde os anfibólios somam quantidade igual ou superior a 90 % da composição mineralógica (Figura 16.D).

No geral os anfíbolitos apresentam cristais de plagioclásio que podem chegar a 30 % da rocha; os cristais são anédricos e exibem granulação grossa em relação aos demais minerais; eventualmente é possível identificar porções contínuas de anfíbólio com aproximadamente 1 cm de espessura, intercaladas com quartzo.

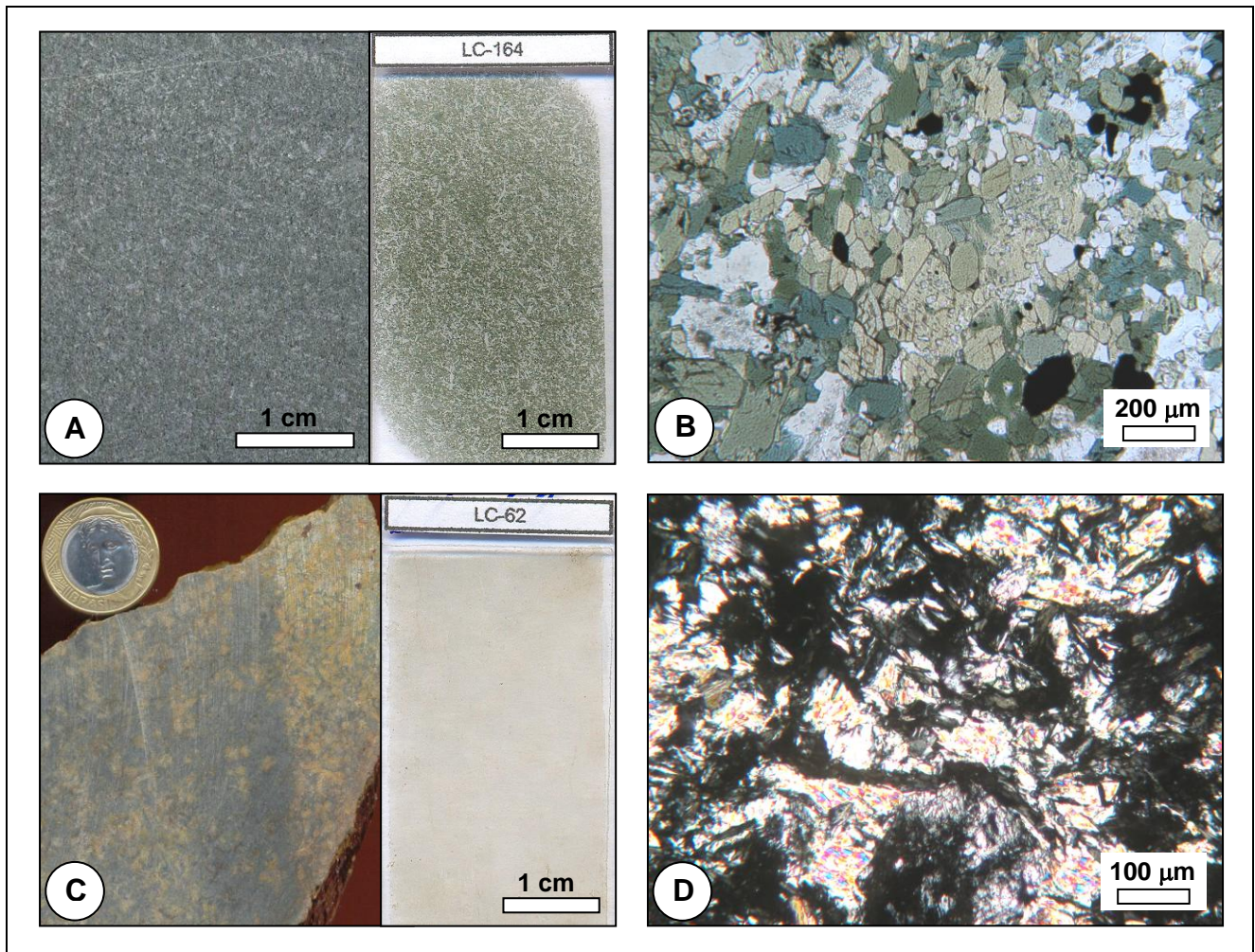


Figura 16 - Prancha de fotos e fotomicrografias de anfibolitos localizados a nordeste do Granito Estrela. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de anfibolito, observar a coloração esverdeada e o aspecto maciço da rocha. (B) - Fotomicrografia (LT e NP), cristais de hornblenda com coloração esverdeada típica (LC-164). (C) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada (direita) de anfibolito. (D) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de cristais de anfibólio apresentando textura nematoblástica (LC-62).

4.1.1.3 Formações Ferríferas

Na área de estudo as FFs apresentam distribuição e características variadas. A descrição petrográfica-mineralógica segue ordem de norte (Serra Leste) para sul (Platô do Cristalino) nessa área, incluindo na porção central as FFs que bordejam o Granito Estrela (Anexo I - Mapa Geológico). A síntese da descrição petrográfica das FFs encontra-se na tabela 7, no fim desse tópico.

Serra Leste

São raras as exposições de FF na região de Serra Leste. O autor identificou três ocorrências, sendo duas em trabalho de campo, e outra em amostra de furo de sondagem do depósito SL1. É importante destacar que os furos de sondagem amostrados não ultrapassam a profundidade de 250 m, talvez insuficiente para interceptar as camadas de FFs.

Uma amostra de FF (LC-19) foi identificada em afloramento de corte de estrada que faz acesso ao platô do depósito SL1, na escarpa sul da serra (Figura 17.A). A rocha exhibe, em escala mesoscópica, coloração cinza e foliação de transposição semelhante a uma laminação, apresentando dobras de escala milimétrica isoclinais e intrafoliais, localmente com charneira rompida. Em escala microscópica, a amostra LC-19 apresenta microbandamento registrado pela alternância de lâminas de martita com relictos de kenomagnetita e lâminas de quartzo e chert. A martita apresenta granulação grossa em relação a outras fases e comumente apresenta relictos de kenomagnetita no interior dos cristais. Localmente ocorrem porções contendo microbrechas e quartzo recristalizado (Figura 17.B); provavelmente essas feições são associadas à transposição que obliterou todas as estruturas primárias da rocha, incluindo bandamento e laminação.

A amostra de FF do furo de sondagem (SL1-F35-P62) apresenta bandamento registrado pela alternância de bandas de quartzo e bandas de óxido de ferro com em média 0,5 cm de espessura (Figura 17.C). Em escala microscópica é possível observar uma fina laminação com aproximadamente 0,5 mm de espessura, alternando porções de composição similar ao bandamento (Figura 17.D). O quartzo apresenta textura granoblástica com contato entre grãos com forma lobada, o diâmetro dos cristais é em média de 25 μm . Os óxidos de ferro são principalmente hematita e martita, na forma microlamelar, com até 10 μm de comprimento e anédricas. Cortando a trama da rocha ocorrem venulações subparalelas com espaçamento aproximado de 2 cm, contendo principalmente quartzo e goethita.

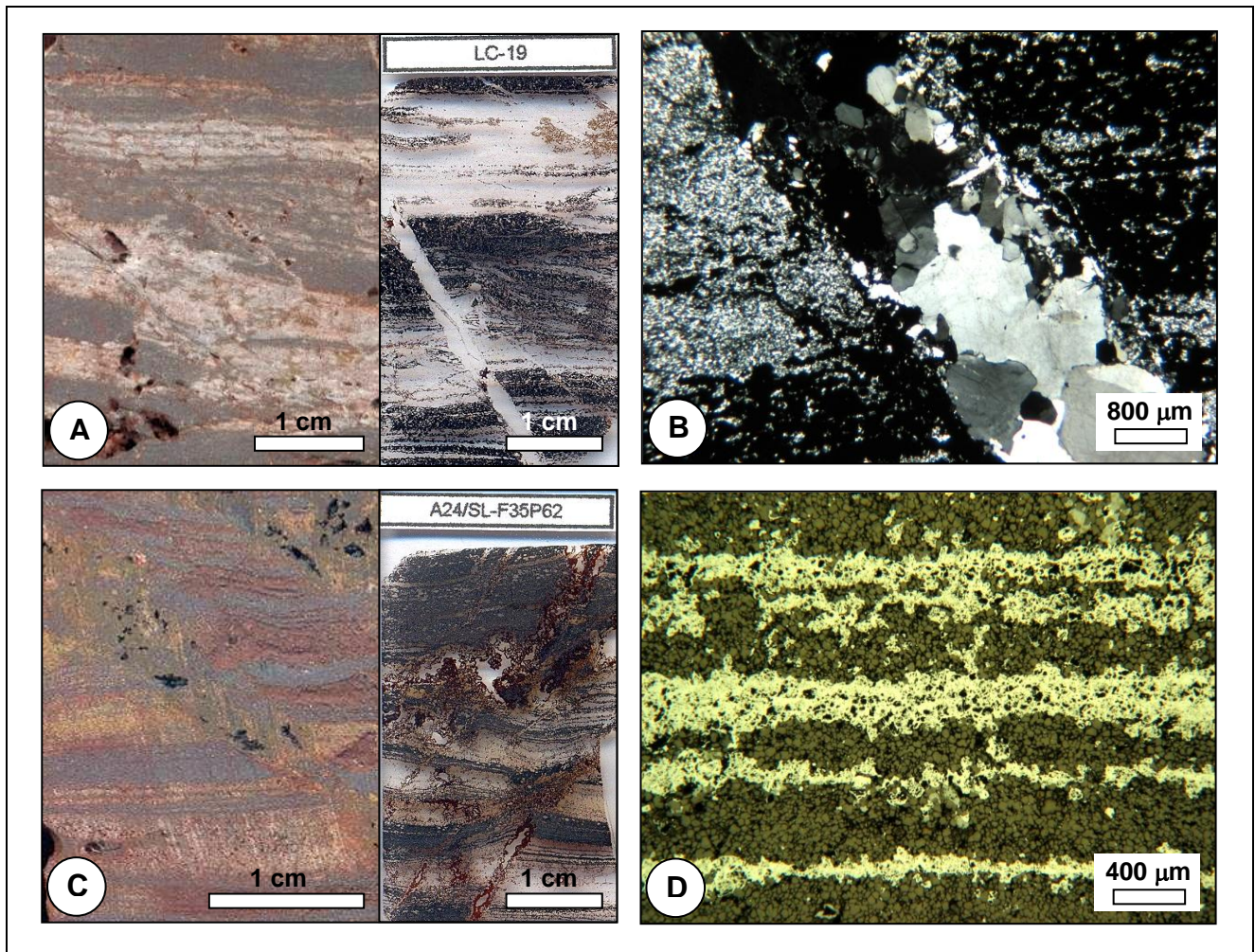


Figura 17 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs da região de Serra Leste. **(A)** - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita). Observar a foliação de transposição cortada por veios e venulações de quartzo. **(B)** - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de venulação de quartzo, observar a variação na granulação dos cristais (LC-19). **(C)** - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF, observar na lâmina a clivagem com aproximadamente 0.8 cm de espaçamento. **(D)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação na FF registrada pela alternância de porções contendo quartzo e chert e porções de óxidos de ferro, contendo principalmente martita (SL-F35-P62).

Entorno do Granito Estrela

Nas proximidades da borda do Granito Estrela, na região central da área de estudo, ocorrem FFs que experimentaram metamorfismo de contato e deformação associada a intrusão do Domo Estrela. As características estruturais e metamórficas dessa região são abordadas nos tópicos 4.2.2 (Domínios Estruturais) e 4.4.2 (Metamorfismo de Contato). Todas as amostras de FFs da porção central são de superfície e ocorrem ao longo das seqüências metavulcanossedimentares distribuídas no entorno do Granito Estrela, incluindo parcialmente as regiões de Serra Leste e Serra do Rabo. No geral as FFs ocorrem associadas à rocha máfica e anfibólitos.

Nas proximidades da borda nordeste do Granito Estrela existem várias amostras de FFs metamorfasadas (*e.g.* LC-04, 153 e 154), que no geral exibem características peculiares como uma franca textura granoblástica, registrada tanto nas porções quartzosas quanto nas porções de óxidos de ferro. As amostras apresentam quantidades variadas de anfibólio, predominando os membros ricos em ferro.

A amostra de FF LC-04 apresenta coloração marrom, granulação fina a média e magnetismo forte (Figura 18.A). Microscopicamente a rocha apresenta microbandamento pouco definido dado pela alternância de lâminas de martita e lâminas contendo minerais máficos e quartzo (Figura 18.B). Os minerais máficos são principalmente anfibólitos e subordinadamente ortopiroxênio; no geral a martita ocorre associada a esses minerais formando esteiras contínuas. O quartzo representa 35 % da composição mineralógica, ocorre recristalizado tendendo a formar textura em mosaico. O anfibólio (30 %) pertence à série da cummingtonita-grunerita, próximo ao extremo da grunerita. O mineral ocorre comumente intercrescido no quartzo. A martita (20 %) apresenta granulação média em relação ao restante; no núcleo dos cristais ocorrem relictos de kenomagnetita (10 %) com coloração avermelhada (Figura 18.C). Em menor proporção (5 %) ocorre goethita.

As amostras de FFs LC-153 e LC-154 apresentam características semelhantes (Figura 18.D), ambas exibindo bandamento com aproximadamente 1 cm de espessura, identificado pela alternância de porções quartzosas e porções esverdeadas contendo anfibólio, sendo que na amostra LC-154 as porções ricas em anfibólio também apresentam óxidos de ferro. Em escala microscópica, as FFs apresentam textura granoblástica, os cristais de quartzo são equigranulares, com em média 200 μm de diâmetro e tendem a formar contato interlobado e, em menor proporção, poligonal. Os cristais de anfibólio (hornblenda) são subédricos variando o comprimento entre 100 e 400 μm (Figura 18. E). Na amostra LC-154 o anfibólio (hornblenda) ocorre junto com magnetita e kenomagnetita; estes minerais tendem a ocupar os espaços entre os grãos de anfibólio e preencher fraturas e clivagens nos óxidos de ferro (Figura 18.F). A química dos anfibólitos é descrita detalhadamente no tópico 4.3.1 Microanálise em Anfibólitos.

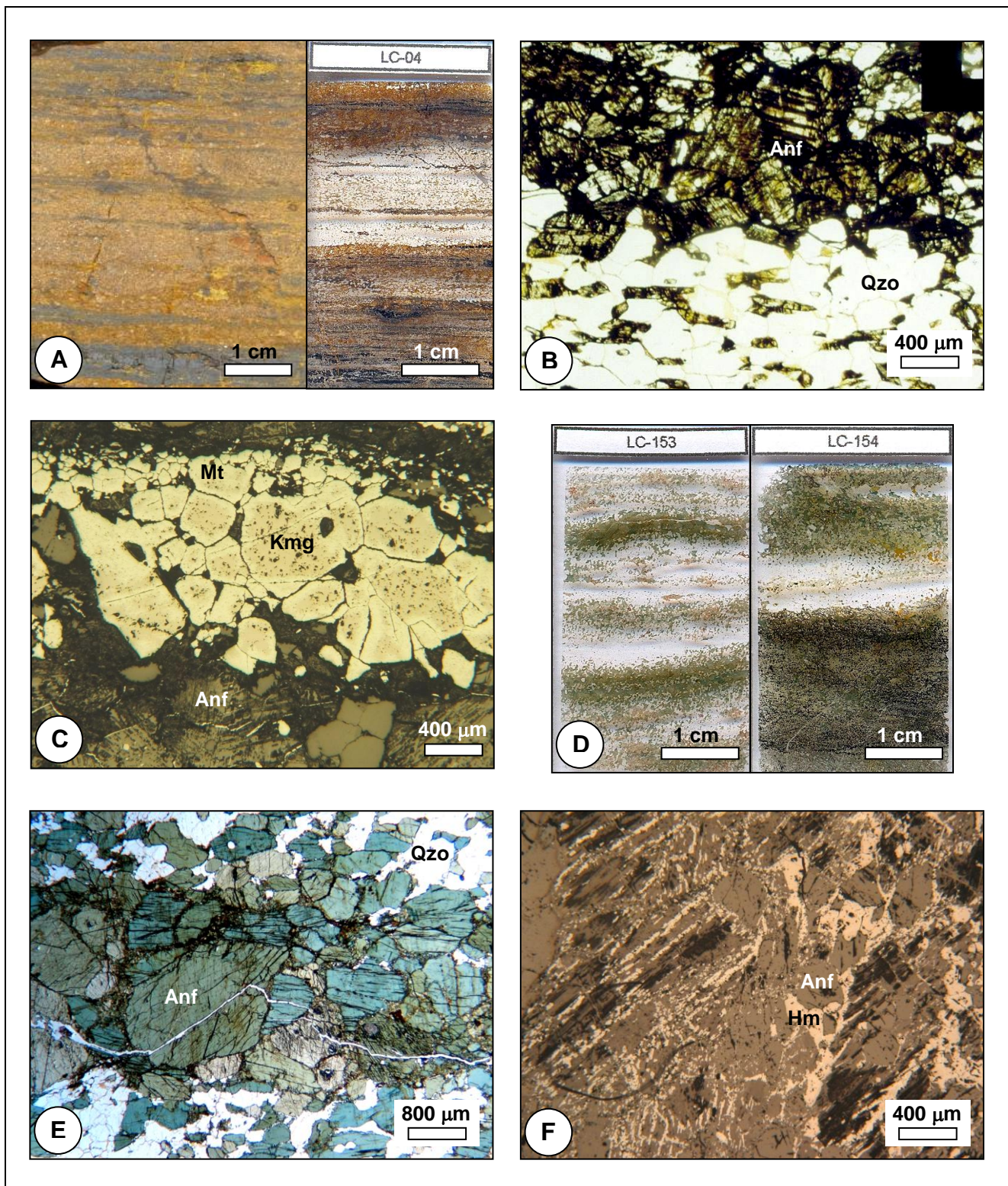


Figura 18 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região de entorno do Granito Estrela. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF anfibolítica localizada na região de Serra leste, observar o bandamento e as porções de coloração marrom ricas em anfibólio. (B) - Fotomicrografia (LT e NP), detalhe do bandamento, contato entre porções de quartzo e porções de anfibólio (LC-04). (C) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais de martita com relictos de kenomagnetita, observar na porção inferior da fotomicrografia cristais de anfibólio bordejados por finas camadas de óxidos de ferro (LC-04). (D) - Fotos de superfície de lâmina delgada-polida, aspecto geral das FFs anfibolíticas. (E) - Fotomicrografia (LT e NP), detalhe de cristais de hornblenda apresentando coloração típica esverdeada (LC-153). (F) - Fotomicrografia (LR e NC), óxidos de ferro preenchendo fratura e planos de clivagem nos cristais de anfibólio (LC-154). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita, Hm - Hematita, Anf - anfibólio e Qzo - quartzo.

Platô do Cristalino

Na região do Platô do Cristalino foram identificadas várias ocorrências de FFs, tanto em trabalho de campo (*e.g.* LC-58, 99, 100, 102, 109, 110 e 124) como em furos de sondagem no Depósito Cristalino (*e.g.* CRIS-F15-P: 175, 199, 202, 203 e CRIS-F21-P: 395, 398, 452, 457). As FFs do Platô do Cristalino são caracterizadas por conter pouco ou nenhum jaspe e, no geral, serem magnéticas (Figura 19.A, B, C, D, E e F). As amostras de FF apresentam laminação com em média 1 mm de espessura e bandamento local. A laminação é registrada pela alternância de porções esbranquiçadas ricas em quartzo e porções acinzentadas ricas em óxidos de ferro. A laminação é mais evidente nas porções quartzosas das FFs bandadas, onde é possível identificar níveis contínuos formando esteiras finas de óxidos de ferro intercaladas com quartzo ou chert (Figura 19.E).

As amostras de FFs do Depósito Cristalino apresentam bandamento e laminação, sendo localmente brechada e/ou dobrada. Relictos de jaspe nas porções quartzosas conferem às FFs do depósito característica peculiar descrita a seguir (Figura 19.C, E e J). O jaspe ocorre comumente em *pods* com até 5 cm de diâmetro, ao longo de lâminas com aproximadamente 1 mm de espessura (Figura 19.C). Em escala microscópica, as amostras apresentam textura predominante granoblástica com contato entre grãos variando entre interlobado e poligonal. O principal óxido de ferro é a magnetita (Figura 19.D) e, subordinadamente, ocorrem kenomagnetita e martita. Os cristais de magnetita são subédricos com 100 μm de diâmetro em média; ocorrem em agregados que tendem a formar porções maciças e homogêneas de magnetita ao longo da laminação (Figura 19.I). O quartzo representa em média 50 % da mineralogia. Os cristais variam entre subédricos e anédricos, com em média 100 μm de diâmetro; os cristais maiores podem exibir extinção ondulante e subgrãos. Venulações de calcita cortam a laminação da FF (Figura 19.G) e localmente percolam alguns milímetros ao longo da mesma.

Nos furos de sondagem que atravessam camadas de FFs, ocorrem porções brechadas (*e.g.* CRIS-F21-P: 392, 394, 436 e CRIS-F196-P88), onde é possível identificar apenas alguns clastos de FF. A matriz da brecha é composta principalmente por quartzo, contendo ainda carbonato (calcita) e calcopirita, em menor proporção. A calcita e calcopirita também ocorrem ao longo de venulações nas FFs. No geral a calcopirita ocorre subordinada à magnetita (Figura 19.H) com cristais anédricos com até 400 μm de diâmetro.

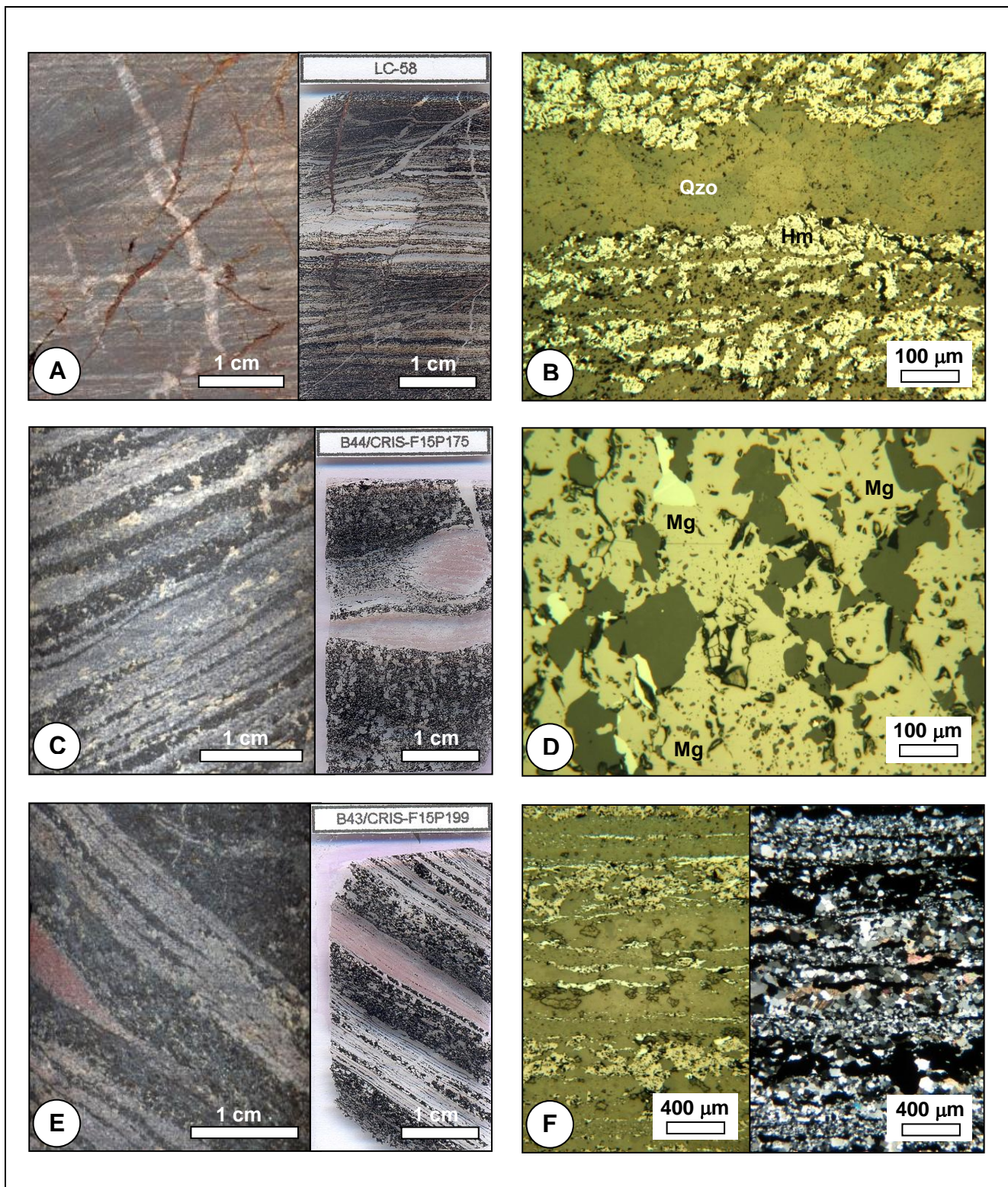


Figura 19 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região da Serra do Rabo. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF, com venulações cortando a laminação. (B) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação. Os óxidos de ferro são principalmente hematita anédrica (LC-58). (C) - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF do Depósito Cristalino. Observar na lâmina *pod* de deformação contendo jaspe. (D) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais anédricos de magnetita (CRIS-F15-P175). (E) - Fotos de testemunho de sondagem (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF do Depósito Cristalino. Observar laminação nas bandas de quartzo e banda contendo jaspe. (F) - Fotomicrografias (esquerda LR e NC, direita LT e NC), FF do Depósito Cristalino. Observar bandamento e laminação (CRIS-F21-P395). Legenda: Mg - Magnetita, Hm - Hematita e Qzo - quartzo.

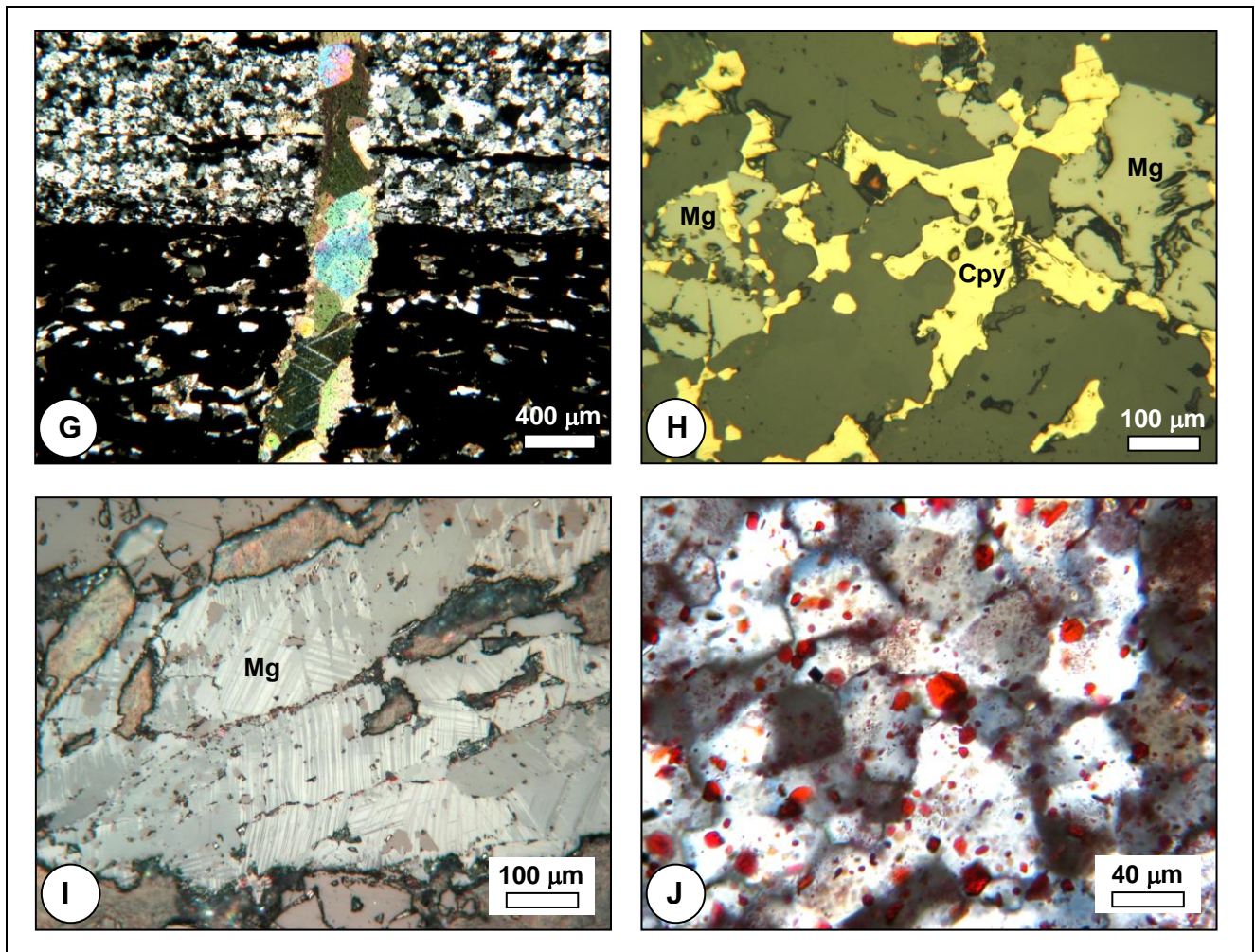


Figura 19 - (continuação) Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs localizadas na região da Serra do Rabo. **(G)** - Fotomicrografia (LT e NC), FF do Depósito Cristalino. Detalhe de venulação de calcita cortando o bandamento (CRIS-F15-P202). **(H)** - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de calcopirita e magnetita na FF do Depósito Cristalino (CRIS-F21-P398). **(I)** - Fotomicrografia (LR e NC), linhas de geminação em magnetita, FF do Depósito Cristalino (CRIS-F15-P199). **(J)** - Fotomicrografia (LT e NC), grãos de jaspe e chert em amostra de FF (CRIS-F15-P199). Legenda: Mg - Magnetita e Cpy - Calcopirita.

Tabela 7 - Síntese da descrição petrográfica das FFs, é informada a textura geral da rocha e a forma predominante dos óxidos de ferro.

Amostra	Localização	Rocha	Textura	Qzo	Jp	Mt	Kmg	Mg	Goe	Clo	Anf	Cb	<1 (%)
LC-04	22M-652354/9325056-231	FF	Granolepdoblástica/Granoblástica-subédrica	35	-	20	10	-	5	-	30	-	-
LC-19	22M-650211/9340153-413	FF	Granoblástica	60	-	30	10	-	-	-	-	-	-
LC-37	22M-617158/9336238-276	FF	Granoblástica/Subédrica	40	-	50	10	-	-	-	-	-	-
LC-38	22M-618946/9335482-246	FF	Lepdogranoblástica/Anédrica	60	-	30	10	-	-	-	-	-	-
LC-58	22M-641699/9296041-252	FF	Granoblástica/Anédrica	40	-	50	10	-	-	-	-	-	-
LC-69	22M-619488/9335227-262	FF	Granoblástica/Anédrica	50	-	45	5	-	-	-	-	-	-
LC-91	22M-629672/9302812-287	Jaspilito	Granoblástica/Anédrica-microlamelar	10	50	35	5	-	-	-	-	-	-
LC-95A	22M-629787/9297571-327	FF	Granoblástica/Anédrica	40	-	30	10	-	20	-	-	-	-
LC-95B	22M-629787/9297571-327	FF	Granoblástica/Anédrica	40	-	30	20	-	10	-	-	-	-
LC-103	22M-630247/9302623-313	Jaspilito	Granoblástica/Anédrica-lobada	10	30	40	20	-	-	-	-	-	-
LC-147	22M-624857/9308560-247	Jaspilito	Granoblástica/Subédrica-microlamelar	20	30	40	10	-	-	-	-	-	-
LC-153	22M-654698/9318845-186	FF	Granoblástica	60	-	-	-	-	-	-	40	-	-
LC-154	22M-654638/9318772-202	FF	Granolepdoblástica	35	-	-	5	10	-	-	50	-	-
A24	SL-F35-P062	FF	Granoblástica	40	-	30	10	-	20	-	-	-	-
B44	CRIS-F15-P175	FF	Granoblástica/Amebóide	30	10	-	10	40	-	-	-	10	-
B43	CRIS-F15-P199	FF	Granolepdoblástica/Amebóide-subédrica	40	10	-	10	35	-	-	-	5	-
B41	CRIS-F15-P202	FF	Granolepdoblástica/Tabular-amebóide	40	20	-	25	10	-	-	-	5	-
B42	CRIS-F15-P203	FF	Granoblástica/Anédrica	50	-	5	30	10	-	-	-	5	-
B28	CRIS-F21-P395	FF	Granoblástica-Inequigranular/Subédrica-Amebóide	30	-	-	5	35	-	15	-	5	-
B30	CRIS-F21-P398	FF	Granoblástica/Anédrica-Amebóide	50	-	-	5	30	-	5	-	10	Cpy
B36	CRIS-F21-P452	FF	Granolepdoblástica/Anédrica	40	-	-	5	35	-	10	-	10	Cpy
B38	CRIS-F21-P457	FF	Granolepdoblástica/Anédrica	40	-	-	5	35	-	5	-	15	Cpy
B31	CRIS-F21-P392	FF brechada	Granoblástica	40	-	-	-	-	-	40	-	20	Cpy
B32	CRIS-F21-P394	FF brechada	Granolepdoblástica/Anédrica-Amebóide	40	-	-	-	30	-	20	-	10	Cpy
B34	CRIS-F21-P436	FF brechada	Granoblástica	60	-	-	-	-	-	20	-	20	Cpy-Mg
B47	CRIS-F196-P88	FF brechada	Granoblástica	55	-	-	-	20	-	20	-	5	Cpy

4.1.1.4 Corpos de Minério de Ferro de Alto Teor em Serra Leste

Na região de Serra Leste o minério de ferro ocorre principalmente como corpos compactos constituídos de hematita/martita (Figura 20.A, B e C), sendo os depósitos denominados SL1, SL2 e SL3. No presente trabalho apenas o depósito SL1 é objeto de estudo. Os corpos de minério de ferro são encaixados em rocha máfica e apresentam forma lenticular descontínua, mergulhando aproximadamente para sul. Ocorrências de FFs na região dos depósitos são raras, tanto em superfície quanto em furos de sondagem do SL1.

A CVRD reconhece seis tipos litológicos na região: hematitito duro, hematitito macio, minério de baixo teor, canga de minério, máfica decomposta e laterita de vulcânica (ou canga química). Hematitito duro (Hematita Dura - HD) e hematita compacta são termos similares, utilizados na mineração para identificar minério de ferro de alto teor, com sílica baixa e textura maciça; características que permitem que esse minério seja usado como granulado nos processos de obtenção de ferro via redução direta (*e.g.* Vilela *et al.* 2004).

Depósitos coluvionares inconsolidados de hematita compacta ocorrem associados ao corpo SL1 (Figura 20.D). Os colúvios formam bolsões nas encostas não ultrapassando 0,5 m de espessura. Os fragmentos rolados apresentam granulometria variando de seixo a bloco, no geral classificados como bem arredondados com baixa esfericidade. Em função da área fonte, os rolados podem ser maciços ou laminados; ocasionalmente, podem apresentar carapaça limonítica e cavidades centimétricas. O transporte do material ocorre ao longo de canais esculpido pela erosão, próximo aos afloramentos de hematita compacta.

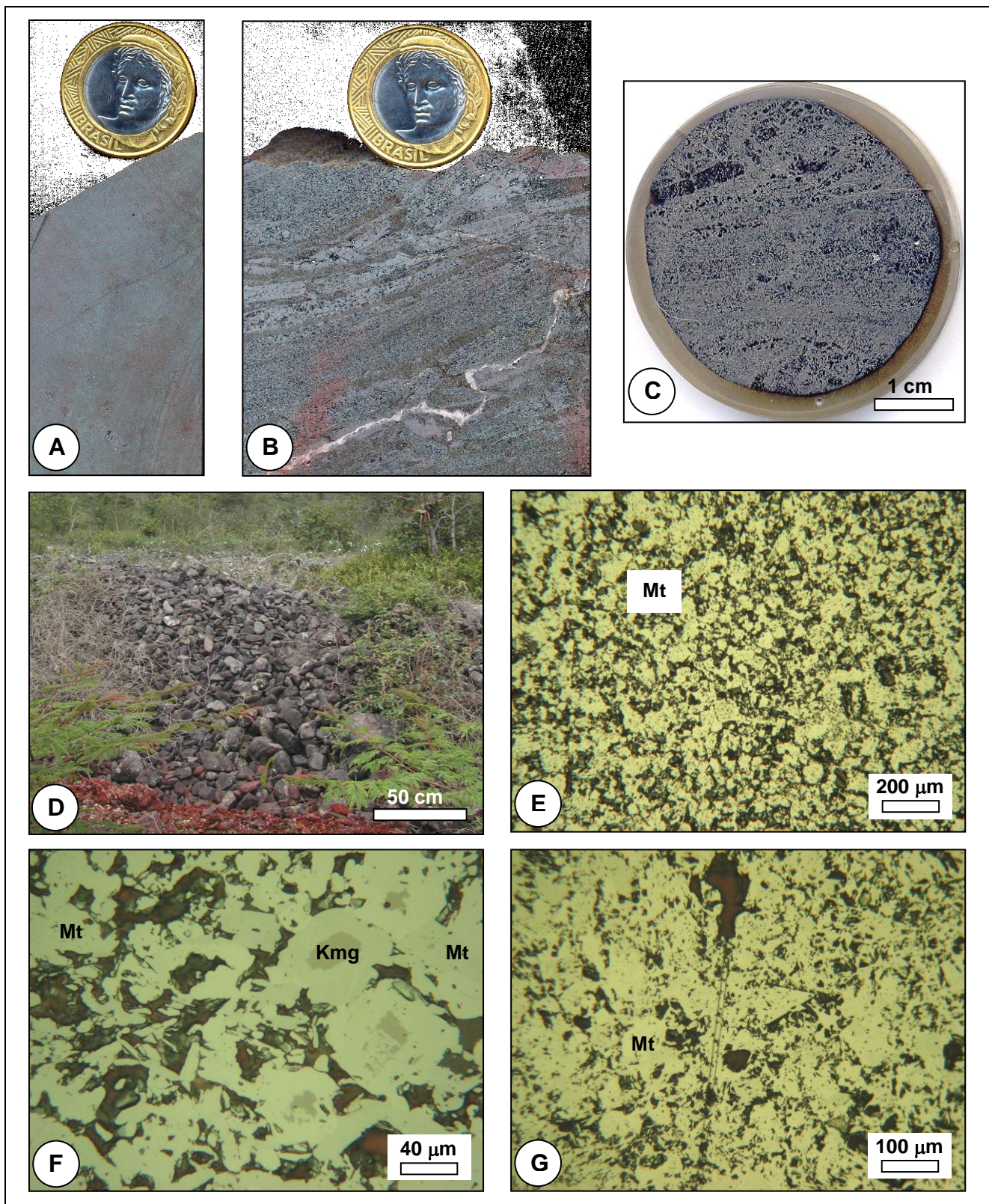


Figura 20 - Prancha de fotos e fotomicrografias do minério de ferro compacto do depósito SL1. (A) - Foto de testemunho de sondagem de minério de ferro compacto (SL-F66-P150). (B) - Foto de testemunho de sondagem de minério de ferro compacto. Observar veio de quartzo paralelo à laminação (SL-F19-P099). (C) - Foto de seção polida de minério de ferro compacto com relictos de laminação (SL-F83-P33). (D) - Foto de colúvio de hematita compacta localizado próximo ao depósito SL1. (E) - Fotomicrografia (LR e NC), textura geral do minério de ferro compacto (SL-F32-P99). (F) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe de cristais de martita com relictos de kenomagnetita (SL-F79-P97). (G) - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita subédricos bordejados por hematita microlamelar (SL-F32-P138). Legenda: Mt - Martita e Kmg - Kenomagnetita.

Na jazida SL1 martita é o óxido de ferro predominante (Figura 20.E, F e G), os cristais ocorrem na forma microlamelar e anédrica com em média 50 µm de diâmetro. Comumente os cristais de martita apresentam relictos de kenomagnetita no centro dos grãos, localmente apresentando seção losangular. Quartzo ocorre em menor proporção na forma de venulações e disperso na matriz ocupando os espaços entre os óxidos de ferro.

O minério (HD) apresenta textura granoblástica com contato entre grãos interlobado. É relativamente comum identificar fragmentos de laminação dispersos na matriz do minério (Figura 20. B e C). As lâminas são compostas essencialmente de hematita anédrica apresentando granulação fina (<10 µm). São interpretadas como estruturas reliquiares herdadas do protominério, ou seja, uma FF laminada. A síntese da descrição petrográfica do minério de ferro (HD) do depósito SL1 encontra-se na tabela 8.

Tabela 8 - Síntese da descrição petrográfica do minério de ferro (HD) do depósito SL1, é informada a textura geral da rocha e a forma predominante dos óxidos de ferro.

Amostra	Localização	Rocha	Textura	Qzo	Mt	Kmg	<1%
LC-88	22M-653493/9343842-259	HD	Granoblástica/Subédrica	40	55	5	-
LC-114	22M-644761/9288175-540	HD laminado	Granoblástica/Anédrica-lobada	10	85	5	-
LC-131	22M-659111/9294591-283	HD	Anédrica	10	80	10	-
ALC07	SL-F19-P099	HD laminado	Microlamelar	10	85	5	-
ALC08-A	SL-F19-P102-A	HD	Microlamelar	10	85	5	-
ALC12A	SL-F29-P020	HD laminado	Granoblástica	20	60	20	-
ALC15	SL-F29-P034	HD	Tabular	10	80	5	Tc
ALC16	SL-F31-P004	HD laminado	Anédrica	10	85	5	-
ALC15A	SL-F31-P028	HD	Anédrica/Microlamelar	10	85	5	-
A10	SL-F32-P099	HD	Anédrica/Microlamelar	38	60	2	-
A11	SL-F32-P138	HD	Subédrica/Microlamelar	28	70	2	-
A01	SL-F62-P062	HD	Subédrica/Microlamelar	28	70	2	-
A17	SL-F66-P150	HD	Subédrica/Microlamelar	20	78	2	-
A19	SL-F79-P097	HD	Subédrica/Microlamelar	30	68	2	-
A07	SL-F83-P033	HD	Subédrica/Microlamelar	40	58	2	-

4.1.2 Grupo Grão Pará

O Grupo Grão Pará, como definido por Araújo & Maia (1991), é composto por FFs da Formação Carajás, metavulcânicas da Formação Parauapebas e rochas metassedimentares da Formação Águas Claras. Na área de estudo o Grupo Grão Pará, incluindo as formações Carajás e Parauapebas, ocorre na porção centro-oeste, nas regiões do Platô da Água Boa e extremo leste da Serra Norte (Anexo I - Mapa Geológico). A Formação Águas Claras ocorre em área adjacente, a oeste da área de estudo. A seqüência metavulcanossedimentar Grão Pará é discordante em relação aos complexos Xingu e Estrela e ao granito central de Carajás.

Apesar de não ocorrer na região de estudo, é importante frisar que a Formação Águas Claras é interpretada por Araújo e Maia (1991) como a porção sedimentar de topo da seqüência Grão Pará, de maneira similar a porção sedimentar do Grupo Rio Novo. A unidade Águas Claras é composta por rochas pelíticas com contribuição química subordinada e arenitos conglomeráticos subarcosianos, localmente brechados. O topo da unidade é representado por siltitos e argilitos, apresentando laminação rítmica, localmente associados a camadas ricas em manganês.

4.1.2.1 Formação Parauapebas

A Formação Parauapebas é representada por seqüência vulcânica máfica-félsica, metamorfisada na fácies xisto-verde, composta essencialmente por metabasaltos e metadacitos. Estudos petrográficos de Zucchetti & Lobato (2004) abrangem rochas vulcânicas e piroclásticas/vulcanoclásticas dessa formação nos depósitos de Serra Norte (N4 e N5). As rochas extrusivas são classificadas como basaltos e andesitos basálticos de filiação cálcio-alcalina, afetadas por metamorfismo (espilitização) e hidrotermalismo de fundo oceânico.

Estruturas primárias são reconhecidas, como texturas porfirítica, glomeroporfirítica e variolítica, também plagioclásio randômico e amígdalas. As rochas piroclásticas/vulcanoclásticas apresentam *shards* na matriz recristalizada e fragmentos de basalto amigdaloidal. A preservação de minerais hidrotermais de fundo oceânico sugere que o metamorfismo que se seguiu foi de baixo grau. Nas rochas máficas da unidade Parauapebas hematita granular e lamelar preenchem amígdalas, veios e vênulas, além de recobrir minerais silicáticos e matriz.

4.1.2.2 Formação Carajás

A Formação Carajás faz parte do Grupo Grão Pará, definida em 1972 pela CVRD e CMM, compreende corpos descontínuos lenticulares de FF e de minério de ferro, associados lateralmente e verticalmente a rochas vulcânicas da Formação Parauapebas. A unidade hospeda depósitos de minério de ferro, com reserva aproximada de 18 bilhões de toneladas a um teor médio de 66 % de ferro, além de recursos ainda não estimados precisamente.

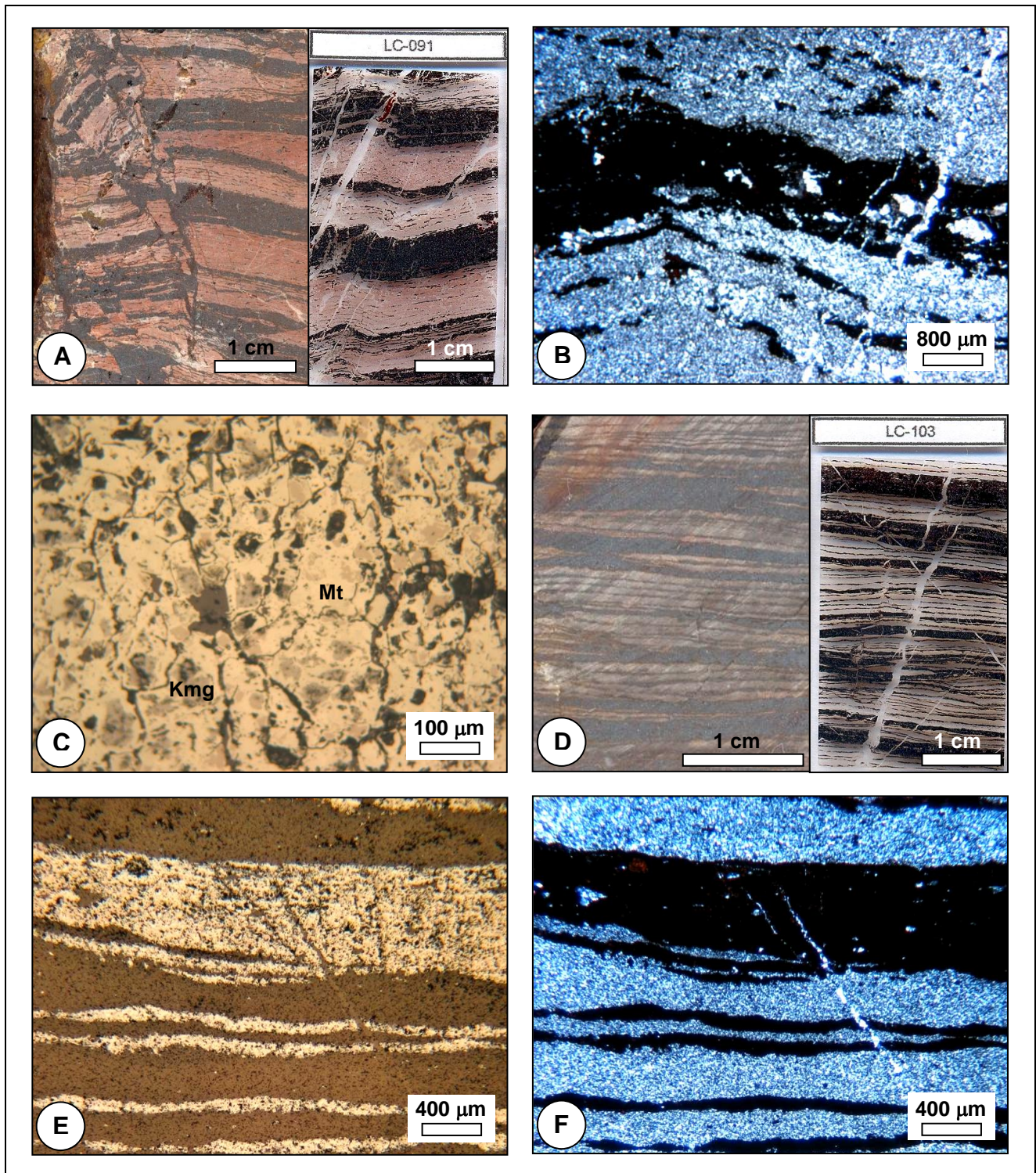


Figura 21 - Prancha de fotos e fotomicrografias das FFs da Formação Carajás, localizadas na região do Platô da Água Boa. (A) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de jaspilito. Observar falhas na amostra e veios de quartzo cortando o bandamento na lâmina. (B) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe do bandamento e laminação da FF (LC-91). (C) - Fotomicrografia (LR e NC), cristais de martita com relictos de kenomagnetita (LC-91). (D) - Fotos de amostra (esquerda) e superfície de lâmina delgada-polida (direita) de FF bandada e laminada. (E) - Fotomicrografia (LR e NC), detalhe da laminação em FF, registrada pela alternância de porções de óxidos de ferro, principalmente magnetita, e porções de chert (LC-103). (F) - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe da laminação em FF, registrada pela alternância de porções de óxidos de ferro, principalmente magnetita, e porções de chert (LC-103). Legenda: Mt - Martita e Kmg - Kenomagnetita.

Em Serra Norte, as FFs da unidade Carajás são descritas como jaspilitos e representam o protominério dos depósitos de ferro de Carajás. De acordo com Meirelles (1986), os jaspilitos são caracterizados por apresentar um bandamento rítmico composicional em escalas milimétrica e centimétrica, em média de 3 mm a 3 cm, definido pela alternância de bandas de minerais opacos (*e.g.* hematita, magnetita e/ou martita) e bandas de coloração avermelhada compostas de jaspe (chert com hematita criptocristalina disseminada) e chert. Essas rochas apresentam composição variável com em média 17 a 43 % de Fe e 35 a 61 % de SiO₂ (Beisiegel *et al.* 1973). Figueiredo e Silva (2004) descreve detalhadamente características petrográficas e geoquímicas de jaspilitos e minérios de ferro dos depósitos N1, N4W, N4E e N5E todos localizados na Serra Norte.

As FFs do Grupo Grão Pará na região do platô da Água Boa podem ser ou não jaspilíticas (Figura 21.A, B e D). Várias ocorrências de FFs com jaspe foram identificadas na escarpa norte do platô (*e.g.* LC-89, 90, 91, 103, 104 e 105), juntamente com FFs contendo chert puro (*e.g.* LC-103). No geral ambas apresentam bandamento e laminação, e comumente as bandas de quartzo são mais espessas do que as bandas de óxidos de ferro, com em média de 1 e 0,5 cm de espessura respectivamente. Estruturas resultantes de compactação diferencial de sedimentos inconsolidados como *pods*, afinamento de bandas e brechamento localizado são comuns na região.

Em escala microscópica, as FFs da Água Boa apresentam laminação com espessura variando entre 1 e 0,1 mm (Figura 21.E e F). O óxido de ferro principal é a martita (Figura 21.C e E); no geral o mineral apresenta forma anédrica e ocorre como agregados maciços, compondo a laminação das FFs. É comum observar relictos de kenomagnetita de coloração vermelho-castanha no centro dos cristais de martita. Ocorrem porções de chert ou jaspe; localmente se observam bandas de jaspe descoloridas.

4.1.3 Complexo Estrela

O Complexo Estrela (Barros 1977) compreende granitos, monzonitos, sienitos e dioritos, a unidade é sin-orogênica e intrusiva em relação às rochas vulcanossedimentares do Grupo Rio Novo, apresentando eixo de alongamento com direção E-W, e produzindo auréola de metamorfismo de contato nessas últimas rochas. A deformação do plúton granítico ocorreu predominantemente por achatamento, desenvolvendo xistosidade com orientação E-W, e milonitização localizada nas margens do plúton e nas encaixantes, que incluem rochas metavulcânicas máficas, xistos de composição ultrabásica, FFs, quartzitos e rochas cálcio-silicáticas. Portanto, localmente é correto utilizar o termo granito-gnaiss Estrela. Com o objetivo de padronizar optou-se por utilizar o termo Granito Estrela, largamente empregado na literatura (Barros 1977).

Estudos realizados por Sardinha *et al.* (2006) indicam que granitos que ocorrem na Serra do Rabo, na porção sul da área de estudo, apresentam idade (2,7 Ga) e características estruturais similares aos granitos Estrela e Plaquê. Os granitos sintectônicos com idade de 2,7 Ga, que produziram auréolas de metamorfismo de contato nas rochas encaixantes em graus variados, foram agrupados em uma única unidade no mapa geológico denominada Suíte Plaquê / Granito Estrela / Granito Serra do Rabo (Anexo I - Mapa Geológico).

Relações de campo e estudos de petrografia metamórfica realizados por Barros (1997) indicam que as rochas do Complexo Estrela intrudiram em ambiente crustal raso e tectonicamente ativo, interpretado por Rosière *et al.* (2005) como ambientes de fechamento de bacias do tipo retro-arco ou intra-arco, onde foram depositadas as seqüências vulcanossedimentares.

4.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

4.2.1 O Problema das Estruturas Diagenéticas e Tectônicas

Para diferenciar estruturas tectônicas das estruturas associadas à deformação de sedimentos macios (*soft sediments*), o autor utilizou como critério o grau de propagação das mesmas nas FFs. No geral estruturas associadas ao comportamento hidrolástico são limitadas por bandas nas FFs (Figura 22. D e F), além de usualmente serem aleatórias, não obedecendo nenhum padrão ou estilo, enquanto, estruturas tectônicas se propagam de forma contínua e pervasiva na rocha (Figura 23.A, E e F), e também podem apresentar um padrão definido em escala regional.

Na região ocorrem estruturas primárias (diagenéticas) e secundárias (tectônicas) principalmente nas FFs, sendo necessários critérios bem definidos para diferenciar e interpretar as mesmas. Na área de estudo o autor interpreta que a grande maioria do bandamento e laminação observados nas FFs (Figura 22.A, B, C, D, E e F), são estruturas primárias e, portanto, representam o acamamento, salvo raras exceções, onde essas estruturas foram obliteradas por uma foliação de transposição, com características texturais semelhante a uma laminação primária (*e.g.* LC-19). A hipótese do bandamento e laminação nas FFs representar o acamamento é largamente aceita na literatura científica para FFs de várias localidades (*e.g.* Trendall & Morris 1983). A ciclicidade e continuidade do bandamento das FFs, nas várias escalas de observação, provavelmente é controlada por fatores físico-químicos, que podem gerar estruturas mais ordenadas (ou alternativamente com menor grau de entropia), em relação a processos caóticos como correntes de turbidez e processos governados por fatores biológicos, hipótese também aceita por Harnmeijer (2003).

Nas FFs é comum observar estruturas primárias relacionadas à deformação de sedimentos macios não litificados, principalmente para as FFs das regiões do Platô da Água Boa e Depósito Cristalino (Figura 22. D, E e F). Sedimentos ricos em água, como certamente foram as FFs na bacia de sedimentação, comumente respondem ao *stress* de maneira hidrolástica (Elliot 1965 *in* Davis 1984), onde a configuração dos sedimentos pode ser distorcida facilmente, porque os grãos são amortecidos por uma película de água e podem se mover de forma independente em relação aos grãos adjacentes. Geralmente o bandamento e a laminação nas FFs refletem a distorção gerada pelo comportamento hidrolástico, seja pelo afinamento das bandas com desenvolvimento de *pods*, resultado do empilhamento, compactação e silicificação dos sedimentos, ou seja por estruturas que podem estar associadas a instabilidade da bacia de sedimentação geradas em resposta a pequenos sismos como, por exemplo, dobras convolutas, *slump*, microbrechas localizadas e falhas intrabanda (Figura 22.D, E e F).

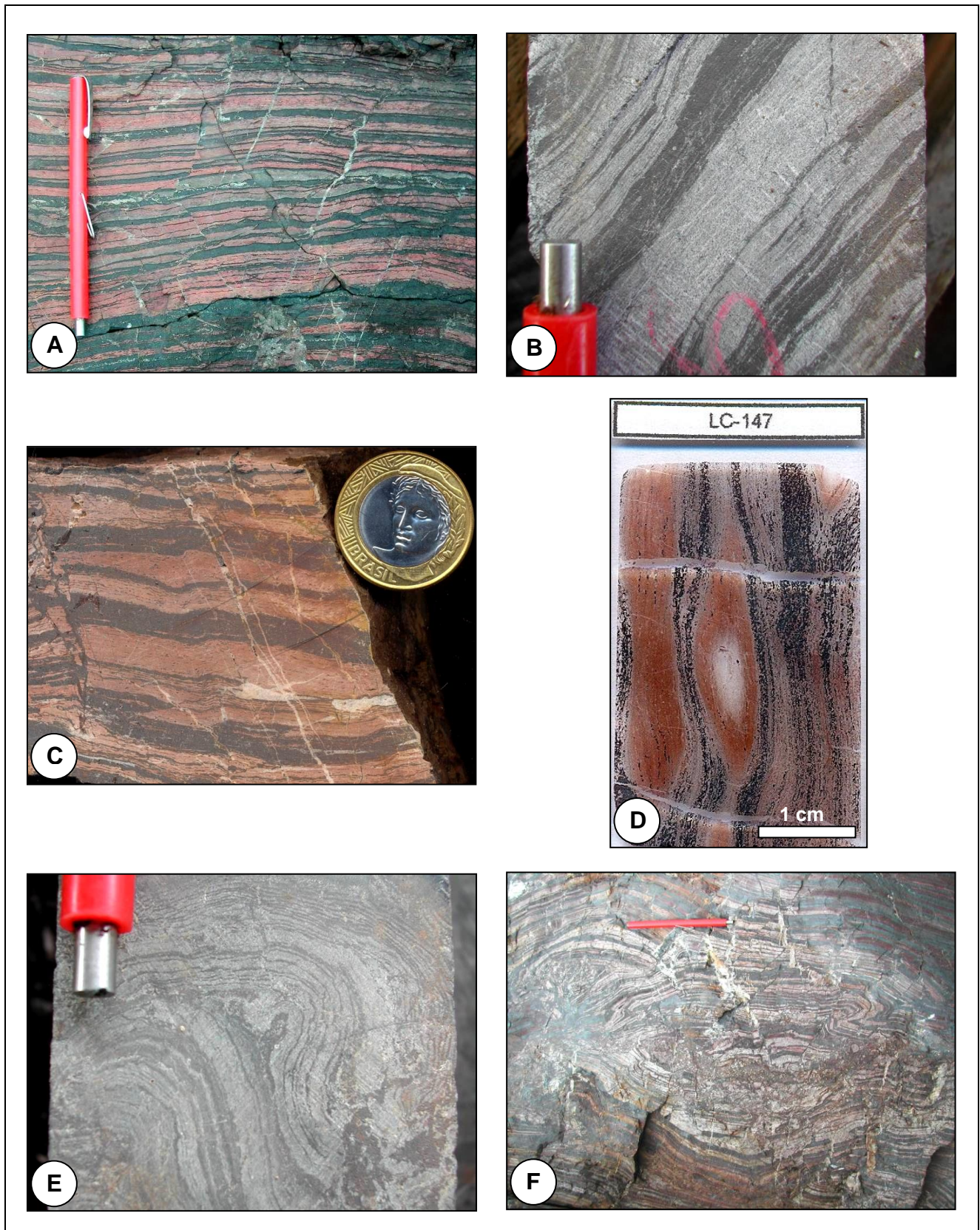


Figura 22 - Prancha de fotos de estruturas diagenéticas em FFs da região de estudo. (A) - Afloramento de jaspilito localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa, observar bandamento típico da rocha (LC-91). (B) - Amostra de testemunho de sondagem do Depósito Cristalino, observar afinamento de bandas na porção inferior-direita da foto. (C) - Detalhe de amostra de jaspilito (LC-91). (D) - Foto de lâmina, observar *pods* apresentando forma amendoada típica. (E) - Detalhe de dobra convoluta em amostra de FF do Depósito Cristalino. (F) - Detalhe de brecha intrabanda, afloramento de FF localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-104).

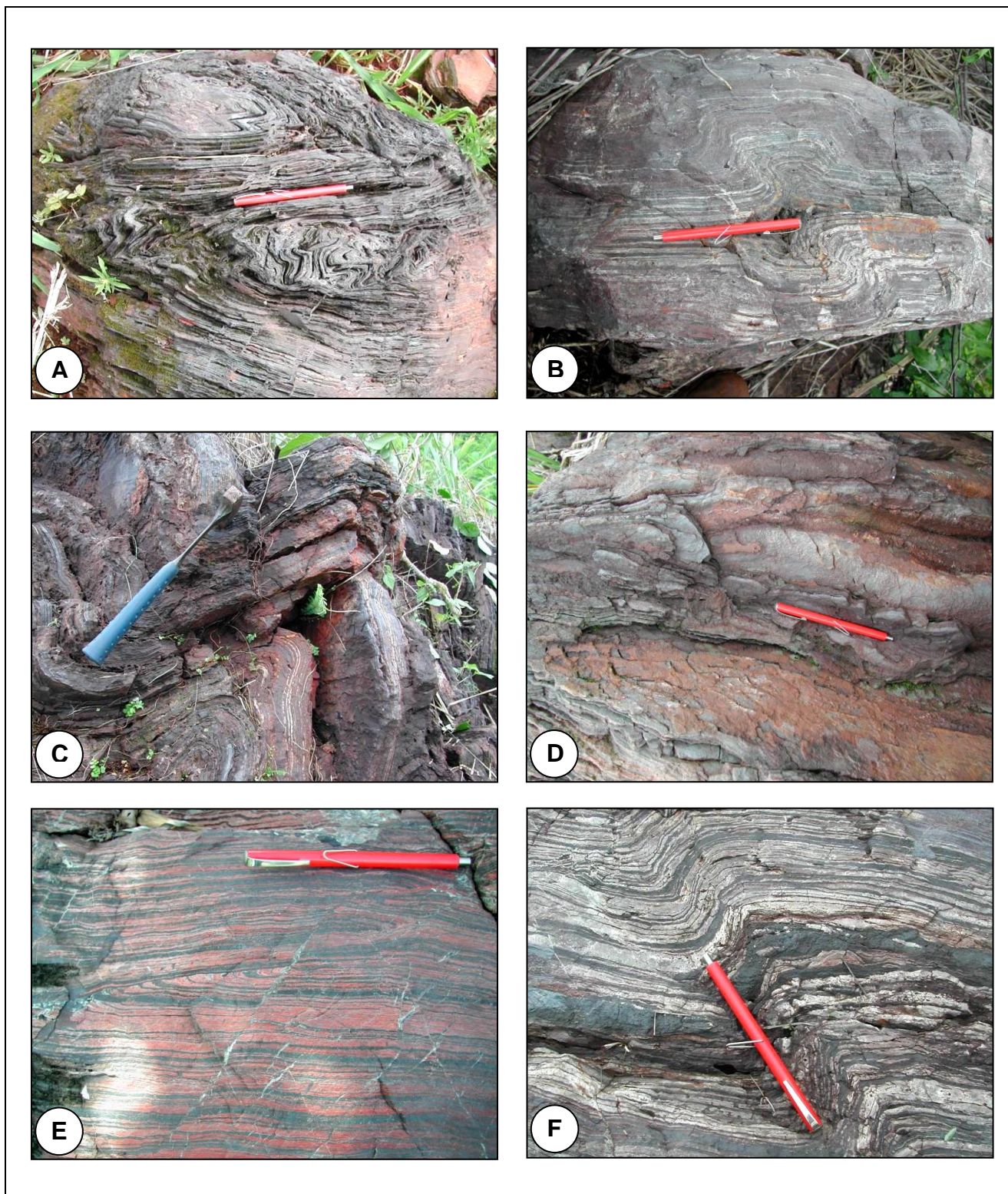


Figura 23 - Prancha de fotos de estruturas tectônicas em FFs da região de estudo. (G) - Dobras centimétricas com charneira angulosa em minério de ferro compacto laminado, afloramento localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-105). (H) - Detalhe de dobras em caixa em FF (LC-105). (I) - Dobras com charneira angulosa em FF, afloramento localizado na escarpa sul do Platô da Água Boa (LC-95). (J) - Dobra apresentando charneira sinuosa em HD laminado (LC-95). (L) - Detalhe de micro-falha inversa em jaspilito, afloramento localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (LC-103) (M) - Detalhe de *kink band* em FF (LC-105).

As estruturas secundárias ou tectônicas são registradas principalmente na porção sedimentar-química das seqüências. As FFs exibem uma grande variedade de estilos de dobramento ,(e.g. dobra com charneira angulosa, dobra em caixa, Figura 23.A, B, C, D e F), as dobras podem variar de abertas a isoclinais eventualmente apresentando flanco rompido. Já os eixos variam de retilíneos a sinuosos (Figura 23.C e D).

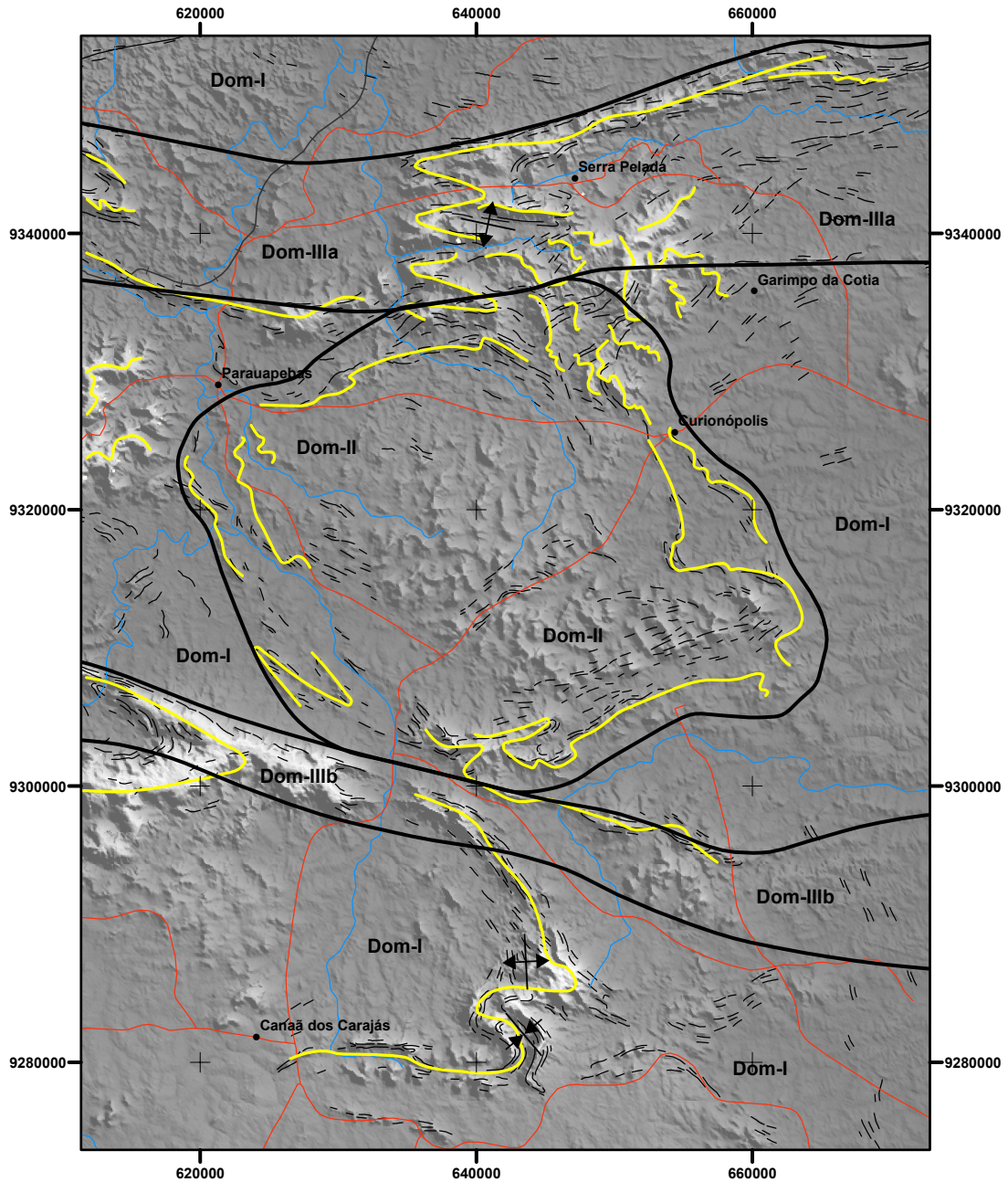
4.2.2 Domínios Estruturais

A análise de imagens de satélite e radar (e.g. Landsat e MDT), combinada com dados de trabalho de campo permitiu dividir a região de estudo em três domínios estruturais (Figura 24), definidos de acordo com as características do acervo estrutural e regimes de deformação predominantes em cada domínio.

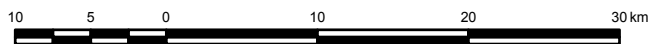
4.2.2.1 Domínio Estrutural I

O Domínio Estrutural I é composto basicamente por rochas metavulcanossedimentares do Grupo Rio Novo e em menor proporção por rochas granito-gnaissicas do Complexo Xingu na porção norte da área de estudo. A região é caracterizada por dobras em escalas macroscópica e mesoscópica com direção plano axial aproximadamente E-W, em geral são dobras suaves a moderadamente apertadas.

A análise de 257 lineamentos indica o predomínio de estruturas com direção variando entre N90W e N80W, e secundariamente estruturas de direção N65E e N35W (Figura 25.A). Os lineamentos de direção aproximada E-W são claramente associados ao encurtamento de direção N-S, já os lineamentos secundários podem estar relacionados à interferência de outros domínios, ou ainda, a estruturação primária das seqüências vulcanossedimentares, que originalmente apresentavam *strike* N-S.



ESCALA 1:500.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: WGS84

Origem das coordenadas: Equador e meridiano 51°W. Gr.,
acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS E GEOLÓGICAS

- +—+—+—+—+ Ferrovias
- Localidade
- Estrada
- Drenagem
- Fotolineamento, no geral representam a continuidade das seqüências vulcano-sedimentares
- Provável continuidade das seqüências vulcano-sedimentares
- Limite dos domínios estruturais

Figura 24 - Imagem fotointerpretada com os principais domínios estruturais da porção leste da Província Mineral de Carajás, base cartográfica Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005). Legenda: (Dom-I) Domínio Estrutural I, (Dom-II) Domínio Estrutural II e (Dom-III) Domínio Estrutural III, (a) Zona de Cisalhamento do Cinzento e (b) Zona de Cisalhamento de Carajás.

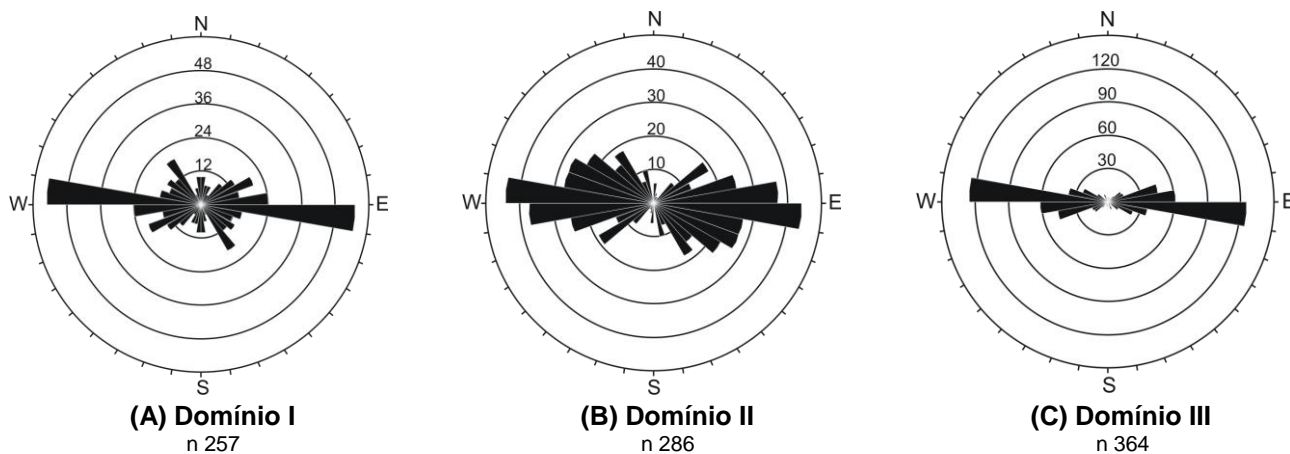


Figura 25 - Diagramas de roseta representando os fotoneamentos dos três domínios estruturais.

Estruturas Tectônicas da Serra do Rabo

Na porção sul da área de estudo, inserida no Domínio Estrutural I, na região da Serra do Rabo próximo ao platô do Cristalino, estruturas tectônicas são reconhecidas principalmente nas FFs e na hematita compacta (Figura 26, E e F) e subordinadamente em cangas estruturadas, onde são identificadas estruturas reliquiares como, por exemplo, bandamentos e foliações dobrados, estruturas herdadas das FFs.

Na região do Platô do Cristalino, as dobras foram medidas sistematicamente em cangas estruturadas, gerando alguns estereogramas (Figura 27, LC: 102, 109, 121 e 122). As dobras no geral são de escala decimétrica, apresentando forma que pode variar entre elíptica e *chevron*, com eixo caindo em torno de 50° para S-SE. Integrando os dados nas várias escalas de observação é possível definir um par sinformal-antiformal na região do Platô do Cristalino (Figura 27).

4.2.2.2 Domínio Estrutural II

O Domínio Estrutural II compreende rochas do Granito Estrela assim como rochas metavulcanossedimentares do seu entorno (Figura 24). Nesse domínio é notável a conformidade entre a foliação das rochas encaixantes e o limite do Domo Estrela. No Granito Estrela identifica-se uma foliação principal com direção aproximadamente E-W subvertical. Feições de migmatização como veios e venulações tendem a ocorrer com direção subparalela ao *strike* da foliação principal (Figura 28.A, B e C).

A Figura 25.B representa a roseta com a direção de 286 fotoneamentos exibindo valor modal com *trend* E-W e tendência a uma distribuição concêntrica amenizada na posição N-S, os dados apresentam aproximadamente 90° de dispersão. Nesse domínio os lineamentos são relacionados principalmente aos traços da foliação no entorno do Domo Estrela.

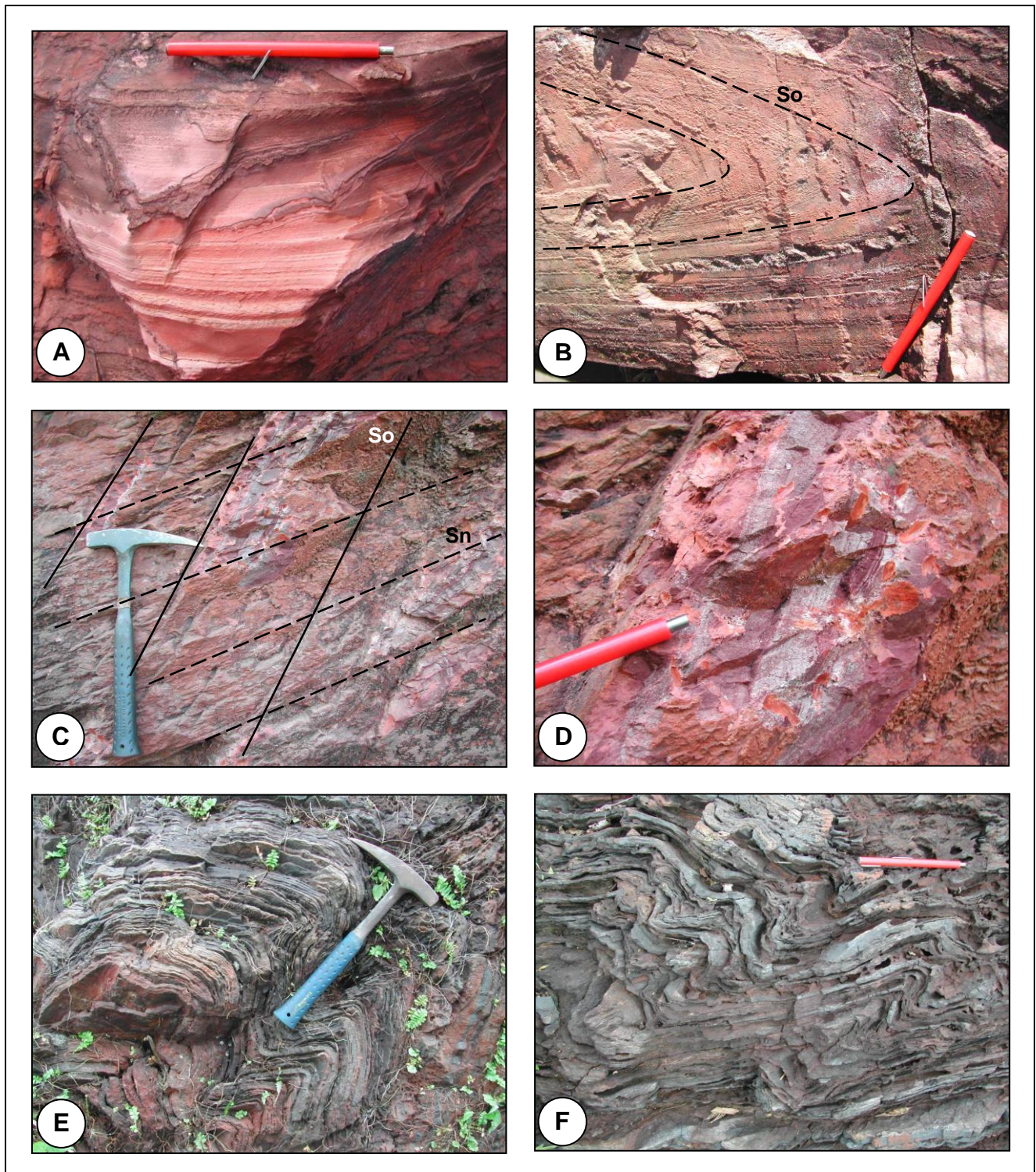
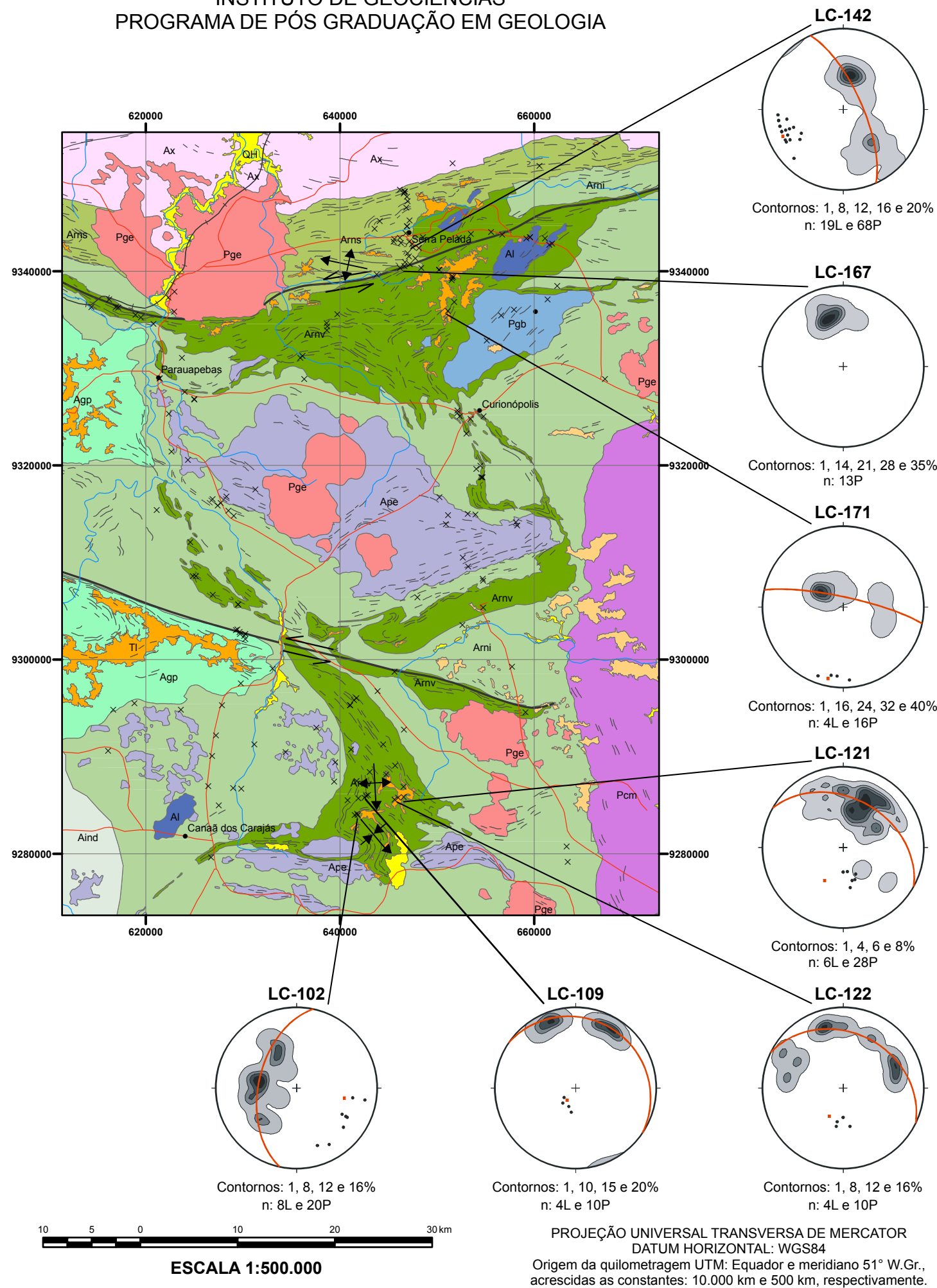


Figura 26 - Prancha de fotos de estruturas das regiões de Serra Leste (Domínio Estrutural - III) e Serra do Rabo (Domínio Estrutural I). **(A)** - Detalhe de acamamento em metasiltito, afloramento localizado no talude da cava do garimpo de Serra Pelada (LC-142). **(B)** - Seção aparente de dobra em metasiltito, identificada pelo traço do acamamento (LC-142). **(C)** - Relação angular entre o acamamento (So) e a foliação (Sn) em metasiltito, trata-se do flanco invertido de dobra métrica (LC-142). **(D)** - Detalhe do acamamento em metasiltito identificado pela variação composicional (LC-142). **(E)** - Detalhe de dobras parasíticas em forma de M com plano axial com vergência para norte, em afloramento de hematita compacta localizado na Serra do Rabo (LC-95). **(F)** - Detalhe de dobras parasíticas em forma de Z com plano axial com vergência para norte, em afloramento de hematita compacta localizado na Serra do Rabo (LC-95).



Legenda

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

FANEROZÓICO
(CENOZÓICO)

- QH Aluvião e colúvio
- TQa Silte, areia siltosa, conglomerado e laterita
- TI Laterita

PROTEROZÓICO

- Associação Ígnea**
- Pge Granito e granitóide
 - Pgb Gabro
- Supergupo Baixo Araguaia / Grupo Tocantins / Formação Couto Magalhães**
- Pcm Metaconglomerado, quartzito, arcócio e filito

ARQUEANO

- Suite Plaqué / Granito Estrela / Granito Serra do Rabo**
- Ape Leucogranito, granodiorito e granitóide
- Grupo Grão Pará**
- Agp Quartzito, metabasalto, metariolito, formação ferrífera e metadacito
- Grupo Rio Novo**
- Arns Rochas metassedimentares clasto-químicas
 - Arnv Rocha vulcânica básica, formação ferrífera e anfibolito
- Grupo Rio Novo Indiviso**
- Ami Rochas metavulcanossedimentares
- Suite Luanga**
- Al Norito, gabro, piroxenito, peridotito e serpentinito
- Complexo Xingu**
- Ax Gnaiss diorítico, metagabro, metaulttramáfica, ortognaiss, paragnaiss, anfibolito, migmatito, gnaiss granodiorítico, gnaiss granítico e granulito
- Arqueano Indiviso**
- Aind Indiferenciado

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

Estereograma: Os contornos representam pontos polares de acamamento, os pontos de coloração preta representam eixo de dobras e o ponto vermelho representa o eixo Pi calculado

- Falha transcorrente sinistral
- Fotolineamento, no geral representam a continuidade das seqüências vulcano-sedimentares
- Estrutura sinclinal com caimento do eixo
- Estrutura anticlinal com caimento do eixo

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Ferrovia
- Ponto geológico de campo
- Localidade
- Estrada
- Drenagem

TÍTULO: Mapa geológico-estrutural da porção leste da Província Mineral de Carajás - PA
 ESCALA: 1 : 500.000
 AUTOR: Leandro Prado Costa
 ORIENTADORES: Carlos Alberto Rosière e Lydia Maria Lobato
 FINANCIAMENTO: ADIMB, CNPq e FAPEMIG
 APOIO: CVRD, CPMTC e Roots Rock

Figura 27 - Mapa geológico-estrutural da porção leste da Província Mineral de Carajás, com estruturas sinformal-antiformal interpretadas.

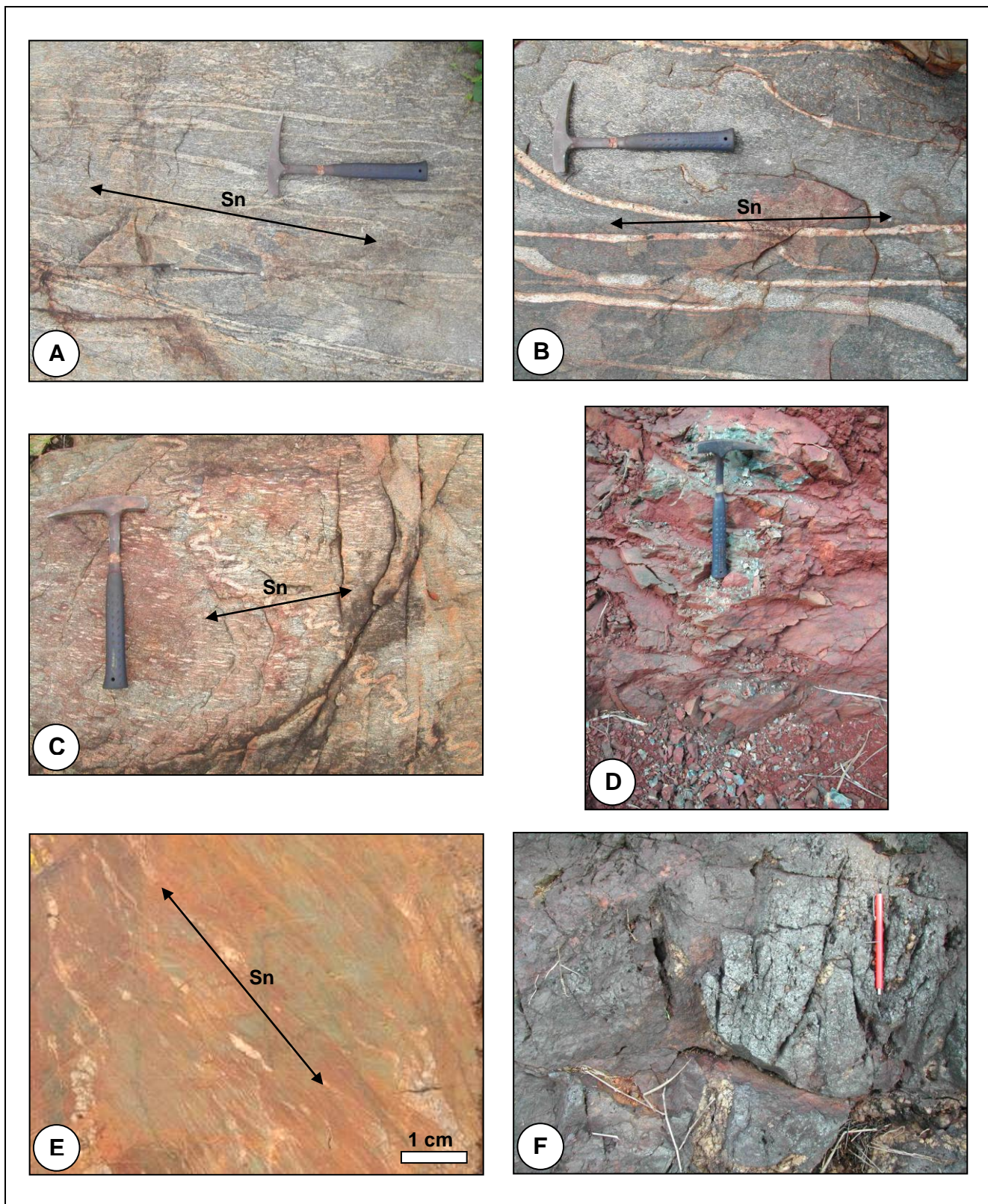


Figura 28 - Prancha de fotos dos domínios estruturais. (A) - Domínio Estrutural II, veios de quartzo subparalelos a foliação principal (Sn) no Granito Estrela. (B) - Domínio Estrutural II, detalhe de veios de quartzo subparalelos a foliação principal no Granito Estrela. (C) - Domínio Estrutural II, veio de quartzo apresentando dobras ptigmáticas com traço plano-axial paralelo ao traço da foliação principal no Granito Estrela. (D) - Domínio Estrutural IIIb, afloramento de rocha máfica foliada (LC-115). (E) - Domínio Estrutural IIIa detalhe da rocha máfica xistificada, amostra de testemunho de sondagem (SL-F30-P183). (F) - Domínio Estrutural IIIb afloramento de magnetitito encaixado em rocha máfica alterada (LC-131).

4.2.2.3 Domínio Estrutural III

O Domínio Estrutural III é definido pelas regiões de influência das zonas de cisalhamento regionais Carajás e Cinzento (Figura 24). Essa área é caracterizada pelo desenvolvimento de foliações com orientação subparalela as zonas de cisalhamento. A Figura 25.C representa a roseta com a orientação de 364 lineamentos no Domínio III, identificando uma nítida orientação preferencial na direção E-W, praticamente sem dispersão dos dados. Os dados de fotolineamentos das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento foram analisados em conjunto, devidos a semelhança entre as características geológicas/estruturais das regiões e por apresentarem distribuição bastante similar no diagrama de roseta.

Na região de estudo a Zona de Cisalhamento do Cinzento se estende em uma faixa de direção aproximada E-W, com largura variando entre 15 km na porção oeste e 25 km na porção leste (Figura 24). O sistema Cinzento é caracterizado por estruturas penetrativas como, por exemplo, uma xistosidade nas rochas máficas parcialmente alteradas (Figura 28. D e E), registrada pela orientação preferencial do mineral clorita.

A zona de cisalhamento de Carajás localiza-se na porção meridional da área de estudo, em uma faixa delgada com largura média 3 km e direção aproximada N70W. As estruturas planares do sistema Carajás tendem a ser mais discretas em relação ao sistema Cinzento, as foliações observadas são geralmente clivagens espaçadas com direção sub-paralela a falha Carajás.

O Platô da Água Boa representa a região de charneira no sinformal da Dobra Carajás. É interpretado como o resultado de transporte de massa por cisalhamento simples (Zona de Cisalhamento de Carajás) em condição rúptil a rúptil-dúctil, já que ainda é possível identificar estruturas primárias preservadas nas FFs da região.

As seqüências vulcanossedimentares quando interceptam as zonas de cisalhamento tendem a infletir, apresentando direção similar ao *trend* (E-W) do Domínio Estrutural III. Essa situação é bem exemplificada na seqüência vulcanossedimentar localizada na Serra do Rabo, porção sul da área de estudo próximo ao Depósito Cristalino. Nessa região os fotolineamentos da imagem de radar (MDT) representam diversas cristas de serras sustentadas por rochas metavulcanossedimentares da seqüência Rio Novo. A seqüência é caracterizada por apresentar dobras em escala quilométrica, com traço axial aproximadamente E-W e eixo caindo para o quadrante sudeste. A sul do Domínio Estrutural IIIb o segmento da seqüência, com direção N40W, inflete para oeste quando intercepta a zona de cisalhamento Carajás, paralelizando-se à mesma (Figura 24). Nesse caso a reorientação da seqüência pode estar associada a processo de boudinagem, segmentando a porção sul da Serra do Rabo.

Ao longo das zonas de cisalhamento comumente ocorrem rochas hidrotermalizadas como, por exemplo, as rochas máficas hematitizadas da região Serra Leste no sistema Cinzento. Em trabalho de campo também identificou-se um corpo de magnetitito de dimensões métricas, encaixado em saprólito de rocha máfica, localizado na terminação oeste da falha Carajás (Figura 28.F).

Estruturas Tectônicas de Serra Leste

Serra Leste se insere no Domínio Estrutural III, os dados estruturais da área foram analisados principalmente na região do garimpo de Serra Pelada (LC-142). Boas exposições da rocha hospedeira da mineralização de ouro são encontradas no talude da cava do garimpo. A rocha hospedeira é um metasiltito pertencente à unidade Rio Novo, apresenta granulação fina e textura granolepdoblástica, exibindo ainda uma fina clivagem de crenulação.

Em escala mesoscópica o acamamento da rocha é reconhecido por variação composicional, registrada pela alternância de camadas de espessura centimétricas de coloração marrom clara e escura (Figura 26.A, B, C e D). O padrão de dobramento do acamamento é caracterizado por dobras centimétricas a métricas, com morfologia variando entre circular e elíptica. Os eixos das dobras apresentam dispersão de cerca de 30° refletindo um dobramento não cilíndrico. O ângulo entre os flancos varia entre 60 e 70° caracterizando um dobramento moderadamente aberto a aberto. O eixo (247/20) e plano axial (135/83) teóricos definem uma dobra em pé com caimento (Figura 27, LC-142).

4.2.3 Discussões e Interpretações

As características do acervo estrutural do Domínio I sugerem condições de deformação regional por cisalhamento puro, com encurtamento aproximado na posição N-S. O Domínio Estrutural II apresenta características de interferência entre campos de deformação, tipo intrusão-deformação coaxial, considerando o caso de *emplacement* do plúton (ou domo) granítico Estrela em um contexto de deformação regional por cisalhamento puro, com encurtamento aproximadamente N-S, como observado do Domínio I e sugerido por Rosière *et al.* (2005) para a Província Carajás. A deformação induzida pela ascensão de um *plúton* é dependente das direções de expansão do corpo. Em um contexto de deformação regional as direções de expansão favoráveis são as de alongamento da encaixante, conseqüentemente a forma geral do *plúton* será elíptica (Choukron 2000), como observado para o Granito Estrela (Anexo I - Mapa Geológico). No Domínio Estrutural III os dados de campo juntamente com a análise das imagens sugerem que as zonas de cisalhamento apresentam movimentação predominante transcorrente sinistral.

Em Serra Leste as características mesoscópicas das dobras no talude do garimpo de Serra Pelada (LC-142) provavelmente refletem o resultado da deformação regional, que gerou dobras com plano axial E-W e posteriormente foram rotacionadas no sentido anti-horário por influência da deformação associada ao Domo Estrela e/ou pela Zona de Cisalhamento do Cinzento.

A análise das dobras em escala mesoscópica na região do Platô do Cristalino, localizado na Serra do Rabo, indica caimento do eixo destoante com o padrão da província Carajás (Figura 27, LC-102), sugerido por Rosière *et al.* (2005), onde predominam eixos caindo para os quadrantes oeste. A variação na distribuição dos eixos de dobra é interpretada como resultado de intrusão dômica dos granitos da Serra do Rabo, descritos por Sardinha *et al.* (2006) e relacionada à granitogênese do Complexo Estrela. O processo de intrusão e arqueamento do terreno gerou rotação em torno de eixo subhorizontal de direção NE-SW ao longo de um plano subvertical, ou seja, as dobras do Platô do Cristalino apresentam eixo com *trend* similar ao da província Carajás e caimento na direção oposta, o processo de rotação dos eixos é exemplificado na Figura 29.

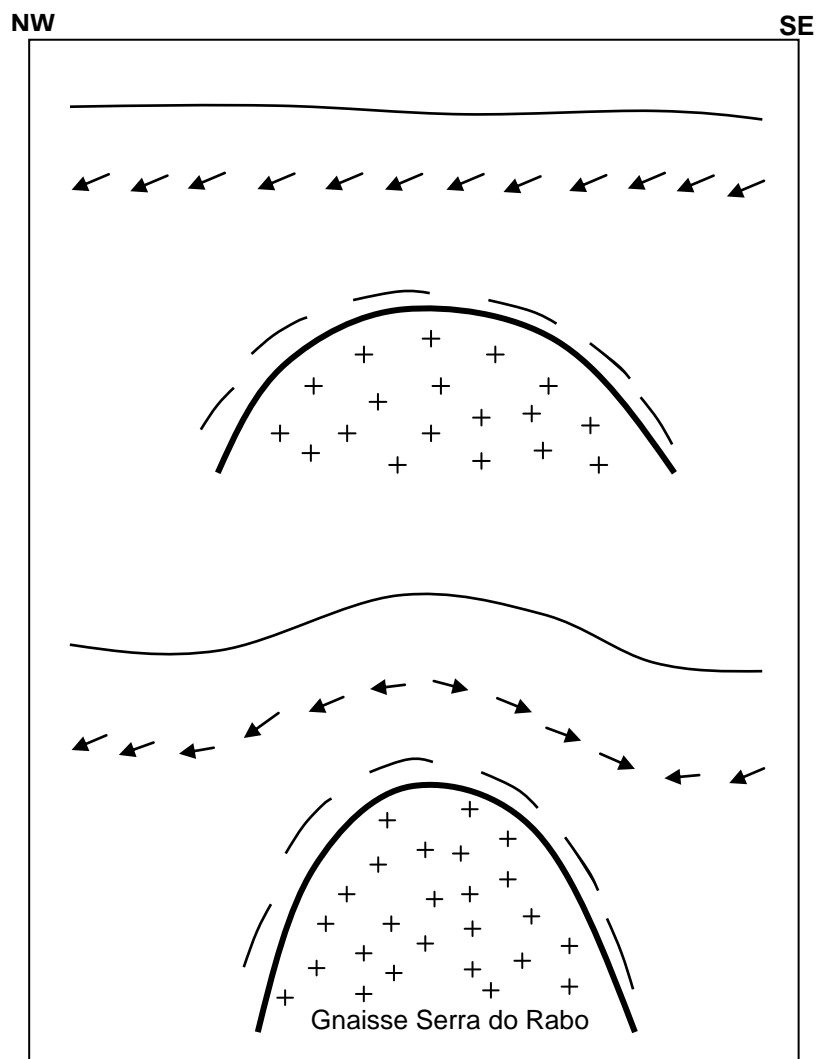


Figura 29 - Desenho esquemático fora de escala exemplificando o processo de rotação dos eixos de dobras na região do Platô do Cristalino. O eixo de rotação é perpendicular à seção do desenho (NW-SE), as setas representam os eixos das dobras.

4.3 QUÍMICA MINERAL

O estudo de microanálise em minerais teve como objetivo principal a determinação da composição química e classificação de anfibólios e cloritas. O estudo também auxiliou na confirmação ou identificação mineralógica durante o trabalho de petrografia. Em amostra de FFs brechada do Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88), utilizou-se o método qualitativo EDS para se identificar venulações de carbonato (calcita). É importante informar que a água não é analisada pela Microsonda Eletrônica (ME), portanto valores de fechamento de análise em torno de 95 % para anfibólios e cloritas são satisfatórios. A análise de Fe total é informada como FeO(T); o óxido Cr₂O₃ foi analisado nos anfibólios e todos os resultados ficaram abaixo do limite de detecção.

4.3.1 Microanálise em Anfibólios

A distinção entre Fe²⁺ e Fe³⁺ é importante para a classificação dos anfibólios. Como a ME não analisa o estado de valências dos elementos, foi necessário aplicar técnicas de recálculo mineral. O método empregado é referido no programa Minpet como 15-K, e utiliza a técnica de balanço de cargas descrita por Robinson *et al.* (1981).

Anfibólios pertencem ao grupo dos minerais silicáticos hidratados, classe dos inossilicatos, apresentando duas camadas de tetraedros de SiO₄ que se desenvolvem paralelamente ao eixo cristalográfico C. A estrutura dos inossilicatos favorece aos anfibólios o desenvolvimento de hábito prismático alongado, acicular e fibroso. A coloração dos anfibólios é relacionada ao teor de ferro e quanto maior a quantidade desse elemento no mineral, mais acentuada é a coloração esverdeada. Os elementos Na, Al, Mg, Ti e Cr também influenciam na coloração mas, de maneira menos significativa (Klein 2002). Comumente os anfibólios são gerados em temperaturas inferiores à dos piroxênios e também tendem a apresentar coloração mais escura, formas mais alongadas e clivagem melhor desenvolvida.

A grunerita [(Fe,Mg)₇Si₈O₂₂(OH)₂] é identificada em amostra de FF localizada próxima a borda nordeste do Granito Estrela (LC-04). O mineral apresenta coloração marrom-esverdeada, forma lamelar e clivagem bem desenvolvida em uma direção. Nesse caso, a análise química do mineral apenas confirmou a classificação ao microscópio óptico. O diagrama da Figura 30 se aplica a classificação de anfibólios monoclinicos (Hawthorne 1981), contendo baixo teor de Ca e teores elevados de Fe, Mg e Mn. Foram realizadas 14 microanálises na amostra LC-04 (Tabela 9), distribuídas na lâmina delgada de acordo com a Tabela 10 e a Figura 31.A, B e C.

O mineral apresenta como composição média (% peso): SiO₂ 50,58 %; FeOT 36,32 %; MgO 7,63 % e MnO 1,65, todos os outros óxidos analisados (TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, CaO, Na₂O e K₂O) ocorrem em quantidade menor do que 1 %. Os valores analisados não variam muito, visto que SiO₂ apresenta o maior desvio padrão (0,53 ver Tabela 9).

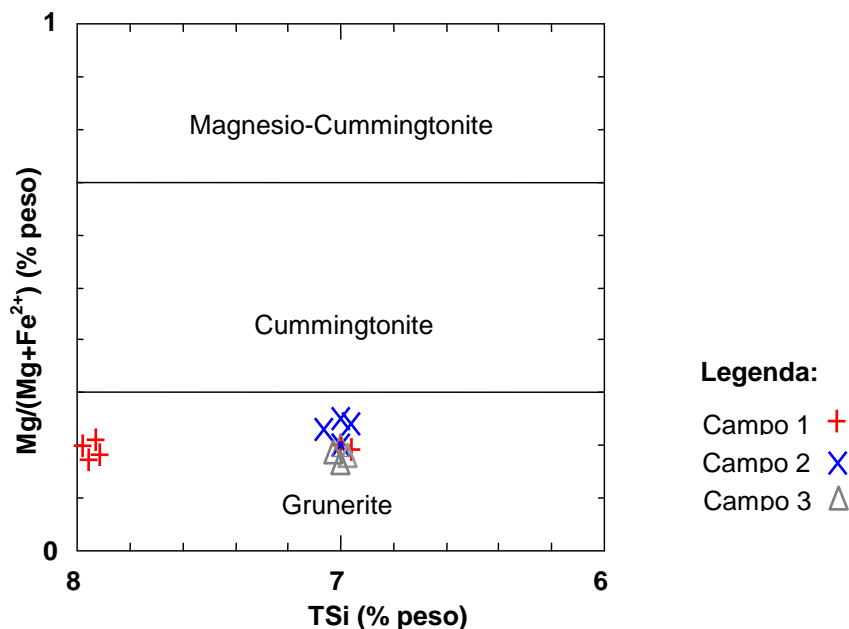


Figura 30 - Diagrama de classificação para anfibólios monoclinícos (Hawthorne 1981), 14 análises em amostra de FF (LC-04).

Tabela 9 - Estatística simples de 14 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-04 (ND - Não Detectado).

(% peso)/ Estatística	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOT	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Mínimo	49,15	ND	0,17	35,38	1,59	7,27	0,56	0,02	ND
Máximo	51,19	0,03	0,50	37,06	1,70	8,53	1,01	0,09	0,02
Média	50,58	-	0,33	36,32	1,65	7,63	0,78	0,06	-
Desvio Padrão	0,53	-	0,12	0,44	0,03	0,34	0,15	0,02	-
Análises	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Tabela 10 - Número e distribuição dos campos de microanálises nas lâminas delgadas de FF.

Campo/ Amostra	1	2	3
LC-04	6	4	4
LC-153	9	12	9
LC-154	18	9	10

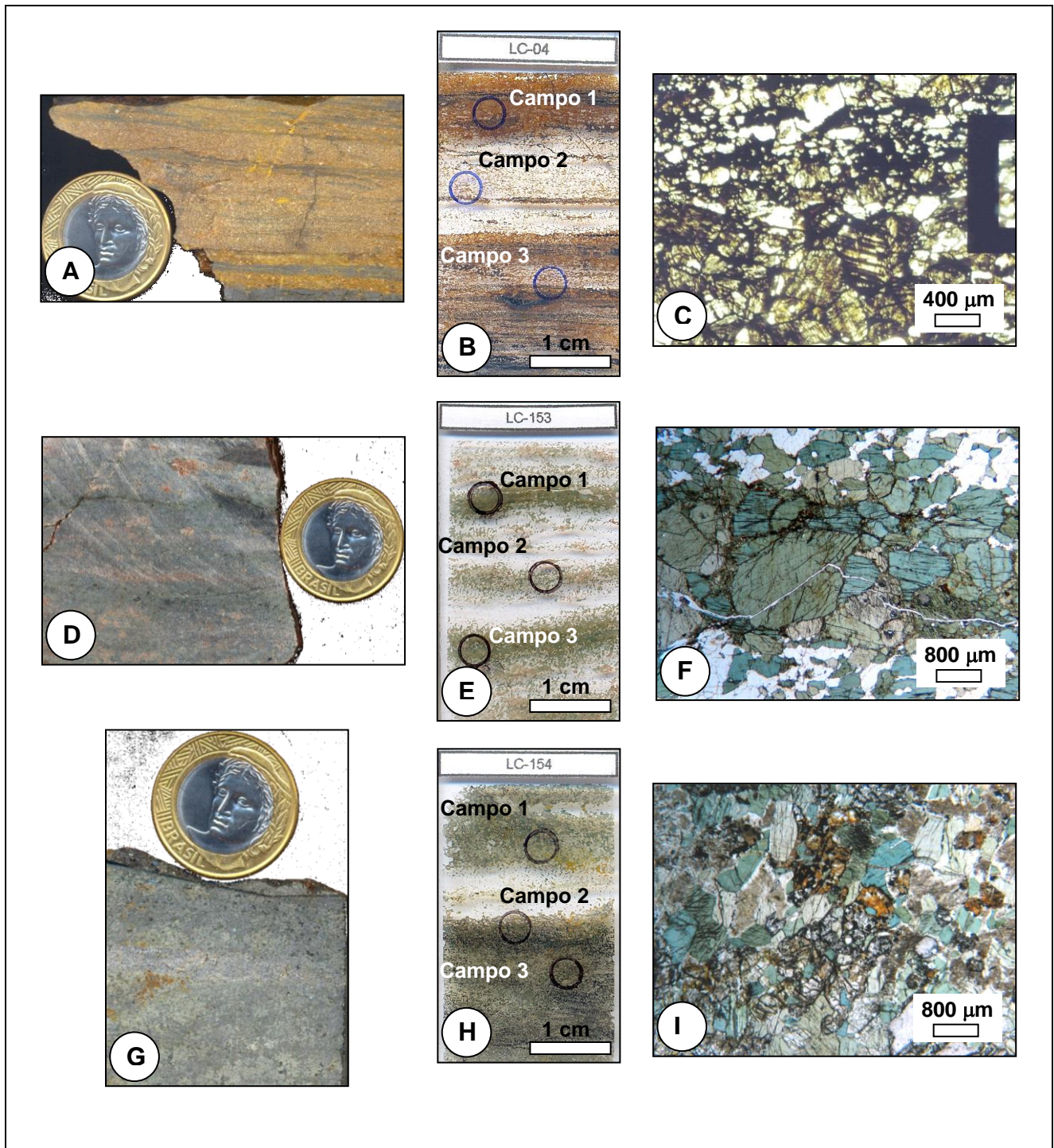


Figura 31 - Prancha de fotos e fotomicrografias de amostras de FFs contendo anfibólio, nas lâminas são indicados os campos onde foram realizadas as microanálises. Seqüência (A), (B) e (C): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de grunerita (LT e NP), amostra de FF LC-04 localizada próxima à borda nordeste do Granito Estrela. Seqüência (D), (E) e (F): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de hornblenda (LT e NP), amostra de FF LC-153 localizada próxima à borda leste do Granito Estrela. Seqüência (G), (H) e (I): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de hornblenda (LT e NP), amostra de FF LC-154 localizada próxima à borda leste do Granito Estrela.

A hornblenda $[Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe,Ti)AlSi_8AlO_{22}(OH,O)_2]$ ocorre em FFs localizadas nas proximidades da borda leste do Granito Estrela (LC-153 e LC-154). Os cristais de hornblenda são inequigranulares e subédricos, apresentando pleocroísmo de verde claro a escuro; o comprimento dos minerais varia entre 0,1 e 1 mm. Quartzo e anfibólios formam agregados com contato entre grãos apresentando forma interlobado, gerando uma textura granoblástica com leve orientação dos cristais de hornblenda.

As microanálises foram distribuídas em três campos para cada lâmina delgada de acordo com a Figura 31.D, E, F, G, H, I e a tabela 10. Os valores determinados para ambas as amostras (tabelas 11 e 12) são muito próximos à composição da ferro-hornblenda (% peso): SiO_2 44,40 %; Al_2O_3 9,42 %; FeT 32,45 %; CaO 11,84 % e H_2O 1,90 % (fonte da análise: Barthelmy 2006). Embora as duas amostras apresentem características texturais e composição (quartzo e anfibólio) semelhante, a amostra LC-154 contém localmente porções de óxido de ferro nas bandas ricas em anfibólio. Comparando as duas amostras de FFs identifica-se que os conteúdos de SiO_2 e FeT são ligeiramente maiores na amostra com óxido de ferro (LC-154); já os valores de Al_2O_3 e MgO são maiores na amostra LC-153.

Tabela 11 - Estatística simples de 30 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-153 (ND - Não Detectado).

(% peso)/ Estatística	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeOT	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	F	Cl
Mínimo	46,07	ND	0,34	22,62	0,31	7,15	1,03	0,04	0,01	ND	0,03
Máximo	53,90	0,23	7,78	33,86	1,21	10,06	11,57	1,41	1,43	0,30	0,38
Média	49,28	-	5,20	24,95	0,47	8,44	9,68	1,01	0,55	-	0,20
Desvio Padrão	1,95	-	2,05	3,51	0,27	0,69	3,43	0,41	0,28	-	0,08
Análises	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabela 12 - Estatística simples de 37 microanálises em cristais de anfibólio da amostra de FF LC-154 (ND - Não Detectado).

(% peso)/ Estatística	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeOT	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	F	Cl
Mínimo	43,42	ND	0,17	17,08	0,07	3,53	0,03	0,01	ND	ND	ND
Máximo	77,23	0,25	9,79	43,75	0,60	9,77	21,60	1,37	1,47	0,17	0,63
Média	50,49	-	3,85	27,84	0,25	5,67	10,49	0,55	-	0,04	-
Desvio Padrão	6,86	-	3,86	6,17	0,13	1,25	6,30	0,51	-	0,05	-
Análises	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

4.3.2 Microanálise em Cloritas

As cloritas [(Mg,Al,Fe)₁₂(Si, Al)₈O₂₀(OH)₁₆] analisadas são de amostras de rocha máfica alterada do depósito de minério de ferro SL1 (Serra Leste) e de uma amostra de FF brechada do Depósito Cristalino (Serra do Rabo). A alteração hidrotermal, responsável pela hematitização das rochas máficas de Serra Leste, juntamente com a xistificação obliteraram as características primárias da rocha, tornando localmente difícil o reconhecimento do protólito. Ao longo dos furos de sondagem de FF do Depósito Cristalino, ocorrem porções brechadas com fragmentos de FFs em matriz de quartzo e carbonato, em menor quantidade também ocorrem calcopirita e clorita.

Em ambos os casos onde as características ópticas dos minerais não são evidentes, devido a processos de alteração hidrotermal e/ou intempérica, a microanálise é uma ferramenta importante para complementar o estudo petrográfico.

As amostras de Serra Leste (SL1-F62-P95 e SL1-F30-P183-A) representam porções hematitizadas da rocha máfica, são compostas por clorita e venulações de quartzo e óxidos de ferro com orientação sub-paralela a foliação principal. A clorita apresenta coloração marrom, os cristais são muito finos e ocorrem como agregados, apresentando forma lamelar orientada definindo a xistosidade da rocha (Figura 32.A, B, C, D, E e F).

A clorita no Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88) está associada a porções brechadas da FF. Apresenta coloração azul escura, em cristais muito finos e apresentam forma lamelar sem orientação preferencial, comumente a clorita ocorre junto com quartzo (Figura 32.G, H e I).

A composição das cloritas é bastante semelhante a da chamosita (% peso): MgO 9,10 %; Al₂O₃ 15,35 %; FeT 38,46 %; SiO₂ 27,14 % e H₂O 8,14 %, de acordo com a análise de Barthelmy (2006; ver também tabelas 13 e 14). Para a classificação das cloritas utilizou-se diagrama bivariante de Si versus Fe²⁺ + Fe³⁺ adotado por Deer *et al.* (1972). Esse esquema de classificação leva em consideração se as cloritas são oxidadas ou não, estipulando como limite para as cloritas oxidadas valores superiores a 4 % de Fe₂O₃. Para elaborar o diagrama utiliza-se a classificação das cloritas oxidadas. Todas as microanálises indicam composição mineralógica dentro do campo da chamosita, com exceção de uma análise da amostra (SL1-F30-P183-A), que apresentou quantidade superior de Si localizando-se no campo da delessita (Figura 33).

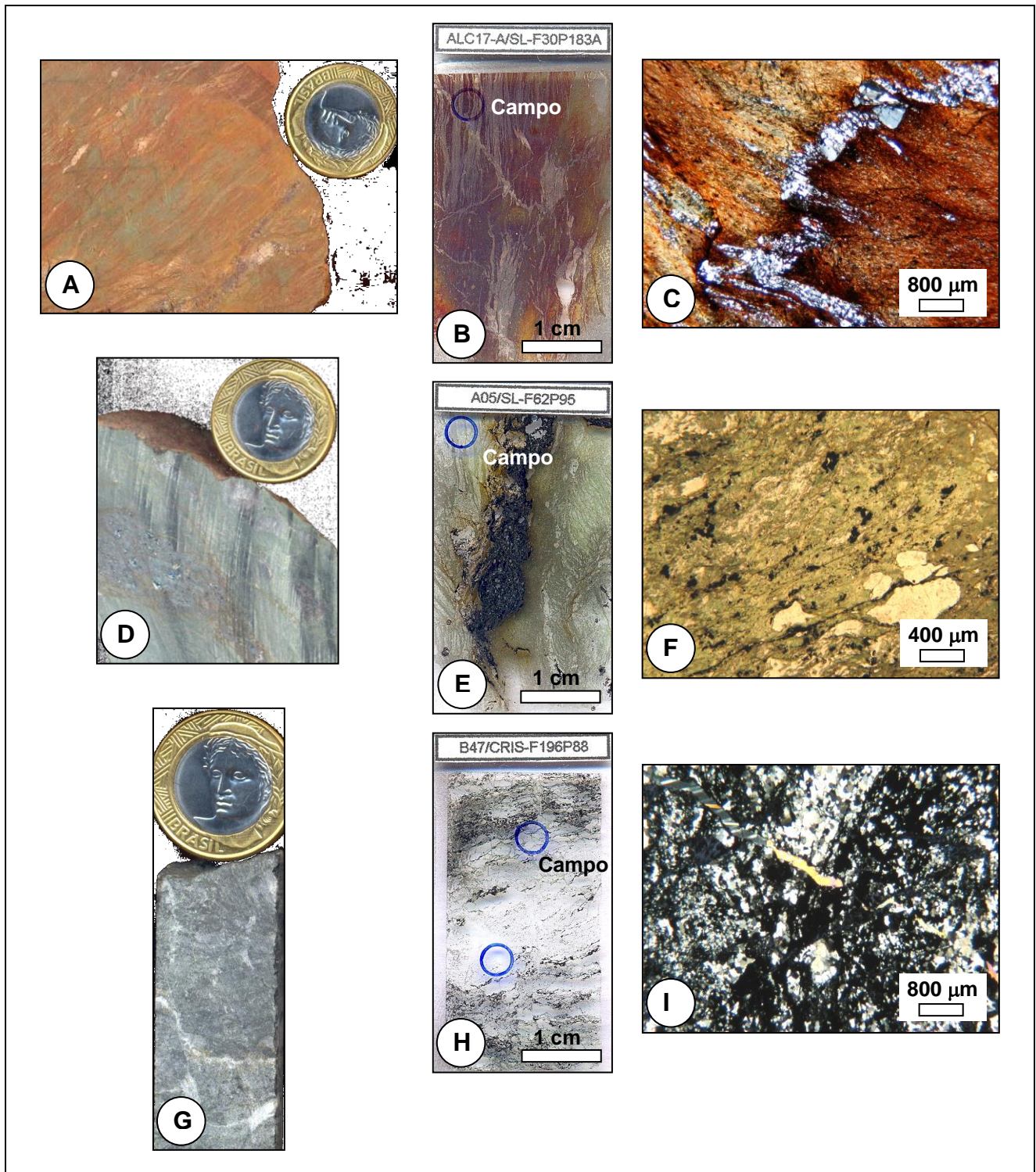


Figura 32 - Prancha de fotos e fotomicrografias de amostras de rocha máfica hematizada e FF brechada contendo clorita, nas lâminas são indicados os campos onde foram realizadas as microanálises. Seqüência (A), (B) e (C): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NP), amostra de rocha máfica hematizada do depósito SL1 (SL1-F30-P183-A). Seqüência (D), (E) e (F): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NP), amostra de rocha máfica hematizada do depósito SL1 (SL1-F62-P95). Seqüência (G), (H) e (I): Amostra, lâmina delgada e fotomicrografia de clorita (LT e NC), amostra de FF brechada do Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88).

Tabela 13 - Valores de 4 microanálises em cristais de clorita da amostra de FF brechada do Depósito Cristalino. Amostra CRIS-F196-P88 (ND - Não Detectado).

(% peso)/Amostra	Na ₂ O	FeOT	K ₂ O	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO
CRIS-F196-P88	0,01	28,11	0,01	26,30	0,09	17,10	0,02	14,48	0,05
CRIS-F196-P88	0,03	26,63	0,03	27,05	0,06	16,57	0,02	15,91	0,11
CRIS-F196-P88	0,01	27,69	0,02	25,63	0,02	17,28	0,04	14,37	0,07
CRIS-F196-P88	ND	28,17	0,06	25,75	0,05	18,37	0,02	13,80	0,01

Tabela 14 - Valores de 6 microanálises em cristais de clorita em amostras de rocha máfica hematitizada do depósito SL1. Amostras: SL1-F62-P95 e SL1-F30-P183-A (ND - Não Detectado).

(% peso)/Amostra	Na ₂ O	FeOT	K ₂ O	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO
SL1-F62-P95	ND	28,67	0,03	24,87	0,04	18,58	0,05	12,07	0,31
SL1-F62-P95	ND	28,39	0,01	26,16	0,03	20,03	0,04	11,77	0,30
SL1-F62-P95	ND	28,38	0,02	25,33	0,06	18,35	0,02	12,79	0,33
SL1-F30-P183-A	ND	28,08	0,02	26,56	0,07	20,41	0,07	10,65	0,16
SL1-F30-P183-A	0,01	25,25	0,02	28,07	0,07	19,19	0,06	11,65	0,19
SL1-F30-P183-A	0,01	25,30	0,02	27,15	0,07	24,14	0,05	7,32	0,11

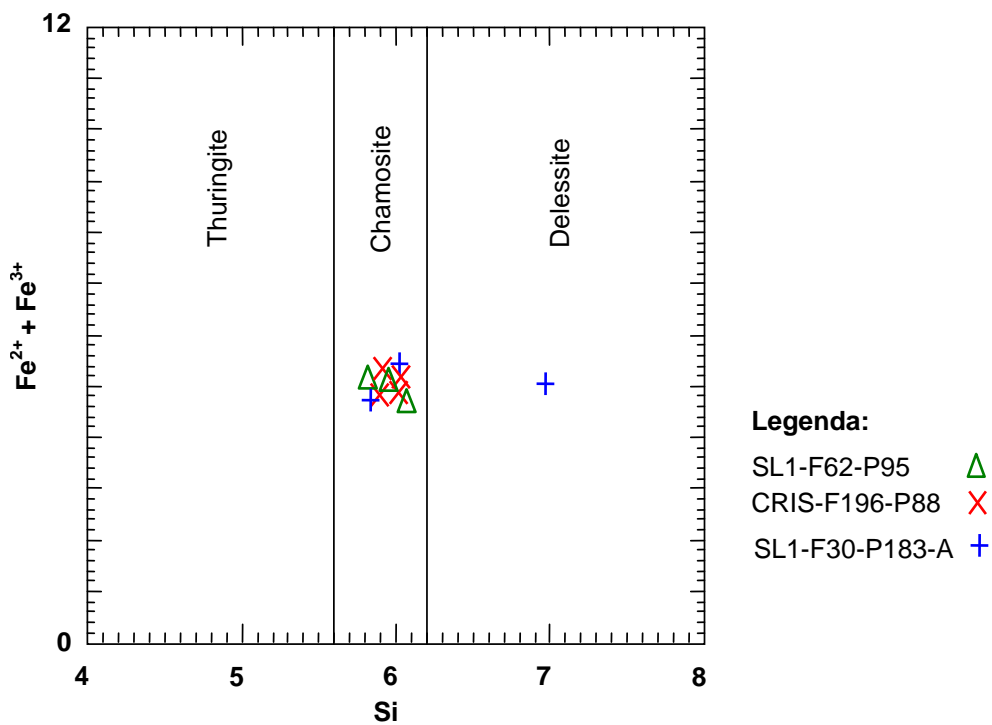


Figura 33 - Diagrama de classificação para cloritas oxidadas (Deer *et al.* 1972), 4 microanálises em amostra FF brechada do Depósito Cristalino (CRIS-F196-P88) e 6 microanálises e amostras de rocha máfica hematitizada do depósito SL1 (SL1-F62-P95 e SL1-F30-P183-A).

4.4 METAMORFISMO

4.4.1 Considerações Gerais

O estudo do metamorfismo na Província Carajás, assim como a questão estratigráfica, não é assunto consensual entre os autores. Segundo Lobato *et al.* (2005) as seqüências vulcanossedimentares da PMC experimentaram efeito de dobramento regional, falhamento transcorrente, metamorfismo regional de baixo grau (xisto verde baixo), metamorfismo de contato e alteração hidrotermal relacionada a diversos eventos mineralizadores e a formação de depósitos. Esses fatores afetaram as seqüências vulcanossedimentares de forma heterogênea, resultando em litologias semelhantes, mas com características contrastantes, resultando em unidades estratigráficas mal definidas.

De acordo com Meireles *et al.* (1984), o metamorfismo na província Carajás varia da fácies xisto-verde no grupo Grão Pará, a anfibolito médio a alto no Grupo Igarapé Pojuca. Gibbs *et al.* (1986) acreditam que as rochas vulcânicas máficas do Grupo Grão Pará são de baixo grau metamórfico, e o mesmo aumentaria de sul para norte em direção a zona de cisalhamento do Cinzento.

É notável que todas as rochas ígneas e sedimentares do Grupo Rio Novo no geral apresentem composição mineralógica e texturas primárias preservadas, de maneira similar ao Grupo Grão Para, como descrito por Macambira (2003). Na área de estudo, as modificações nas rochas são associadas principalmente a processos hidrotermais e metamórficos (metamorfismo de contato).

4.4.2 Metamorfismo de Contato

Várias ocorrências de anfibolitos e FFs com anfibólio foram identificadas no entorno do Granito Estrela. Nas FFs os anfibólios identificados foram grunerita (LC-04) e hornblenda rica em ferro (LC-153 e 154).

Os anfibolitos e as FFs com anfibólio são rochas semelhantes do ponto de vista textural, ambas são constituídas essencialmente por quartzo e anfibólio, sendo que os anfibolitos também apresentam plagioclásio. As FFs apresentam uma nítida textura granoblástica, com contato entre grãos apresentando forma lobada, enquanto os anfibolitos tendem a apresentar textura nematoblástica com o aumento dos cristais de anfibólio (Figura 34.A e D).

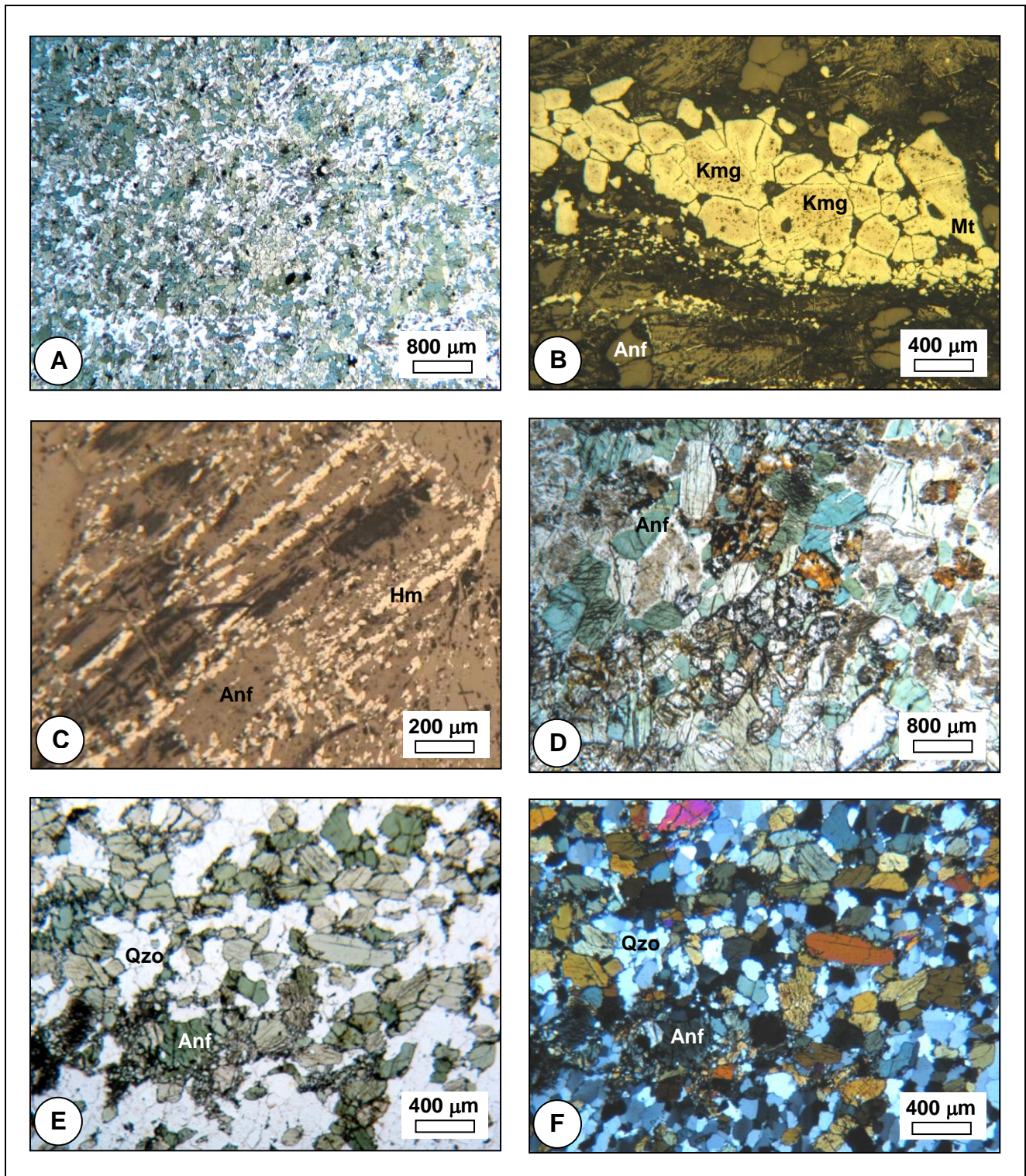


Figura 34 - Prancha de fotomicrografias de anfibólios em FFs e anfibolitos. **(A)** - Fotomicrografia (LT e NP), textura geral de anfibolito (LC-164). **(B)** - Fotomicrografia (LR e NC), observar na porção inferior da fotomicrografia relictos de martita em porções ricas em anfibólios (LC-04). **(C)** - Fotomicrografia (LR e NC), relação textural entre anfibólio e óxido de ferro, a hematita preenche fraturas e planos de clivagem nos cristais de anfibólio (LC-154). **(D)** - Fotomicrografia (LT e NC), detalhe de grãos de hornblenda em anfibolito (LC-164). **(E)** - Fotomicrografia (LT e NP), cristais de hornblenda e quartzo apresentando textura granoblástica em amostra de FF (LC-153). **(F)** - Fotomicrografia (LT e NC), cristais de hornblenda e quartzo apresentando textura granoblástica em amostra de FF (LC-153). Legenda: Kmg - Kenomagnetita, Mt - Martita, Hm - Hematita, Anf - anfibólio e Qzo - quartzo.

Anfibolitos são típicos de metamorfismo de grau médio a alto contendo hornblenda e plagioclásio como paragênese característica (Winkler 1977). Essa mineralogia é observada principalmente nos anfibolitos da região de Serra Leste, derivados de basaltos.

Anfibolitos também podem ser derivados do metamorfismo de sedimentos químicos impuros como margas, por exemplo; alternativamente os anfibolitos podem se formar pelo metamorfismo de FFs impuras, com contribuição sedimentar clástica e/ou vulcanoclástica.

A ocorrência de anfibólitos em muitas FFs é característico de parageneses de grau médio, principalmente para os anfibólitos pertencentes a série cumingtonita-grunerita. Segundo James (1954 *in* Klein 1983), a ocorrência de grunerita nas FFs corresponde a zona da granada e estauroлита (fácies xisto-verde alta); já as FFs de alto grau metamórfico são caracterizadas essencialmente por parageneses anidras, onde predominam quantidades variadas de orto- e clinopiroxênios (Klein 1983).

A amostra LC-04 (Figuras 34, B e 35, E) exemplifica a reação descrita por Klein (1983): (1) $7\text{Fe}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \rightarrow 3\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 + 4\text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ (minesotaita \rightarrow grunerita + quartzo) onde a minesotaita, um filossilicato de ferro, representa a composição dos reagentes (hematita e quartzo) e a grunerita mais quartzo a composição dos produtos. A minesotaita na reação 1 representa apenas a composição média das FFs (*e.g.* MgO 4,4 %; FeO 39,21 %; SiO₂ 52,46 % e H₂O 3,93 %, fonte: Barthelmy 2006), e não ocorre nas lâminas descritas. Também na amostra LC-04 é observada uma pequena quantidade de ortopiroxênio associado à grunerita; portanto essa rocha poderia representar a reação: (2) $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 \rightarrow 7\text{FeSiO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (grunerita \rightarrow ortopiroxênio), característica de grau metamórfico alto nas FFs (Klein 1983).

Nas FFs estudadas, os anfibólitos ocorrem em bandas com, em média, 1 cm de espessura. As bandas podem ser homogêneas, ou seja, constituídas apenas por cristais de anfibólio (Figura 34.E e F), ou apresentarem relictos de óxidos de ferro (Figura 34.C). É comum observar películas finas de hematita nas bordas dos cristais de anfibólio (Figura 34.B e C), assim como ao longo de clivagens nos minerais. Essas observações sugerem que a reação 1 não está em equilíbrio completo, pois os óxidos de ferro não foram totalmente consumidos na reação. A Figura 35.A, B, C, D e E apresenta uma série de imagens adquiridas no MEV e na ME (imagem de elétron retroespalhado) exemplificando relações texturais entre anfibólitos e óxidos de ferro em FFs.

A paragênese mineral (quartzo + anfibólio) e as características texturais observadas nas FFs na região de entorno do Granito Estrela são compatíveis com a fácies hornblenda hornfels de metamorfismo de contato.

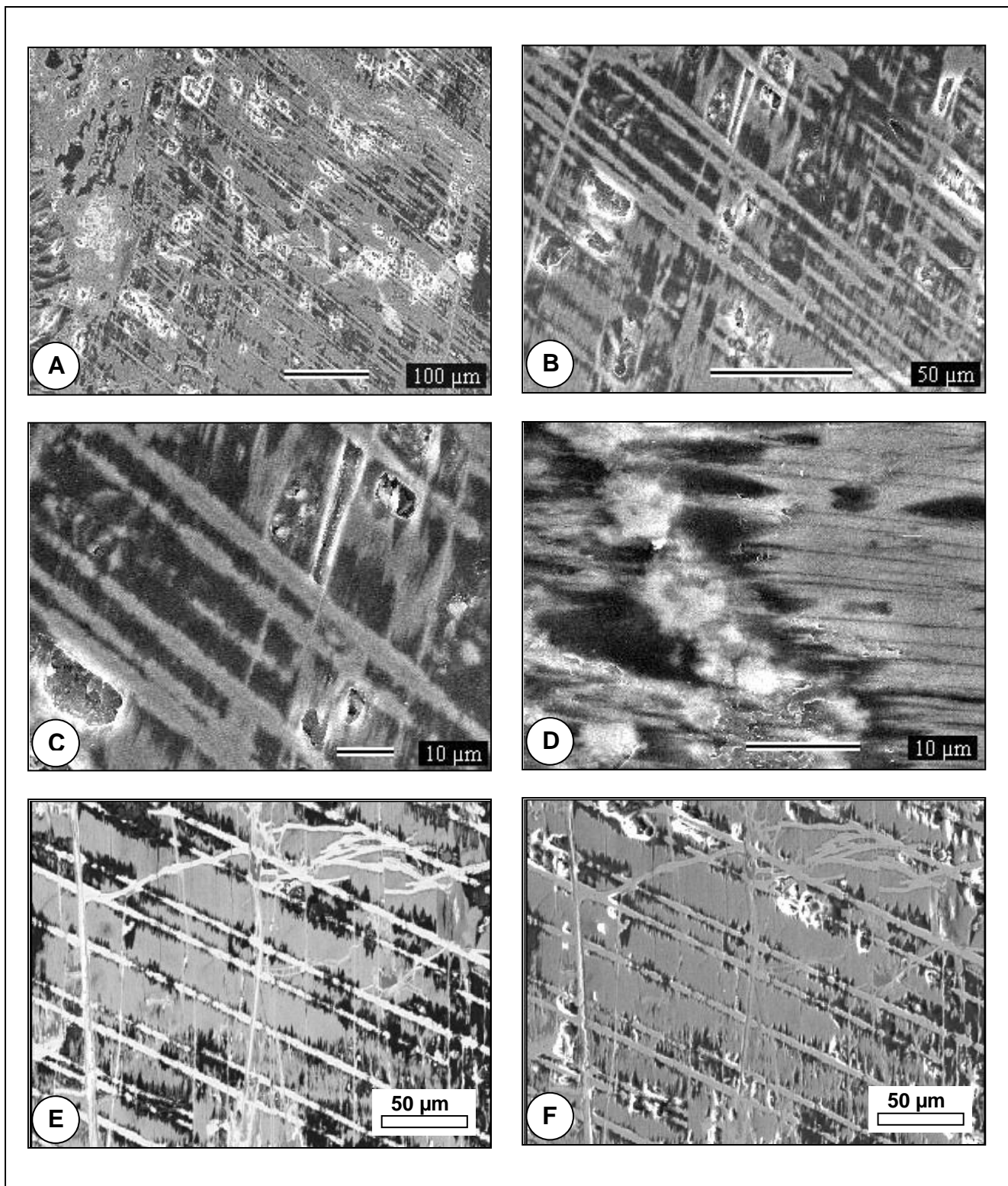


Figura 35 - Prancha de fotomicrografias de texturas envolvendo anfibólios e óxidos de ferro em FFs. (A) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 150 vezes, aspecto geral da textura em amostra de FF (LC-04). (B) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 500, detalhe da clivagem oblíqua em cristal de anfibólio (LC-04). (C) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 1.000 vezes, detalhe da clivagem oblíqua em cristal de anfibólio. (D) - Imagem adquirida no MEV com aumento de 2.000 vezes, detalhe da clivagem em cristal de anfibólio. (E) - Imagem adquirida na ME por elétron retroespalhado, os tons de cinza claro representam óxidos de ferro, e os tons de cinza escuro representam anfibólios (LC-04). (F) - Imagem adquirida na ME por elétron retroespalhado, observar padrão linear dos óxidos de ferro preenchendo planos de clivagem em cristal de anfibólio (LC-04).

CAPÍTULO 5

GEOQUÍMICA DA SEQÜÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR

5.1 GEOQUÍMICA DE ROCHA

As rochas descritas no tópico 4.1.1 (Grupo Rio Novo) a seguir são caracterizadas e interpretadas do ponto de vista geoquímico. As tabelas com todos os dados de geoquímica de rocha encontram-se no Anexo V.3. Os valores de elementos traço foram normalizados em relação ao condrito de Taylor & McLennan (1985), e os valores elementos terras raras (ETRs) em relação ao condrito de Nakamura (1974). Os valores dos condritos encontram-se no Anexo V.6. O limite de detecção das análises é informado no Anexo V.2. Alguns diagramas apresentam linhas tracejadas, com o objetivo de facilitar a leitura dos mesmos.

5.1.1 Rochas Vulcânicas Máficas

O estudo geoquímico, assim como o estudo petrográfico das rochas máficas, foi realizado em amostras de testemunho de sondagem do depósito de minério de ferro SL1 (Serra Leste), e compreendem amostras frescas sem nenhum tipo de alteração intempérica e com diferentes estágios de hematitização.

Três amostras de rocha máfica (sem hematitização) foram analisadas, e os valores dos óxidos maiores encontram-se na Tabela 15. A determinação da composição química da rocha confirmou a classificação petrográfica, ou seja, trata-se de rochas com composição basáltica (Figura 36).

Os elementos traço normalizados ao condrito (Taylor & McLennan 1985) apresentam padrões semelhantes no conteúdo de Cs, Pb e Zn; enriquecimento relativo de aproximadamente trinta vezes para os elementos Th, U, Nb, Ce, Sr, Zr, Tb e Y, e de 70 vezes para Ba; empobrecimento relativo de 0,006 vezes em Ni (Figura 37). Também em relação ao condrito (Nakamura 1974), os ETRs exibem enriquecimento geral variando em média de 40 vezes para os ETRLs e de 15 vezes para os ETRPs, gerando uma distribuição em forma de patamar com declividade suave em direção aos ETRLs (Figura 38.A).

Tabela 15 - Valores dos óxidos maiores em amostras de rocha máfica (sem hematização) do depósito SL1 em Serra Leste.

(% peso) / Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ T	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	PF	Total
ALC01 F27-P53	48,1	13,61	15,86	5,87	9,49	2,44	0,61	2,77	0,30	0,20	0,027	0,6	99,89
ALC06 F29-P64	47,6	13,84	15,08	6,50	9,75	2,44	0,60	2,54	0,27	0,18	0,030	0,9	99,75
A22 F79-P218	48,0	13,57	14,98	6,44	9,49	2,47	0,62	2,51	0,28	0,20	0,025	1,3	99,90

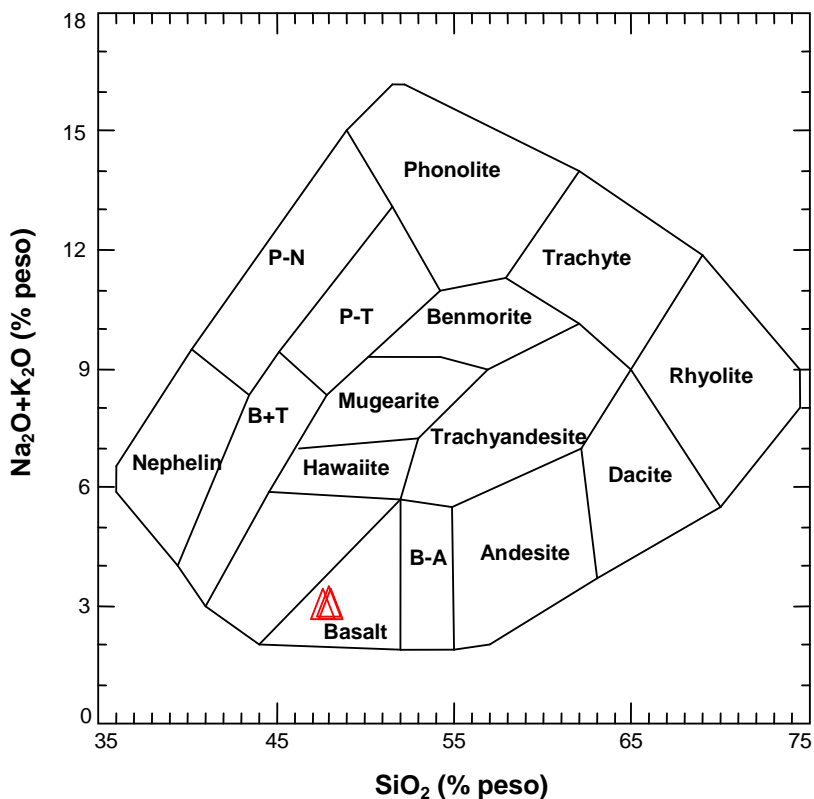


Figura 36 - Diagrama binário de classificação de rochas de SiO₂ versus Na₂O+K₂O (Cox *et al.* 1979), com 3 amostras de rocha máfica do depósito SL1 em Serra Leste.

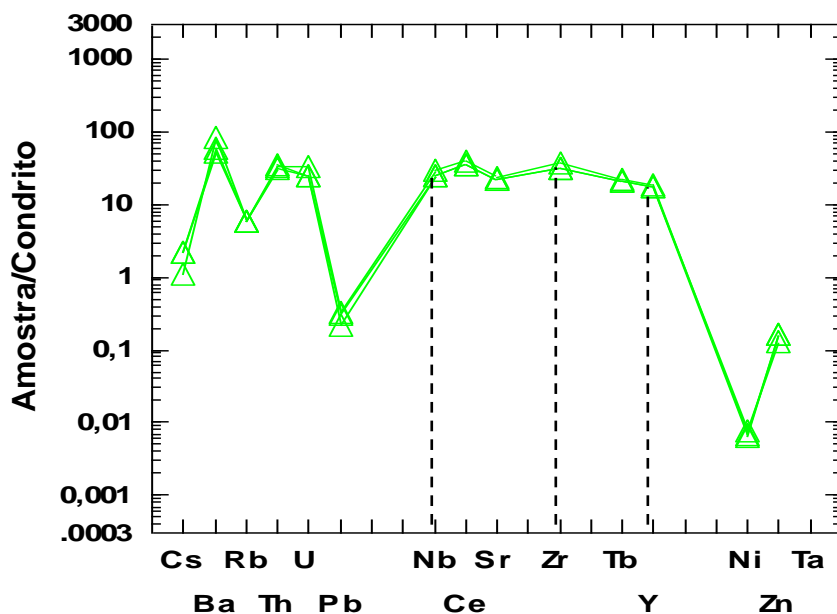


Figura 37 - Diagrama com distribuição de elementos traço (selecionados) normalizados em relação ao condrito (Taylor & McLennan 1985), para 3 amostras de rocha máfica (sem hematização) do depósito SL1 em Serra Leste.

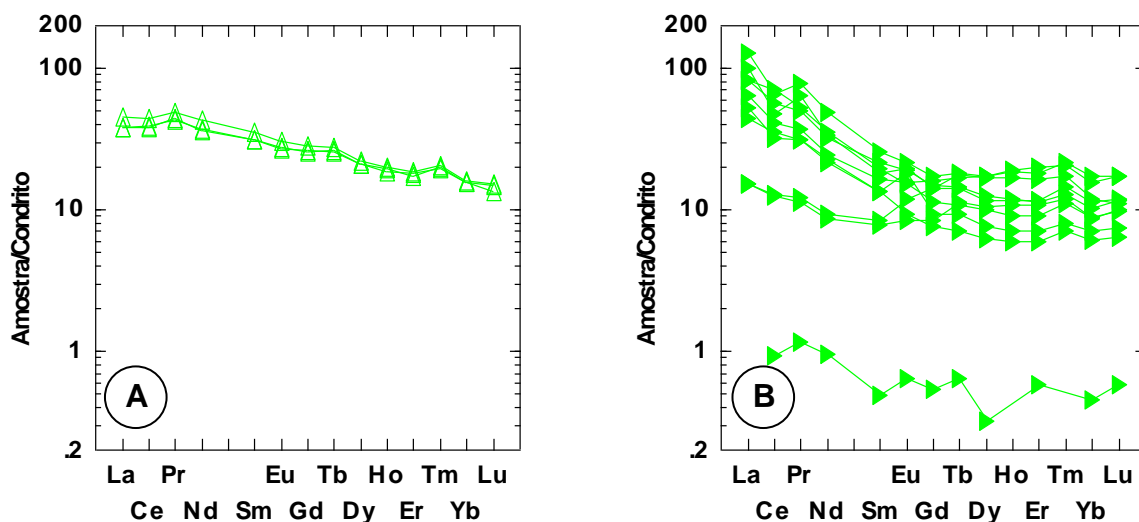


Figura 38 - Diagrama dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de rocha máfica do depósito SL1 em Serra Leste. **A** - 3 amostras de rocha máfica são sem nenhum tipo de alteração. **B** - 10 amostras de rocha máfica hematizada.

Nas amostras de rocha máfica hematizadas, o conteúdo de Fe_2O_3T tende a aumentar consideravelmente, passando de valores de 15 % nas rochas sem alteração para valor médio de 40 % nas rochas máficas hematizadas, podendo atingir valor máximo de 74,51 % (Tabela 16). Em uma amostra de rocha máfica hematizada (SL-F66-P165), o conteúdo de FeO é de 1,32 %.

As rochas máficas hematizadas apresentam enriquecimento acentuado de U. O valor médio de 0,33 ppm para a rocha máfica se eleva para 6,04 ppm na rocha hematizada, podendo atingir o valor máximo de 16,40 ppm. O conteúdo dos ETRLs também se modifica, apresentando enriquecimento relativo (Amostra/Condrito) de 40 vezes na rocha máfica e de aproximadamente 100 vezes na rocha máfica hematizada (Figura 38.B). A distribuição dos demais elementos não apresenta grandes mudanças na rocha hematizada ou não.

O diagrama ternário da Figura 39 sugere que as rochas máficas de Serra Leste foram geradas em ambiente de arco vulcânico (*Volcanic Arc Basalts - VAB*). Possivelmente envolvendo uma zona de subducção do tipo oceano-oceano a exemplo do Japão (Condie 1997). Considerações sobre a implicação da existência desse ambiente tectônico, na porção leste da província Carajás, são comentadas no Capítulo 6 (Conclusões e Considerações Finais).

As rochas máficas (sem hematização) analisadas (Tabela 15) não apresentam indícios de metamorfismo de alto grau e/ou alteração hidrotermal. Portanto, os valores de Nb, Zr e Y possivelmente refletem a composição original da rocha. No diagrama da Figura 37 observa-se que os elementos Nb, Zr e Y ocupam o mesmo patamar no diagrama, apresentando enriquecimento relativo aproximadamente de 20 vezes em relação ao condrito. O fato desses elementos não constituírem anomalias positivas ou negativas no diagrama (Figura 37) também corrobora com a hipótese dos mesmos representarem os teores originais da rocha.

Tabela 16 - Valores dos óxidos maiores em amostras de rocha máfica hematizada do depósito SL1 em Serra Leste.

Amostra/ (% peso)	A26 F19-P104	ALC09 F19-P150	ALC10 F19-P151	A09 F24-P187	ALC18 F30-P184	A12 F32-P140	A03 F62-P92	A04 F62-P93	A05 F62-P95	A18 F66-P165
SiO ₂	10,36	17,49	17,10	49,67	50,32	47,69	57,88	31,7	44,54	68,05
Al ₂ O ₃	9,57	10,83	10,79	8,35	10,98	8,22	9,89	8,27	12,73	0,52
Fe ₂ O ₃ T	74,51	53,06	52,09	26,96	30,09	38,63	20,51	51,35	27,84	31,00
MgO	0,01	10,68	11,85	9,06	0,05	0,46	5,44	3,76	6,81	0,03
CaO	0,04	0,02	0,02	0,09	0,04	0,01	0,09	0,03	0,15	0,01
Na ₂ O	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,04	0,25	0,14	0,04	0,04	0,04	0,22	0,48	0,27	0,04
TiO ₂	0,33	0,37	0,38	0,32	0,66	0,29	0,72	0,51	1,05	0,01
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,05	0,07	0,11	0,07	0,07	0,03	0,13	0,03
MnO	0,47	0,4	0,44	0,15	0,19	0,24	0,16	0,13	0,17	0,06
Cr ₂ O ₃	0,019	0,021	0,020	0,012	0,191	0,016	0,005	0,010	0,009	0,005
PF	4,4	6,3	6,8	5,2	7,3	4,3	5,0	3,7	6,2	0,3
Total	99,8	99,53	99,71	99,96	100	99,99	100,02	100	99,92	100,05

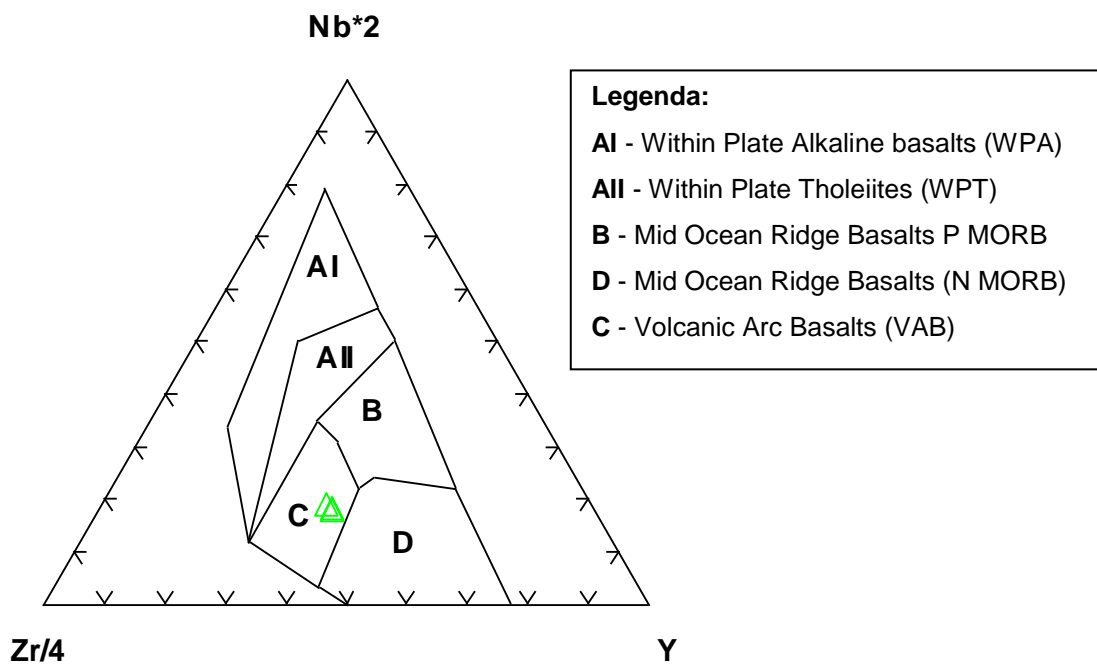


Figura 39 - Diagrama ternário de classificação de basaltos em relação a ambientes tectônicos, levando em consideração as variáveis Zr/4, Nb*2 e Y (Meschede 1986), para 3 amostras de rocha máfica sã do depósito SL1 em Serra Leste.

5.1.2 Anfibolito

Duas amostras de anfibolito, originados do metamorfismo de basaltos, foram analisadas, uma localizada na escarpa norte da Serra do Sereno (LC-164) e outra localizada na região da Serra do Rabo, próximo à borda sudeste do Granito Estrela (LC-129). Embora duas amostras sejam insuficientes para se determinar *trends* geoquímicos, os valores são apresentados simplesmente com a finalidade de caracterizar a rocha. O conteúdo dos elementos maiores auxilia na confirmação da identificação mineralógica ao microscópio óptico. As rochas são constituídas essencialmente por anfibólio (hornblenda), quartzo e, em menor proporção plagioclásio sendo, portanto, esperados conteúdo mais elevado dos óxidos maiores SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃T e em menor proporção dos óxidos MgO, CaO, Na₂O e K₂O (Tabela 17).

Tabela 17 - Valores dos óxidos maiores em amostras de anfibolitos, localizada na escarpa norte da Serra do Sereno (LC-164) e próximo a borda sudeste do Granito Estrela (LC-129).

(% peso)/ Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ T	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	PF	Total
LC-129	68,55	11,59	8,62	0,06	2,1	2,83	3,82	0,66	0,12	0,10	<0,001	1,1	99,55
LC-164	48,55	13,97	16,71	5,64	9,66	2,16	0,72	1,23	0,12	0,22	0,021	0,8	99,81

Já para os elementos traço destacam-se os teores elevados (> 100 ppm) de Zr e Y na amostra LC-129, e dos elementos Sr e Cu na amostra LC-164. O elemento Ba apresenta valores elevados (> 200 ppm) em ambas as amostras.

As duas amostras apresentam enriquecimento geral de ETRs em relação ao condrito. A escala logarítmica vertical do diagrama foi alterada em relação ao demais (Figura 40), devido aos elevados valores de ETRs. A amostra LC-164 exibe curva de distribuição dos ETRs subhorizontal, com enriquecimento relativo geral de aproximadamente 20 vezes, as razões La/Sm e Gd/Lu são de 1,60 e 1,11 respectivamente. Não são identificadas anomalias significativas de Eu ou Ce na amostra LC-164 (Figura 40). A amostra LC-129 apresenta enriquecimento relativo que pode atingir o máximo de aproximadamente 500 vezes, como observado para o elemento La e Pr (Figura 40). A amostra LC-129 é caracterizada por uma curva de distribuição dos ETRs descendente em direção ao Lu, com razão La/Sm de 2,79 e Gd/Lu de 1,82 e anomalia negativa de Ce (0,35).

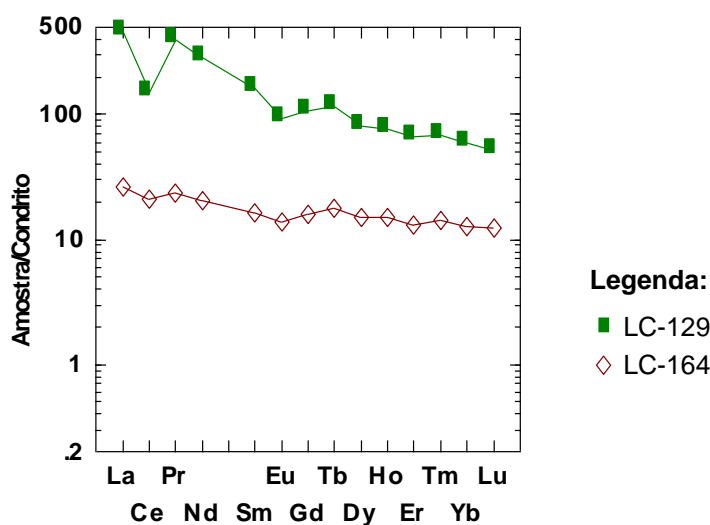


Figura 40 - Diagrama dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974) para amostras de anfibolito. A amostra LC-164 localiza-se na escarpa norte da Serra do Sereno, e a amostra LC-129 localiza-se na Serra do Rabo, nas proximidades da borda sudeste do Granito Estrela.

5.1.3 Formações Ferríferas

Para análise e interpretação dos dados geoquímicos das FFs na área de estudo, as amostras (17) foram separadas em sub-regiões com comportamento geoquímico semelhante. As sub-regiões selecionadas foram: Serra Leste, englobando amostras de campo (2) e amostra de testemunho de sondagem (1) do depósito SL1; Serra do Rabo, com amostras de trabalho de campo (4); Depósito Cristalino, com amostras de furos de sondagem (7), e finalmente a sub-região do Platô da Água Boa, com amostras (3) de campo. Na Figura 41 estão representadas as sub-regiões, assim como a localização das amostras analisadas. Apesar de situar-se na região da Serra do Rabo, o Depósito Cristalino apresenta assinatura geoquímica distinta, já que as FFs acham-se mineralizadas em cobre e ouro. Conseqüentemente optou-se por caracterizar as FFs do depósito separadamente.

Os valores de ETRs foram comparados com a média de duas amostras (IS623-6B e IS701-2C) de FFs a quartzo-magnetita, localizadas no cinturão supracrustal Isua (Groelândia) com idade de 3,8 Ga (Dymek & Klein 1988), cujos valores encontram-se no Anexo V.7. Apesar de alguns autores utilizarem o padrão NASC (*North American Shale Composition*) para normalização das amostras de FFs, optou-se por utilizar o condrito (Nakamura 1974), já que as FFs da região de estudo, são interpretadas como sendo relacionadas a processo vulcanogênicos (Lobato *et al.* 2005 e 2007). Os valores de ETRs do condrito de Nakamura (1974) encontram-se no anexo V.6.

Elementos Maiores

Os conteúdos de SiO_2 e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ nas FFs analisadas (Tabela 18) encontram-se dentro do esperado quando comparados aos valores sugeridos por Klein (2005), onde o conteúdo de FeT varia entre 20 e 40 % e os de SiO_2 entre 34 e 56 %. Os demais elementos maiores analisados no geral não ultrapassam o valor de 1 %. As peculiaridades da geoquímica de cada sub-região são descritas a seguir.

Em Serra Leste, a amostra de FF (SL-F35-P62) apresenta conteúdo de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ (63,41 %) acima da média, provavelmente por se tratar de uma amostra mineralizada em ferro; os demais óxidos maiores apresentam valores dentro da normalidade. As FFs do Platô da Água Boa apresentam valores de SiO_2 superiores aos de Serra Leste, atingindo valor máximo de 55,29 % (SiO_2). Nas amostras de FFs da Serra do Rabo destacam-se os teores mais elevados de Al_2O_3 , quando comparadas com as FFs de Serra Leste e do Platô da Água Boa, onde o óxido de alumínio não ultrapassa 0,5 %. O conteúdo de Al_2O_3 nas amostras da Serra do Rabo pode atingir até 3 % como, por exemplo, na amostra LC-58; essa mesma amostra apresenta valor abaixo da média de SiO_2 (27 %) e valor elevado de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ (66 %). Duas amostras (LC-153 e LC-154) da Serra do Rabo apresentam também teores elevados de MgO de 4 e 5 %, respectivamente.

As amostras de FFs do Depósito Cristalino apresentam a seguinte composição química média (% em peso): SiO_2 20,00 %; Al_2O_3 0,56 %; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ 54,38 %; MgO 1,63 % e CaO 2,38 %; os demais elementos maiores apresentam valores inferiores a 1 %. Embora o valor de Al_2O_3 seja relativamente baixo nas amostras do Depósito Cristalino (< 0,25 %), a amostra CRIS-F21-P395 apresenta conteúdo de 3 % (Al_2O_3). Os teores anômalos de óxidos de magnésio (2,51 %) e cálcio (3,61 %), nas amostras do depósito, provavelmente são relacionados à presença de veios de clorita e carbonato na FFs.

Em todas as sub-regiões, existe forte correlação inversamente proporcional ($r = -0,95$) entre SiO_2 e $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ (Figura 42.A), provavelmente pelo fato das FFs da região de estudo serem compostas quase que exclusivamente por esses elementos. Não existe uma correlação clara entre TiO_2 e Al_2O_3 , mas no geral as FF da Serra do Rabo apresentam conteúdo relativamente mais elevado nesses elementos (Figura 42.B).

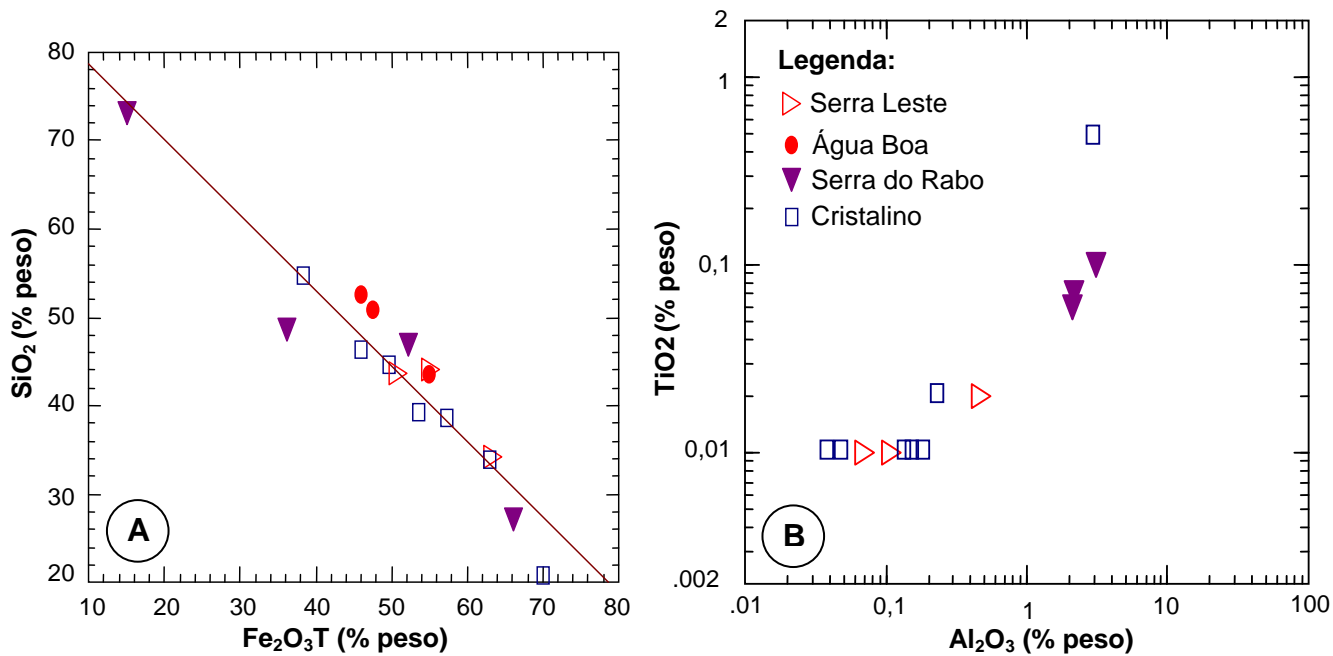


Figura 42 - Diagramas bivalentes para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino (legenda comum aos dois diagramas). **(A)** - Diagrama bivalente SiO₂ versus Fe₂O₃T (r = -0,95). **(B)** - Diagrama bivalente TiO₂ versus Al₂O₃.

Tabela 18 - Valores dos óxidos maiores em amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.

Amostra/ (% peso)	Serra Leste			Água Boa			Serra do Rabo				Cristalino						
	A24 F35-P62	LC-04 Campo	LC-19 Campo	LC-091 Campo	LC-095 Campo	LC-103 Campo	LC-58 Campo	LC-147 Campo	LC-153 Campo	LC-154 Campo	B44 F15-P175	B43 F15-P199	B41 F15-P202	B28 F21-P395	B30 F21-P398	B36 F21-P452	B38 F21-P457
SiO₂	34,16	43,71	44,20	50,48	52,16	43,19	27,05	46,89	73,07	48,63	38,27	33,47	38,89	20,44	44,22	54,34	46,14
Al₂O₃	0,11	0,47	0,07	0,06	0,12	0,05	3,11	0,28	2,13	2,17	0,14	0,05	0,04	3,08	0,24	0,19	0,16
Fe₂O₃T	63,41	50,94	55,09	47,96	46,33	55,29	66,16	52,24	15,06	36,09	57,72	63,3	54,01	70,48	50,04	38,72	46,4
MgO	0,01	0,74	0,01	0,04	0,01	0,02	0,05	<,01	4,03	5,30	1,63	2,27	0,72	2,22	0,23	2,51	1,85
CaO	0,01	0,11	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	4,59	6,29	1,82	0,82	3,32	2,04	3,61	2,56	2,47
Na₂O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<,01	0,01	0,01	0,37	0,28	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,09	0,04
K₂O	0,04	0,04	0,04	<,04	<,04	<,04	0,05	0,04	0,24	0,27	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
TiO₂	0,01	0,02	0,01	<,01	<,01	<,01	0,10	<,01	0,06	0,07	0,01	0,01	0,01	0,48	0,02	0,01	0,01
P₂O₅	0,04	0,03	0,01	0,05	0,03	0,01	0,02	0,06	0,03	<,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01
MnO	0,03	0,79	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,25	0,24	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,04	0,08
Cr₂O₃	0,001	0,006	0,003	<,001	0,002	0,002	0,007	<,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,007	0,002	0,005	0,002
PF	2,10	2,90	0,50	1,40	1,30	1,30	3,40	0,30	0,20	0,50	0,40	0,10	3,00	1,10	1,40	1,30	2,70
Total	99,88	99,75	99,91	100,05	100,03	99,91	99,99	99,87	100,04	99,86	100,05	100,06	100,05	100,06	99,9	99,82	99,89

Amostras de FFs (9) foram analisadas quanto ao conteúdo de FeO (Tabela 19) e também foi calculada a relação $Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3)$. As amostras de FFs do Cristalino apresentam valores maiores de FeO em relação a duas amostras (LC-19 e LC-58) localizadas em Serra Leste e Serra do Rabo, respectivamente. O teor relativamente elevado de FeO nas amostras do Depósito Cristalino está relacionado a presença de magnetita nas FFs. As amostras de campo (LC-19 e LC-58) provavelmente passaram por processo de oxidação em contato com a atmosfera.

Tabela 19 - Valores de FeT, FeO e Fe_2O_3 para amostras selecionadas de FFs do Depósito Cristalino, Serra Leste e Serra do Rabo.

Amostra	Localização	FeT (% peso)	FeO (% peso)	Fe_2O_3 (% peso)	$Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3)$
B44	CRIS-F15-P175	57,72	14,48	43,24	0,75
B43	CRIS-F15-P199	63,3	14,50	48,80	0,77
B41	CRIS-F15-P202	54,01	8,01	46,00	0,85
B28	CRIS-F21-P395	70,48	21,67	48,81	0,69
B30	CRIS-F21-P398	50,04	14,93	35,11	0,70
B36	CRIS-F21-P452	38,72	13,18	25,54	0,66
B38	CRIS-F21-P457	46,4	15,21	31,19	0,67
LC-19	Campo/Serra Leste	55,09	3,00	52,09	0,95
LC-58	Campo/Serra do Rabo	66,16	1,86	64,30	0,97

Elementos Traço

Elementos traço selecionados foram analisados em diagramas com valores absolutos e relativos (normalizados em relação ao condrito). No geral, o somatório total dos elementos traço analisados (excluindo os ETRs) nas FFs é baixo (< 200 ppm), embora algumas amostras apresentem valor total excepcionalmente alto como, por exemplo, CRIS-F21-P452 (796 ppm, Depósito Cristalino), LC-04 (1162 ppm, Serra Leste) e LC-58 (717 ppm, Serra do Rabo). Os elementos Ba, Co, V, Cu, Ni e Zn apresentam os mais elevados valores e contribuem para o aumento geral do somatório dos elementos traço; já os valores máximos dos elementos Cd, Hf, Ta, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl e Se não ultrapassam 1 ppm nas amostras de FF analisadas.

Os gráficos da Figura 43 apresentam os valores absolutos dos elementos Ba, Co, Zr, Y, Mo, Cu, Pb, Zn e Ni em amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino. Teores elevados de Cu são comuns a todas as amostras, com em média 127 ppm, sendo que a amostra CRIS-F21-P452 apresenta o valor mais elevado (664 ppm).

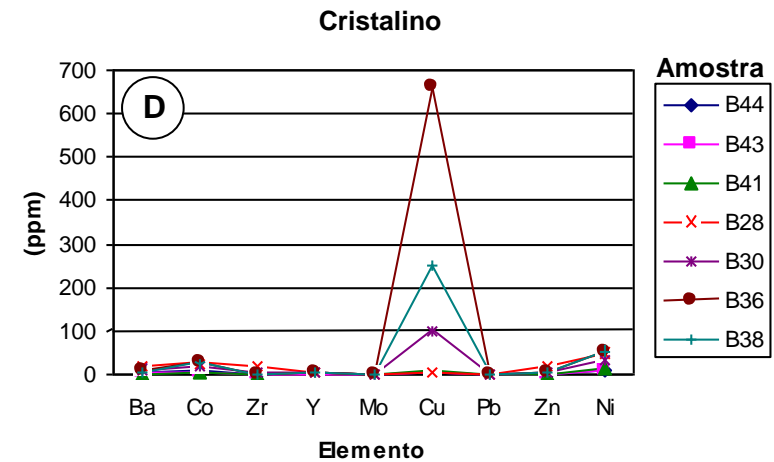
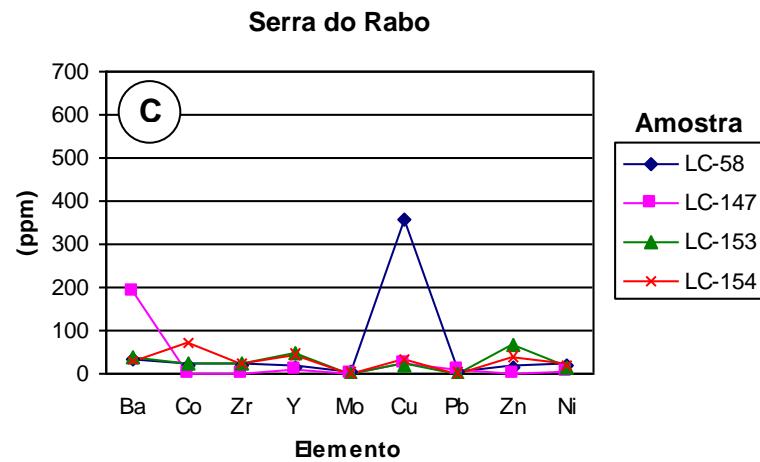
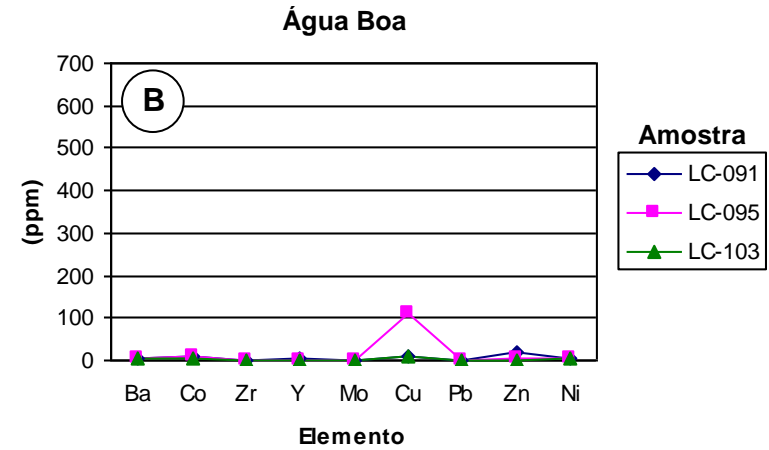
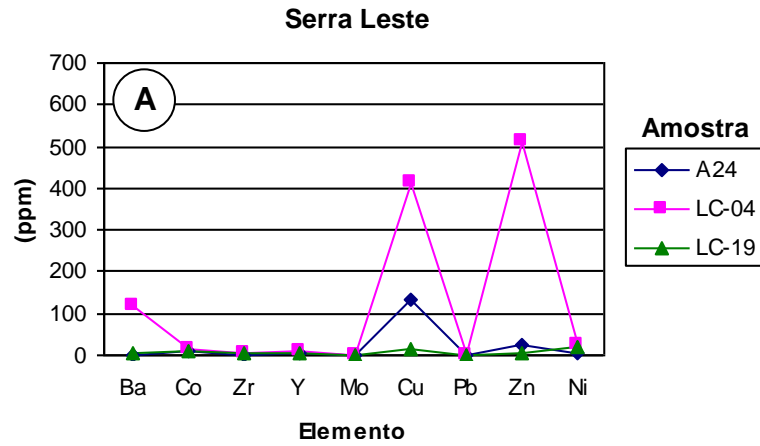


Figura 43 - Diagramas com valores absolutos de elementos traço selecionados (Ba, Co, Zr, Y, Mo, Cu, Pb, Zn e Ni) em amostras de formação ferrífera da região de estudo. **(A)** - Sub-região de Serra Leste. **(B)** - Sub-região da Água Boa. **(C)** - Sub-região da Serra do Rabo. **(D)** - Sub-região do Cristalino.

Na sub-região de Serra Leste (Figura 43.A), a amostra LC-04 apresenta valores elevados de Ba (120 ppm) e Zn (512 ppm). As amostras de FFs do platô da Água Boa (Figura 43.B) não apresentam nenhum pico significativo, além da pequena anomalia positiva de Cu (112 ppm) na amostra LC-95. Na sub-região da Serra do Rabo (Figura 43.C), a amostra LC-147 apresenta valor de Ba (191 ppm) acima da média e, a amostra LC-154, picos discretos (<80 ppm) de Co, Y, Cu e Zn. As FFs do Cristalino apresentam valores ligeiramente elevados de Zn e Ni, no geral em torno de 20 e 50 ppm, respectivamente (Figura 43.D).

O diagrama da Figura 44 representa os valores dos elementos traço selecionados, normalizados em relação ao condrito. As curvas de todas as sub-regiões apresentam anomalias positivas de U, Ce e Y, e anomalias negativas de Rb, Pb, Sr e Ni. De maneira geral, as curvas apresentam *trend* semelhante.

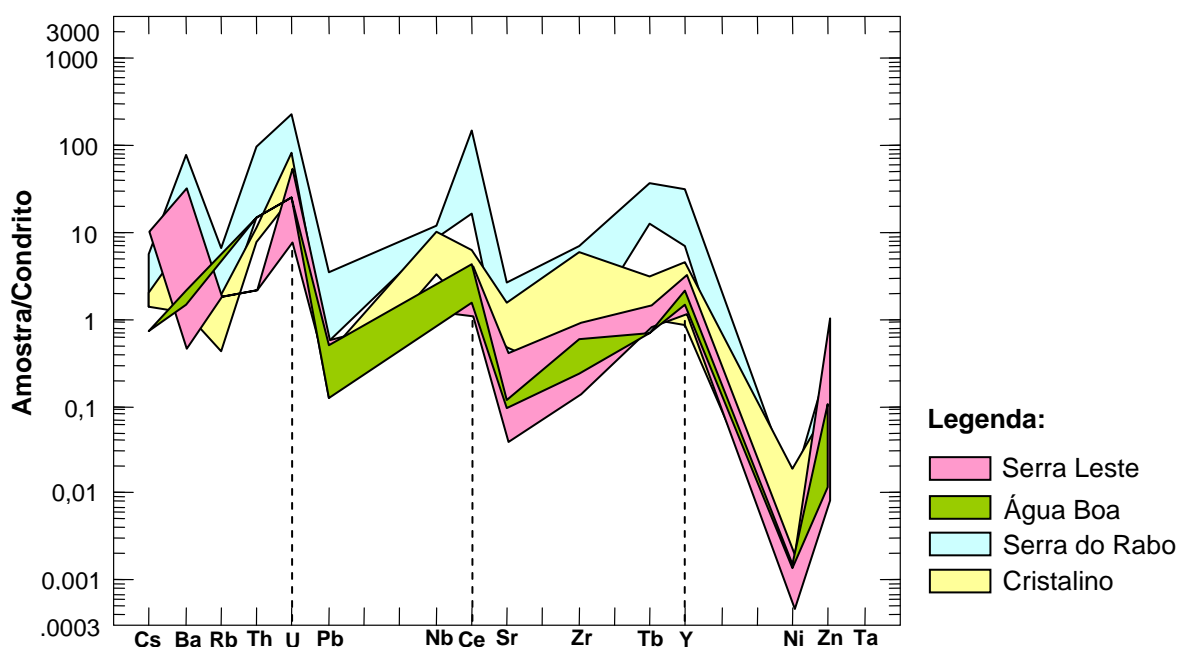


Figura 44 - Diagrama *spider* com valores de elementos traço (selecionados) normalizados em relação ao condrito (Taylor & McLennan 1985), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.

Nas amostras de FFs analisadas, os elementos incompatíveis tendem a apresentar enriquecimento relativo ao condrito, como por exemplo Ba, U, Ce, Y e Pb, se situando acima do valor 1 no eixo das ordenadas; já os elementos compatíveis como Ni e Zn tendem a localizar-se abaixo do valor 1 (Figura 44). As amostras de FFs da Serra do Rabo apresentaram enriquecimento relativo geral dos elementos traço selecionados superior as demais sub-regiões (Figura 43).

Elementos Terras Raras

Os resultados das análises químicas para os ETRs encontram-se na Tabela 20. Também são calculados os seguintes parâmetros: somatório total do ETRs (Σ ETR), somatório dos ETRLs (Σ ETRL), somatório ETRPs (Σ ETRP); razões dos elementos já normalizados La/Sm e Gd/Lu; e as anomalias de Eu e Ce. As anomalias foram calculadas de acordo com fórmula: $Eu/Eu^* = Eu_n / (Sm_n \times Gd_n)^{1/2}$, onde (n) representa o valor do elemento normalizado; a anomalia de Ce é calculada de forma similar. Os parâmetros de duas amostras (B43 e B36) não puderam ser calculados, porque os valores encontravam-se abaixo do limite de detecção; no caso dos somatórios dos elementos considerou-se o próprio limite de detecção no cálculo das amostras. Dois diagramas de ETRs são apresentados para cada sub-região, um com as curvas de cada amostra e o outro com a envoltória das curvas, apresentando comportamento geoquímico geral da sub-região (Figura 45).

Os valores do somatório dos ETRs nas amostras de FFs analisadas variam entre 1,87 ppm (Depósito Cristalino / CRIS-F15-P199) e 813,96 ppm (Serra do Rabo / LC-147), apresentando como valor médio 100 ppm (17 amostras). As FFs do Cristalino apresentam os mais baixos valores de conteúdo total de ETRs, com em média 5,7 ppm; já as FFs da Serra do Rabo apresentam os valores relativamente mais elevados, assim como nos elementos traço, com média de 400 ppm. Para todas as amostras analisadas, o somatório dos ETRLs supera o valor do somatório dos ETRPs e a discrepância entre os somatórios são maiores nas sub-regiões da Água Boa e Serra do Rabo.

Todas as amostras de Serra Leste apresentam anomalia positiva de Eu com valores acima de 2. A amostra LC-19 (Serra Leste) apresenta anomalia de Ce pronunciada de 0,95. As razões La/Sm são superiores a 1, sendo que a amostra LC-04 (Serra Leste) se destaca pela razão (La/Sm) igual a 10,51. O *trend* geral das curvas é semelhante ao padrão de Isua. Em relação ao condrito, existe enriquecimento geral dos elementos, que varia de valores pouco maiores do que 1 para o elemento Lu, até valores próximo a 20 vezes para o La (Figura 45.A e B).

Tabela 20 - Valores de ETRs em amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.

Amostra/ (ppm)	Serra Leste			Água Boa			Serra do Rabo				Cristalino						
	A24 F35-P62	LC-04 Campo	LC-19 Campo	LC-091 Campo	LC-095 Campo	LC-103 Campo	LC-58 Campo	LC-147 Campo	LC-153 Campo	LC-154 Campo	B44 F15-P175	B43 F15-P199	B41 F15-P202	B28 F21-P395	B30 F21-P398	B36 F21-P452	B38 F21-P457
La	3,1	5,2	0,6	1,3	1,1	0,9	31,6	63,9	32,9	9,8	2,6	0,8	1,2	0,7	0,5	<0,5	0,9
Ce	4,1	2,2	1,1	2,4	1,2	0,8	42,8	109,1	10,0	32,1	3,6	0,6	2,6	1,2	0,9	0,7	1,1
Pr	0,53	0,58	0,11	0,17	0,12	0,08	7,54	15,81	8,33	4,69	0,46	0,08	0,36	0,17	0,13	0,10	0,15
Nd	2,00	1,90	<0,40	0,60	0,50	0,40	27,10	55,60	31,40	20,30	2,00	<0,40	1,70	0,80	0,70	0,70	0,60
Sm	0,50	0,30	0,20	<0,10	0,10	0,10	4,2	8,60	7,20	5,10	0,40	<0,10	0,50	0,20	0,30	0,20	0,30
Eu	0,55	0,34	0,19	0,10	0,09	<0,05	0,71	1,66	2,13	1,00	0,21	0,06	0,21	0,16	0,13	0,06	0,06
Gd	0,66	0,48	0,33	0,19	0,21	0,14	3,09	5,47	7,54	5,73	0,42	0,17	0,52	0,32	0,62	0,26	0,45
Tb	0,09	0,07	0,05	0,02	0,02	0,02	0,46	0,86	1,48	1,20	0,03	0,03	0,06	0,06	0,10	0,06	0,09
Dy	0,50	0,55	0,27	0,09	0,17	0,10	2,87	3,34	8,18	6,98	0,22	0,07	0,31	0,41	0,76	0,38	0,69
Ho	0,11	0,12	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	0,51	0,44	1,51	1,36	0,06	<0,05	0,06	0,11	0,18	0,10	0,13
Er	0,31	0,41	0,15	0,14	0,15	0,07	1,35	0,93	4,36	4,22	0,13	0,06	0,14	0,4	0,67	0,39	0,45
Tm	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,19	0,12	0,68	0,64	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,11	0,06	0,08
Yb	0,22	0,51	0,16	0,11	0,10	0,10	1,03	0,55	4,06	4,31	0,15	<0,05	0,08	0,44	0,63	0,41	0,49
Lu	0,04	0,08	0,03	0,03	0,02	0,02	0,16	0,07	0,55	0,64	0,02	<0,01	0,03	0,08	0,14	0,08	0,09
ΣETR	12,71	12,8	3,25	15,85	11,97	8,74	123,61	813,96	396,93	266,19	10,3	1,87	7,77	5,12	5,87	3,5	5,58
ΣETRL	10,78	10,52	2,20	13,35	9,43	7,16	113,95	761,89	315,01	208,15	9,27	1,54	6,57	3,23	2,66	1,76	3,11
ΣETRP	1,93	2,28	1,05	1,26	1,42	0,95	9,66	31,32	55,29	45,54	1,03	0,33	1,20	1,89	3,21	1,74	2,47
(La/Sm) _N	3,76	10,51	1,82	7,88	6,67	5,45	4,56	4,50	2,77	1,16	3,94	-	1,45	2,12	1,01	-	1,82
(Gd/Lu) _N	1,77	0,64	1,18	0,68	1,13	0,75	2,07	8,37	1,47	0,96	2,25	-	1,86	0,43	0,47	0,35	0,54
Eu/Eu*	2,83	2,65	2,19	2,15	1,84	1,26	0,58	0,72	0,86	0,55	1,52	-	1,22	1,87	0,89	0,78	0,48
Ce/Ce*	0,71	0,28	0,95	1,13	0,73	0,66	0,61	0,76	0,13	1,05	0,73	0,53	0,88	0,77	0,78	-	0,66

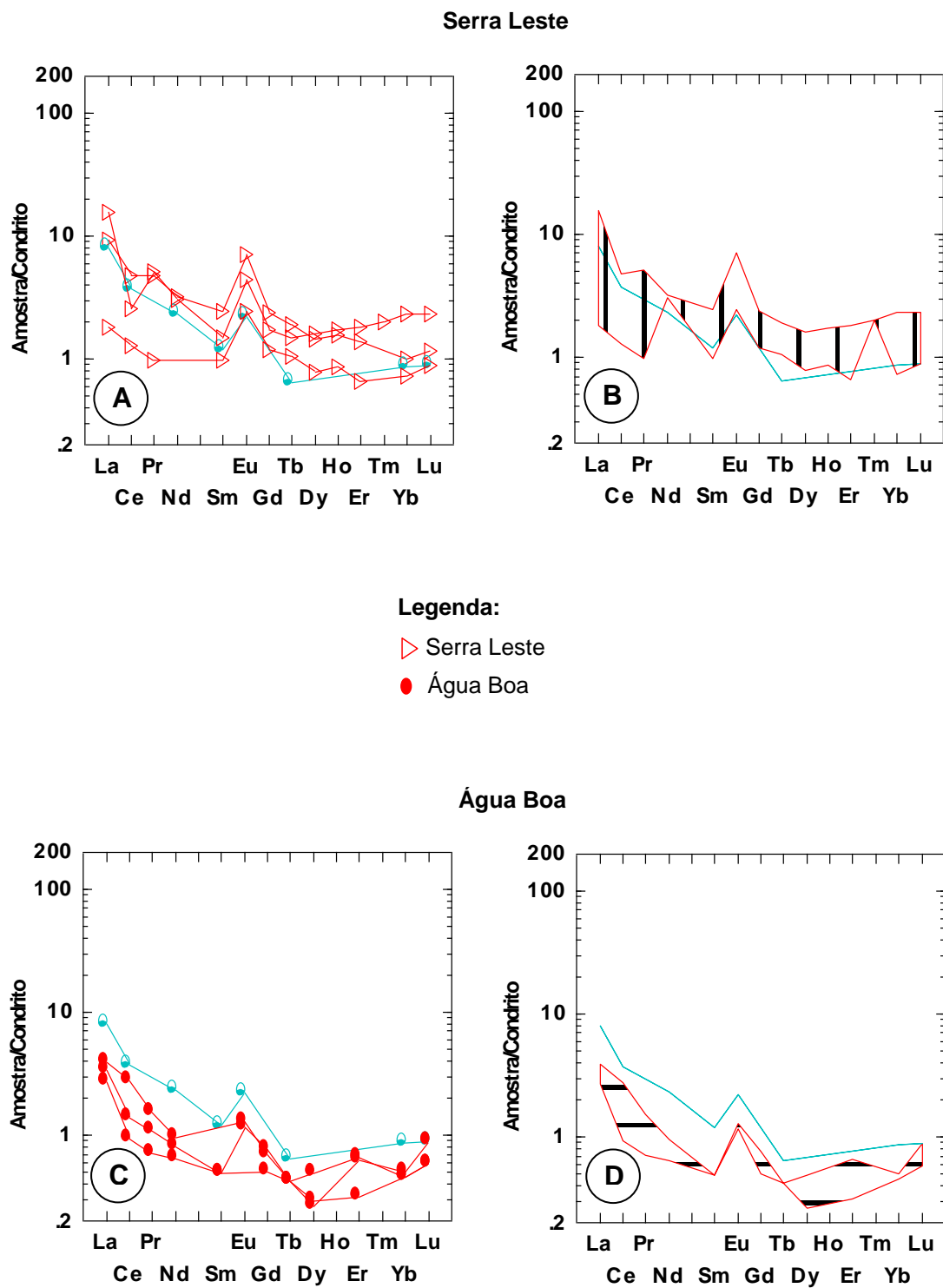
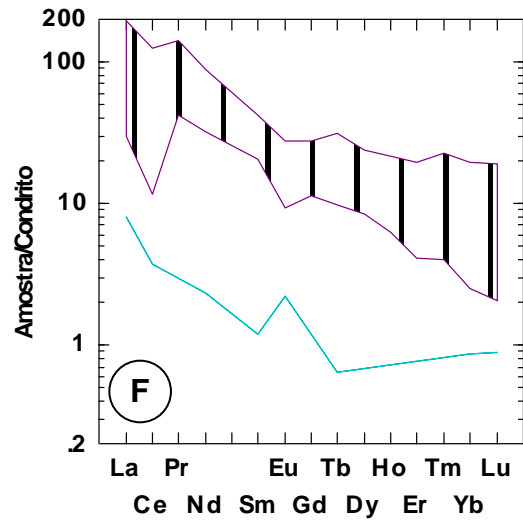
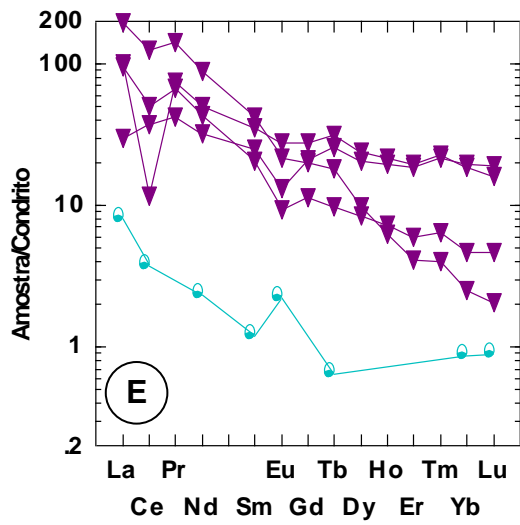


Figura 45 - Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste e Água Boa. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul, Dymek & Klein 1988). (A) e (B) sub-região de Serra Leste, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. (C) e (D) sub-região da Água Boa, curva por amostra e comportamento geoquímico geral.

Serra do Rabo



Legenda:

- ▼ Serra do Rabo
- Cristalino

Cristalino

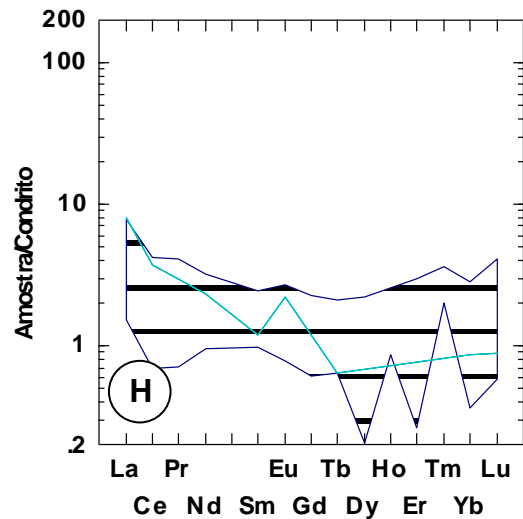
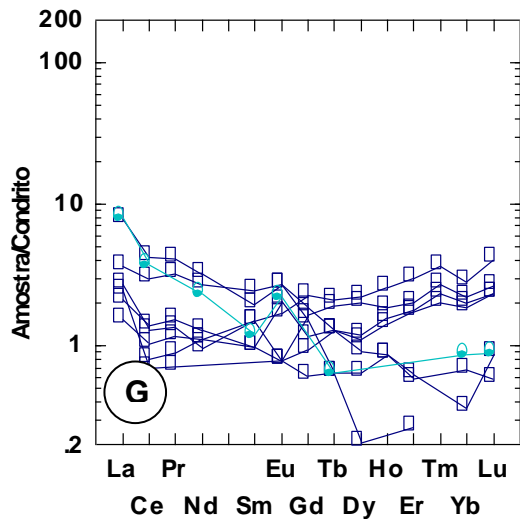


Figura 45 - (continuação) Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra do Rabo e Cristalino. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul claro, Dymek & Klein 1988). (E) e (F) sub-região da Serra do Rabo, curva por amostra e comportamento geoquímico geral. (G) e (H) sub-região do Cristalino, curva por amostra e comportamento geoquímico geral.

As amostras do platô da Água Boa apresentam valores de ETRs inferiores ao padrão de Isua e forma semelhante ao mesmo. As anomalias de Eu são positivas e superiores a 1, chegando a 2,15 na amostra LC-91. As razões La/Sm são superiores a 1, e as razões Gd/Lu no geral são próximas ao mesmo valor (1), caracterizando curvas sub-horizontais para os ETRPs e curvas ascendentes em direção ao elemento La para os ETRLs. Em relação ao condrito, os ETRPs são empobrecidos e os ETRLs enriquecidos; o Eu apresenta valores similares ao condrito, ou seja próximos ao valor 1 no eixo das ordenadas (Figura 45.C e D).

Na região da Serra do Rabo, as amostras são caracterizadas por apresentarem o maior enriquecimento relativo quando comparadas ao condrito (Nakamura 1974) e a FF Isua (Dymek & Klein 1988). Os valores de La podem atingir enriquecimento de 200 vezes em relação ao condrito (LC-147). Os valores das razões La/Sm e Gd/Lu são semelhantes, variando entre 1,16 e 8,37, e caracterizando padrões de curvas ascendente e constante em direção ao elemento La. As curvas apresentam anomalias negativas de Eu com valores próximos a 1; em geral as amostras também exibem anomalias negativas de Ce, como por exemplo a amostra LC-153 que registrou uma anomalia negativa de 0,13 (Figura 45.E e F).

As amostras do Cristalino não apresentam um padrão claro e bem definido de distribuição. Identifica-se uma leve tendência a apresentar curvas sub-horizontais variando aproximadamente entre 0,8 e 4 vezes a concentração dos elementos relativamente ao condrito. Nesse grupo de amostras não são identificadas anomalias consistentes de Ce ou Eu (Figura 45.G e H), que são tanto positivas quanto negativas. Outro aspecto que chama atenção é o fato das amostras mais ricas em ETRs exibirem enriquecimento relativo em ETRPs, o que não é observado nos demais diagramas.

5.1.4 Corpos de Minério de Ferro de Alto Teor em Serra Leste

As amostras analisadas são de minério de ferro de alto teor compacto (ou duro), localmente apresentando porções com relictos de laminação. Do ponto de vista geoquímico, as amostras são caracterizadas por apresentarem elevados valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$, variando entre 96,13 a 98,84 (% peso). Já os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e MnO são baixos, não ultrapassando 2 % (Tabela 21). Os demais óxidos maiores analisados apresentam valores extremamente baixos, no geral menores do que 0,1 %.

Tabela 21 - Valores dos óxidos maiores em amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1 localizado em Serra Leste.

Amostra/ (% peso)	ALC07 F19-P99	ALC08 F19-P102	ALC12A F29-P20	A17 F66-P150
SiO_2	0,38	0,37	0,43	1,23
Al_2O_3	1,95	0,60	0,09	0,75
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$	96,13	98,23	98,84	97,03
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,02	0,01	0,01	0,01
Na_2O	0,02	0,01	0,01	0,02
K_2O	0,04	0,04	0,04	0,04
TiO_2	0,02	0,02	0,01	0,01
P_2O_5	0,01	0,01	0,02	0,01
MnO	0,12	0,14	0,10	0,09
Cr_2O_3	0,001	0,001	0,005	0,001
PF	1,2	0,5	0,5	0,7
Total	99,86	99,88	100,02	99,85

No geral, o conteúdo total de elementos traço (excluindo os ETRs) é baixo não ultrapassando 180 ppm. Dentre os elementos traço destacam-se os valores elevados (> 10 ppm) de Ba, V e Cu, e valores que variam em geral entre 5 e 10 ppm de Sr, U, Zr, Y, Pb, Zn, Ni; os demais elementos analisados apresentam concentração inferior a 1 ppm.

O conteúdo total dos ETRs é em média de 43 ppm, apresentando como valor máximo 61,02 ppm (SL-F19-P99) e mínimo de 18,53 ppm (SL-F29-P20). Invariavelmente, para todas as amostras de minério de ferro compacto, o somatório dos ETRLs é superior ao dos ETRPs (Tabela 22). No geral as amostras são caracterizadas por razões La/Sm e Gd/Lu superiores a 1, apresentando curvas ascendentes em direção ao elemento La (Figura 46). Em relação ao condrito as amostras apresentam enriquecimento geral dos ETRs, com exceção das amostras SL-F19-P102 e SL-F29-P20, que mostram empobrecimento relativo dos elementos Yb e Lu. O enriquecimento do ETRLs pode chegar a valores entre 30 e 40 vezes para os elementos La e Ce respectivamente como, por exemplo, na amostra SL-F19-P99.

Não são identificadas anomalias significativas de Ce; já a amostra SL-F29-P20 apresenta anomalia positiva de Eu (2,12); nessa amostra são observados relictos de laminação, portanto, essa anomalia é interpretada como sendo herdada do protominério (FF de idade arqueana, *e.g.* Lobato *et al.* 2005). No geral, as amostras de minério de ferro compacto (*e.g.* SL-F29-P20) apresentam curvas com forma bastante semelhantes ao padrão de Isua, mas com enriquecimento relativo geral em relação ao mesmo padrão, que pode variar em média entre 5 e 40 vezes.

Tabela 22 - Valores de ETRs em amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1 localizado em Serra Leste.

Amostra/ (ppm)	ALC07 F19-P99	ALC08 F19-P102	ALC12A F29-P20	A17 F66-P150
La	10,1	7,2	4,4	9,9
Ce	29,5	24,5	9,2	22,1
Pr	2,8	1,51	0,7	2,15
Nd	11,7	6,1	2,6	8,8
Sm	2,6	1,1	0,4	1,4
Eu	0,85	0,47	0,26	0,49
Gd	1,68	0,89	0,33	1,15
Tb	0,21	0,11	0,06	0,19
Dy	0,87	0,55	0,27	1,28
Ho	0,14	0,12	0,05	0,27
Er	0,34	0,27	0,15	0,92
Tm	<,05	<,05	<,05	0,15
Yb	0,21	0,2	0,09	0,75
Lu	0,02	0,01	0,02	0,1
∑ETR	61,02	43,03	18,53	49,65
∑ETRL	57,55	40,88	17,56	44,84
∑ETRP	3,47	2,15	0,97	4,81
(La/Sm)N	2,35	3,97	6,67	4,29
(Gd/Lu)N	9,00	9,54	1,77	1,23
Eu/Eu*	1,20	1,41	2,12	1,14
Ce/Ce*	1,23	1,65	1,16	1,06

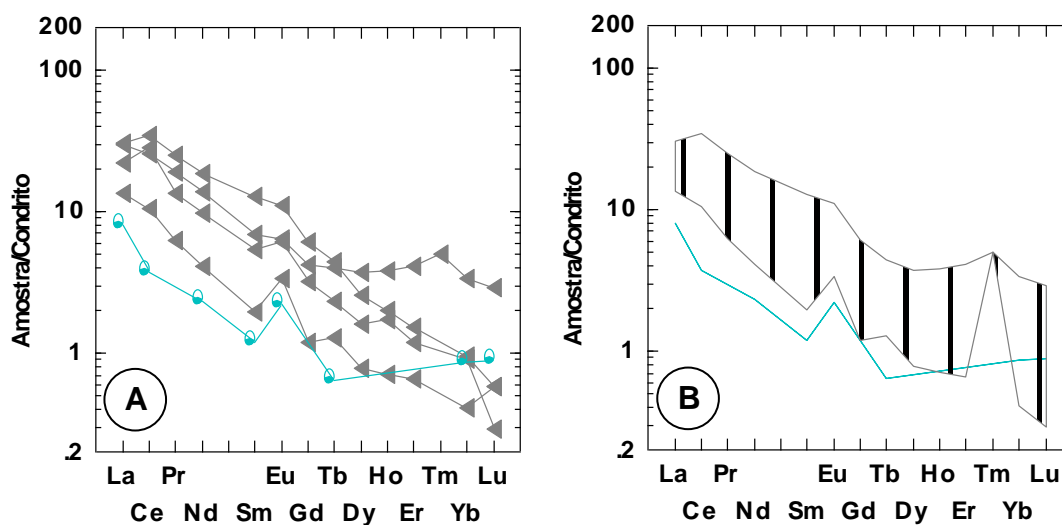


Figura 46 - Diagramas dos valores de ETRs normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), para amostras de minério de ferro compacto do depósito SL1, localizado em Serra Leste. Valores comparados com o padrão de Isua (curva em azul claro, Dymek & Klein 1988). (A) e (B) curva por amostra e comportamento geoquímico geral.

5.2 DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

O presente capítulo trata da geoquímica de amostras de rocha máfica, FFs, anfibolitos e minérios de ferro compacto, todas rochas pertencentes a porção vulcanossedimentar do Grupo Rio Novo, provenientes das sub-regiões Serra Leste (incluindo amostras do depósito SL1); Serra do Rabo; Depósito Cristalino; Platô da Água Boa (Figura 40). Os dados geoquímicos são distribuídos de forma heterogênea na área de estudo, e representam de forma pontual as sub-regiões. Em escala regional, diversos processos geológicos podem alterar a assinatura geoquímica de rochas semelhantes, a exemplo dos fluidos hidrotermais. As FFs das regiões de Serra Leste e Serra do Rabo provavelmente pertencem a uma mesma seqüência vulcanossedimentar, embora apresentem características geoquímicas distintas.

Na PMC os trabalhos sobre geoquímica das seqüências vulcanossedimentares são escassos, e no geral os estudos abordam apenas a química do jaspilitos. Sobre a geoquímica de rochas do Grupo Grão Pará destacam-se os trabalhos de Lobato *et al.* (2005), Figueiredo e Silva (2004) e Macambira & Schrank (2002). Segue uma análise comparativa com síntese dos dados geoquímicos de alguns autores:

1) Meirelles (1986) observa enriquecimento relativo em ETRLs, e anomalias positivas e negativas de Eu em cinco amostras de jaspilitos do depósito N4 (Serra Norte), e identifica similaridades entre os padrões de ETRs entre as rochas vulcânicas máficas e jaspilitos sugerindo ambiente de formação semelhante para ambas as rochas. Klein & Ladeira (2000) também descrevem enriquecimento relativo em ETRLs e anomalia positiva de Eu bem definida, em três das seis amostras de FF estudadas. Os autores associam a presença dessas anomalias à introdução de soluções hidrotermais submarinhas.

2) Macambira & Schrank (2002) realizaram trabalho químico-estratigráfico em FFs da Formação Carajás (Grupo Grão Pará), em 62 amostras; em relação aos óxidos maiores as amostras de FFs apresentaram os seguintes teores médios (% peso): $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ 53,65 %; SiO_2 44,60 %; Al_2O_3 0,63%; FeO 1,31 %; MnO 0,06 %; MgO 0,1 %; CaO 0,04 %; Na_2O 0,04 %; K_2O 0,02 %; P_2O_5 0,01 % e PF 0,73 %. No pacote de FFs estudadas, observa-se da base para o topo enriquecimento em Si e empobrecimento proporcional de ferro ($r = -0,99$). Os ETRs apresentam teores mais elevados na base e nas bandas ferruginosas das FFs. A partir da base em direção ao topo também identifica-se enriquecimento relativo progressivo em ETRPs e diminuição da anomalia positiva de Eu, interpretada como resultado da diminuição gradativa de fontes hidrotermais, que influenciaram de forma direta na origem dos jaspilitos.

3) Segundo Lobato *et al.* (2005), existem dois principais padrões de distribuição de ETRs em jaspilitos e minérios: (i) baixos conteúdos totais (Σ ETR), com enriquecimento em ETRLs, além de anomalia positiva de európio ($\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$), característica típica de FFs bandadas arqueanas, (Dymek & Klein 1988) identificada em jaspilitos de N4W e N5E e minérios de N1 e N4E (Serra Norte); (ii) concentração total relativamente elevada de ETRs e ausência de anomalia positiva de európio, apresentando padrão quase horizontal de ETRs (minérios de N5E). Os mesmos autores também estudaram os padrões de ETRs das rochas vulcânicas máficas do Grupo Grão Pará, e identificaram comportamento homogêneo para todas as amostras, com teores totais enriquecidos, anomalia negativa de Eu e enriquecimento de ETRLs.

Rochas Vulcânicas Máficas Hematitizadas e Minério de Ferro de Alto Teor

As rochas vulcânicas máficas hematitizadas apresentam um aumento considerável nos valores de ETRLs, atingindo enriquecimento em torno de 100 vezes em relação ao condrito, enquanto a rocha máfica sem hematitização apresenta enriquecimento relativo de aproximadamente 40 vezes (Figura 38.A e B). De forma similar o minério de ferro compacto do depósito SL1 também apresenta valores de ETRLs superiores as FFs da mesma região. A associação entre os dados de ETRs das rochas máficas hematitizadas e do minério de ferro compacto, sugere a influência de fluidos mineralisantes a ferro no depósito. Aparentemente o fluido mineralizador ao interagir com rochas máficas e FFs da região de Serra Leste aumentou o conteúdo total dos ETRs com destaque para ETRLs, de forma semelhante ao descrito por Lobato *et al.* (2005) para os depósitos de minério de ferro da Serra Norte.

Formações Ferríferas

Elementos maiores: No geral as FFs da Serra do Rabo apresentam valores mais elevados de Al_2O_3 (média 1,92 %) e TiO_2 (média 0,08 %), sendo que a amostra LC-58 (Serra do Rabo) exhibe o valor máximo para ambos os óxidos (Al_2O_3 3,11 % e TiO_2 0,1 %), sendo os mesmos relacionados a presença de hornblenda nas FFs. Os teores elevados de TiO_2 e Al_2O_3 sugerem a mistura de sedimentos clásticos durante a sedimentação química das FFs, principalmente para a amostra LC-58 localizada fora da auréola de metamorfismo de contato do Granito Estrela. Dymek & Klein (1988) apresentam valores de Al_2O_3 e TiO_2 para rochas metassedimentares clásticas e anfíbolitos, que podem variar entre 10 e 20 (Al_2O_3) e 0,2 e 2,0 (TiO_2). Embora as FFs da Serra do Rabo não apresentem os valores estipulados por Dymek & Klein (1988), é interpretado que o conteúdo elevado de Al_2O_3 e TiO_2 pode ser associado a contribuição clástica.

Grau de oxidação: As amostras de FF analisadas (9) apresentam alto grau de oxidação, expressa pela relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, variando entre 0,66 e 0,97 (média 0,78). Segundo Spier (2005), os itabiritos dolomíticos e os quartzo itabiritos da Formação Cauê (Quadrilátero Ferrífero) apresentam média de 0,984 e 0,985, respectivamente. Klein & Beukes (1992 *in* Spier 2005) discutem a composição química de FFs em várias localidades do mundo, e apresentam valores que variam em média de 0,05 (FF siderítica - *Kuruman Iron Formation*) a 0,58 (FF metamorfisada em Montana), excluindo o valor anômalo de 0,97 (*Rapitan Group*).

Comparando os valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ da magnetita (0,67) e hematita (1,00), com os valores das FFs da região de estudo, observa-se que as FFs do Depósito Cristalino, onde os óxidos de ferro são principalmente magnetita e em menor proporção martita, tendem a apresentar valores mais próximos ao da magnetita (média 0,73). Já as FFs de Serra Leste (LC-19) e Serra do Rabo (LC-58), onde o óxido de ferro predominante é a martita, apresentam valores de 0,95 e 0,97 respectivamente.

Elementos terras raras: As amostras de FFs analisadas foram comparadas com o padrão de Isua e todos os valores normalizados em relação ao condrito. O padrão de Isua representa a média de duas amostras de FFs a quartzo-magnetita (IS 623-68 e IS 701-2C, Anexo V.7), localizadas no cinturão supracrustal Isua (Groenlândia) com idade de 3,8 Ga, classificadas como tipo Algoma. As amostras de Isua apresentam fracionamento em ETRLs em relação ao padrão subhorizontal de ETRPs e anomalia positiva de Eu, conforme visto na Figura 44 (Dymek & Klein 1988). Segundo os mesmos autores as amostras apresentam concentrações entre 10 e 1 vezes o condrito, para os ETRs leves e pesados respectivamente, e as amostras ricas em quartzo tendem a apresentar conteúdo total de ETRs baixo.

As FFs das regiões de Serra Leste e Água Boa apresentam curva de distribuição dos ETRs bastante similar ao padrão de Isua, exibindo em geral enriquecimento nos ETRLs e anomalia positiva de Eu. As amostras da região do platô da Água Boa em relação ao padrão de Isua são empobrecidas em todos os ETRs. Já as amostras da Serra do Rabo mostram enriquecimento geral. Uma amostra de FF da Serra do Rabo (LC-153) apresenta anomalia negativa pronunciada de Ce (0,13), como se trata de uma amostra de superfície, provavelmente essa amostra experimentou processos oxidantes atmosféricos; entretanto, ainda não é claro porque apenas algumas amostras de campo apresentaram anomalias negativas de Ce.

As amostras do Depósito Cristalino não apresentam padrão bem definido, embora o teor dos ETRs varie entre o valor máximo e mínimo do padrão de Isua. O padrão irregular dos ETRs é interpretado como consequência da alteração hidrotermal que resultou na mineralização dessas amostras a cobre e ouro. Assim, a alteração possivelmente obliterou o comportamento geoquímico típico da FF sem alteração. Possivelmente a alteração hidrotermal envolveu alta razão

fluido/rocha; segundo Rollinson (1995) grande parte da utilidade dos ETRs reside no fato de que eles estão entre os elementos traço de menor solubilidade sendo, portando, relativamente imóveis durante o metamorfismo de baixo grau, alteração hidrotermal e intemperismo, a menos que a razão fluido/rocha seja muito alta.

A partir dos dados de Bonnot-Courtois (1981) e Corliss *et al.* (1978), Dymek & Klein (1988) construíram diagrama de correlação entre $(Co + Cu + Ni)$ e $(La + Ce + Nd + Sm + Eu + Tb + Yb + Lu)$, e estabeleceram campos para os depósitos hidrotermais e sedimentos metalíferos de fundo oceânico. As amostras de FFs das quatro sub-regiões são representadas no diagrama (Figura 47).

O diagrama da Figura 47 corrobora com a hipótese da influência de fontes hidrotermais vulcanogênicas durante a época de precipitação das FFs. No geral todas as FFs apresentam somatório de Co, Cu e Ni dentro do campo dos depósitos hidrotermais. Já algumas amostras do Depósito Cristalino e todas as amostras da Serra do Rabo apresentam somatório dos ETRs (selecionados) fora do campo hidrotermal, provavelmente pela influência de fluidos hidrotermais mineralizadores (alta razão fluido/rocha) pós diagenéticos, que na região de estudo tendem a aumentar o conteúdo total de ETRs.

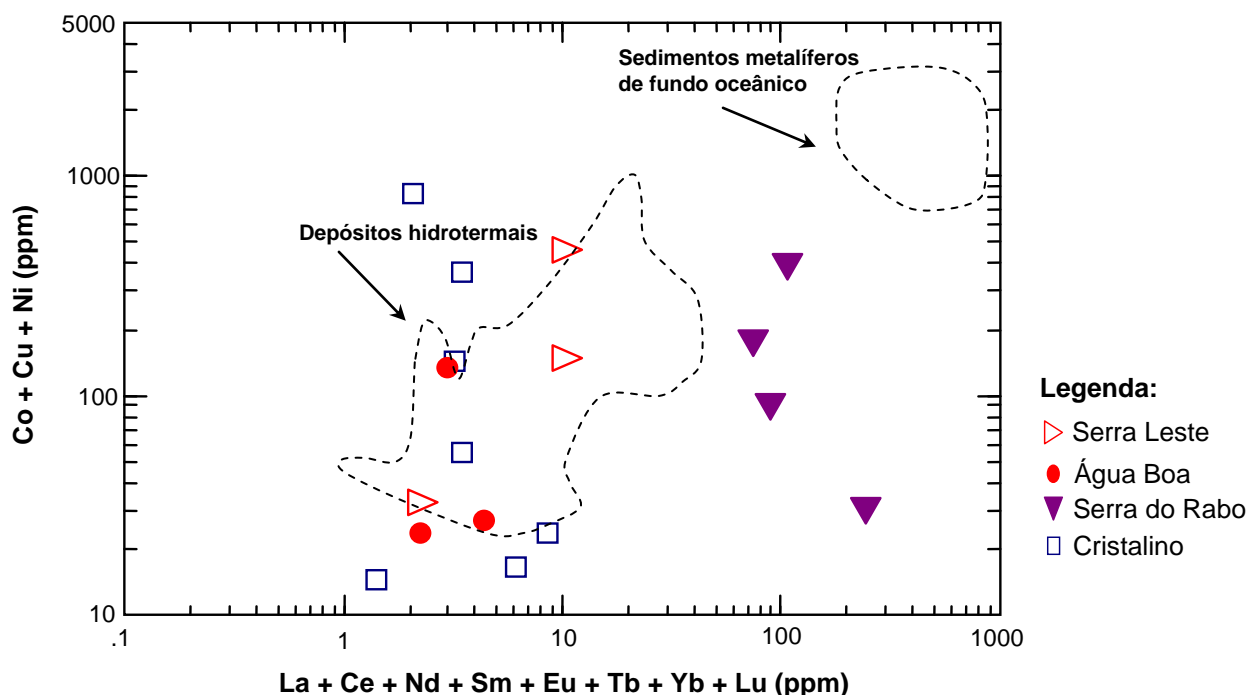


Figura 47 - Diagrama binário de $(Co + Cu + Ni)$ versus $(La + Ce + Nd + Sm + Eu + Tb + Yb + Lu)$, com o campo dos depósitos hidrotermais e sedimentos metalíferos de fundo oceânico (Dymek & Klein 1988), para amostras de FFs das sub-regiões de Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino.

As FFs com anfibólio (grunerita e hornblenda) que bordejam o Granito Estrela são interpretadas como o resultado de metamorfismo de contato (fácies hornblenda hornfels) e metassomatismo, envolvendo a assimilação principalmente dos íons Ca e Mg pelas FFs, para formar hornblenda (LC-153 e LC-154). O metassomatismo é concomitante ao metamorfismo, onde os anfibólios, se formaram às custas dos íons extraídos do granito. A auréola de metamorfismo de contato/metassomatismo é consistente com a principal fonte de calor na região, ou seja o Granito Estrela, tem aproximadamente 5 km de largura e distribui-se no entorno deste granito. Alternativamente, o metamorfismo de FFs precipitadas na região de talude sob influência de aporte sedimentar (argilas, correntes de turbidez) também poderiam gerar FFs com hornblenda; entretanto, não foram observadas FFs com contribuição clástica (impuras) na região de estudo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 UNIDADE RIO NOVO

Assim como outras seqüências da Província Carajás, a seqüência do Grupo Rio Novo, denominada inicialmente por Rosière *et al.* (2005) como seqüência Serra do Rabo, experimentou efeitos de dobramento regional, falhamento transcorrente, metamorfismo de contato ao redor de domos graníticos (*e.g.* Domo Estrela), além de alteração hidrotermal relacionada a eventos de mineralização. Todos estes processos afetaram as seqüências em intensidades variadas, o que dificulta a individualização das unidades geológicas na província mineral.

Após trabalho de caracterização envolvendo etapas de campo, petrografia, análise estrutural, geoquímica e geoprocessamento, o autor considera que as rochas vulcanossedimentares da porção leste da PMC, deformadas e metamorfasadas, e nesse trabalho designadas como Grupo Rio Novo (redefinição informal), representam uma seqüência individualizada, que se estende em direção N-S desde a região de Serra Leste até a Serra do Rabo, e que não tem continuidade estratigráfica com o Grupo Grão Pará, como anteriormente interpretado em cartografias geológicas de várias escalas (*e.g.* Faraco *et al.* 2004).

6.2 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS

As FFs da porção leste da Província Carajás apresentam características petrográficas e geoquímicas distintas nas quatro sub-regiões estudadas: Serra Leste, Água Boa, Serra do Rabo e Cristalino. Em Serra Leste, a curva dos ETRs é bastante similar ao padrão de Isua, tanto na forma quanto nas concentrações dos elementos, enquanto que na região do Água Boa as concentrações são ligeiramente inferiores. Na região da Serra do Rabo, os ETRs apresentam forma semelhante ao padrão de Isua, mas as concentrações são superiores, variando de 2 vezes para os ETRLs, até 200 vezes para os ETRPs em relação ao condrito e, as anomalias de Ce e Eu no geral são negativas. As FFs do Depósito Cristalino não apresentam um padrão claro e bem definido de distribuição, mas as concentrações de ETRs são similares ao padrão de Isua.

Na região de estudo as características texturais/composicionais das FFs variam da seguinte forma:

1) As FFs da porção sul da região de estudo, incluindo as sub-regiões do Água Boa e Cristalino, apresentam grande variedade de estruturas primárias, como estruturas diagenéticas (bandamento e laminação) bem preservados (*e.g.* Cristalino: CRIS-F15-P175 e Água Boa: LC-91).

2) Na região do Platô da Água Boa ocorrem jaspilitos, enquanto no Deposito Cristalino as FFs apresentam apenas relictos de jaspe. As FFs da porção norte da região, por outro lado, são caracterizadas por apresentarem pouco ou nenhum jaspe.

3) As FFs da Serra do Rabo próximas ao Granito Estrela e da região de Serra Leste encontram-se bastante deformadas. Próximo ao depósito SL1 identifica-se uma foliação tectônica que transpõe e oblitera as estruturas primárias da FF, possivelmente associada à Zona de Cisalhamento do Cinzento e/ou a deformação relacionada ao Granito Estrela.

4) A petrografia e geoquímica (incluindo química mineral) demonstraram que as FFs que ocorrem no entorno do Granito Estrela, assim como as demais rochas associadas, experimentaram metamorfismo de contato equivalente a fácies hornblenda hornfels, em contraste com o metamorfismo regional da fácies xisto-verde baixa. A auréola de metamorfismo de contato apresenta aproximadamente 5 km de largura. As FFs com anfibólio (hornblenda e grunerita) compreendidas nessa região exibem textura francamente granoblástica.

6.3 AMBIENTE TECTÔNICO

O diagrama ternário (Figura 39) sugere que os basaltos da seqüência Rio Novo (região de Serra Leste) foram gerados em ambiente de arco vulcânico de ilhas. Levando em consideração esse ambiente tectônico, é interpretado que as FFs da unidade Rio Novo foram precipitadas em bacia retro-arco (*Back Arc Basin*) no mar marginal. Possivelmente as FFs foram precipitadas em posição distal ao arco vulcânico, sob influência de fontes hidrotermais vulcanogênicas associadas a cadeia meso-oceânica, de forma similar a Figura 48.

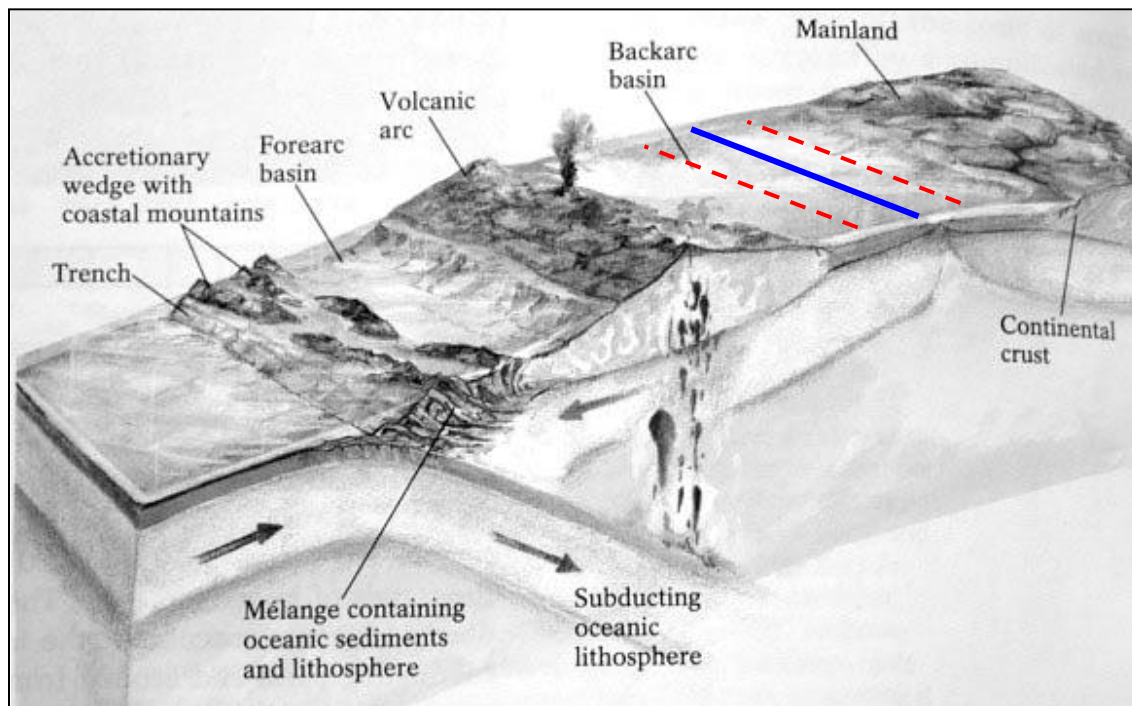


Figura 48 - Desenho esquemático fora de escala com o provável ambiente tectônico da bacia de sedimentação das FFs da unidade Rio Novo. A linha tracejada em vermelho delimita a provável região de sedimentação das FFs, sob influência das fontes hidrotermais vulcanogênicas próximas a cadeia meso-oceânica, cujo o eixo é representado pela linha contínua azul, (modificado de Rey 2006).

De acordo com Condie (1997), os basaltos e basalto-andesitos são as rochas vulcânicas mais comuns no ambiente de arco de ilhas, onde os andesitos, entre outras rochas félsicas, são relativamente mais comuns em arcos de margem continental. As FFs da região de estudo, principalmente na região de Serra Leste, ocorrem associadas a rochas vulcânicas máficas (hematitizadas ou não), possivelmente geradas em ambiente de arco vulcânico de ilhas. Durante o estágio de fechamento da bacia retro-arco (*Back Arc*), as FFs estariam em posição adjacente ao arco, portanto, apresentando associação direta com as rochas vulcânicas.

As características estruturais e metamórficas da PMC sugerem uma arquitetura do tipo domo e quilha (Rosière *et al.* 2005) comum aos *greenstone belts* do Arqueano. De acordo com Lobato *et al.* (2005), a Província de Carajás preserva as porções mais superiores da estruturação domo e quilha, com variações perceptíveis no nível crustal raso. A hipótese da região de estudo se tratar de um terreno *greenstone* é sugerida por Hirata *et al.* (1982), Meireles *et al.* (1984) e Araújo & Maia (1991).

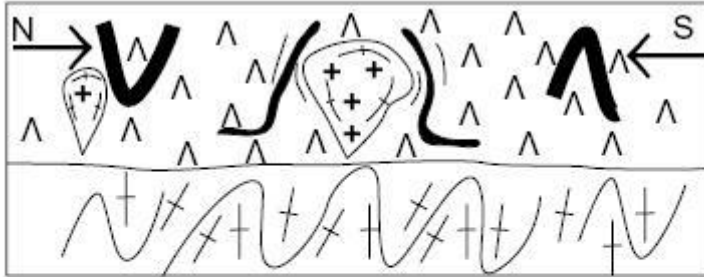
Segundo Condie (1997), os terrenos *greenstone* são sucessões de rochas supacrustais compostas principalmente por rochas vulcânicas máficas e sedimentos vulcanoclásticos e, em menor proporção, por sedimentos químicos incluindo FFs e rochas carbonáticas. Os cinturões (*belts*) do tipo *greenstones* são constituídos por um ou mais conjuntos de rochas vulcânicas apresentando padrão linear na estruturação. De acordo com o mesmo autor, representam a colagem de vários ambientes tectônicos, principalmente de arcos vulcânicos, e não necessariamente preservam as mesmas proporções em volume dos ambientes originais. Uma das características mais marcantes, comum à maioria dos *greenstones*, são as intrusões de granitóides, gerando a arquitetura do tipo domo e quilha, semelhante à geometria entre os granitos sintectônicos (*e.g.* granitos Estrela e Serra do Rabo) e o Grupo Rio Novo.

6.4 MODELO EVOLUTIVO PROPOSTO

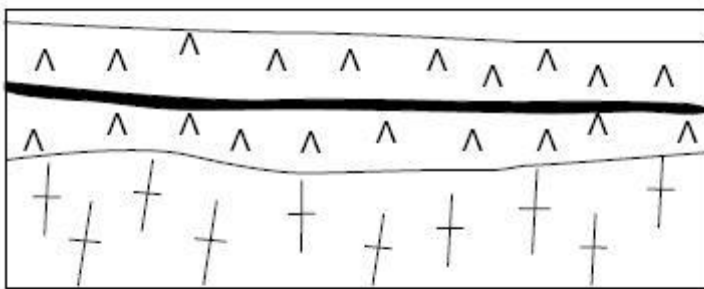
A deformação da região de estudo é interpretada como tendo se desenvolvido predominantemente no Arqueano, e associada temporalmente a época de *emplacement* dos granitos sin-tectônicos (*e.g.* Estrela, Palqué e Serra do Rabo), em grande parte porque estas rochas assim como as seqüências vulcanossedimentares registram características estruturais compatíveis com encurtamento aproximadamente N-S, particularmente pelo desenvolvimento de foliação de orientação E-W, plano axial a dobras desenvolvidas em diferentes escalas.

A unidade Rio Novo ainda não foi datada, mas o complexo intrusivo Luanga (2,76 Ga) corta a seqüência limitando a sua idade mínima; o Granito Estrela, assim como outros granitos sin-tectônicos e o Grupo Grão Pará, também apresentam idade de 2,76 Ga. Portanto, o regime deformacional dos granitos pode ser extrapolado para se interpretar a evolução estrutural das rochas encaixantes. Possivelmente a seqüência metavulcanossedimentar Rio Novo é mais antiga do que o Grupo Grão Pará. A estruturação inicial de ambas as seqüências, com direção N-S e mergulho para W (Rosière *et al.* 2005), também sugere posição estratigráfica inferior do Grupo Rio Novo em relação a unidade Grão Pará. Segundo Lobato *et al.* (2005) essas unidades provavelmente foram depositadas em sub-bacias de um mesmo sistema de arco de ilha em evolução.

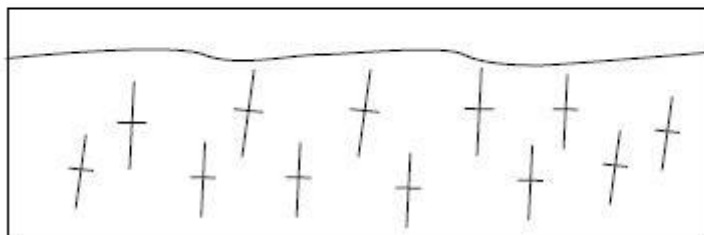
Segue abaixo o modelo evolutivo da porção leste da PMC, modificado do modelo de evolução para a Província Carajás de Sardinha *et al.* (2006), com base em estudos realizados nos granitos sin-tectônicos e nas rochas encaixantes.



2,76-2,73 Ga deformação associada a um encurtamento N-S, granitos sintectônicos e metamorfismo de contato.



> 2,76 Ga vulcanismo de composição basáltica em ambiente tectônico de arco de ilhas, sedimentação das FFs em bacia retro-arco. Fechamento da bacia, colagem de ambientes tectônicos e metamorfismo de baixo grau.



2,84 Ga metamorfismo na fácies granulito das rochas do embasamento.

Figura 49 - Síntese do modelo evolutivo da porção leste da Província Mineral de Carajás, modificado de Sardinha *et al.* (2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu F.A.M. 1978. Estratigrafia e evolução estrutural do segmento setentrional da faixa de dobramentos Paraguaí-Araguaia. Dissertação de Mestrado, Belém, UFPa/NCGG, 90p.
- Almeida F.F.M. 1978. Tectonic map of South America, 1:5.000.000. Explanatory note, Brasília, DNPM/CGMW/UNESCO, 23p.
- Amaral G. 1974. Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 212p.
- Andrade S., Hypolito R., Ulbrich H.H.G.J., Silva M.L. 2002. Iron(II) oxide determination in rocks and minerals. *Chemical Geology*, 182(1): 85-89.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., João X.S.J., Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Belém, Anais, 1: 324-328.
- Araújo O.J.B., Maia, R.G.N. 1991. Projeto Grande Carajás, folha SB.22-Z-A-Serra dos Carajás.
- Barbosa et al. 1966. Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia. DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, Monografia 19, 94p.
- Barros C.E.M. 1997. Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil). Tese de Doutorado, Université Henri Poincaré, Nancy I, Nancy, France 316p.
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P. 2001. Idade de zircão do Complexo Granítico Estrela: Relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética Carajás. In: Proceedings Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, 17-20.
- Barthelmy D. 2006. Mineralogy database contains 4.442 individual mineral species descriptions with links and a comprehensive image library. <http://webmineral.com/>, último acesso em 12/02/2007.
- Beisiegel V.R., Bernardelli A.L., Drummond N.F., Ruff A.W., Tremaine J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(4): 215- 242.
- Beukes N.J., Klein C. 1992. Models for iron-formations deposition. In: J.W. Schopf, C. Klein (eds.) *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*. Cambridge, Cambridge University Press, 147-151.
- Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Baars F.J., Delgado I.M., Abram M.B., Leão Neto R., de Matos G.M.M., Santos J.O.S. 2001. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas-SIG e Mapas na Escala 1:2 500 000. 4ª Edição, 4 CD-rom. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM.
- Bonnot-Courtois C. 1981. Distribution des terres rares dans les depots hydrothermaux de la zone FAMOUS et des Galapagos - comparaison avec les sediments metalliferres. *Marine Geology*, 39: 1-14.
- Choukrone P. 2000. Deformações e deslocamentos na crosta terrestre. São Leopoldo, UNISINOS, 272p.
- Condie K.C. 1997. *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. 4 ed, Oxford, Butterworth-Heinemann, 282p.
- Corliss J.B., Lyle M., Dymond J., Krane K. 1978. The chemistry of hydrothermal mounds near the Galapagos Rift. *Earth Planetary Science Letters*, 40: 12-24.

- Costa R.D., Starkey J. 2001. PhotoLin: a program to identify and analyze linear structures in aerial photographs, satellites images and maps. *Computers & Geosciences*, 27: 527-534.
- Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Bol. do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)*, 7:199-235.
- Cox K.G., Bell J. D., Pankhurst R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. London, Allen & Unwin, 450p.
- CVRD. 2006. Companhia Vale do Rio Doce.
http://www.cvrd.com.br/t_general_content.asp?pag_cod_id=184&are_id=128&are_ch=149&are_lst=210&idm_cod_id=9, último acesso em 13/02/2007.
- Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira, M.J.B. 1999. Petrology of anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, 46: 431-462.
- Davis G.H. 1984. *Structural Geology of Rocks and Regions*. Singapore, John Wiley & Sons, 473p.
- Davy R. 1983. Part A: A Contribution on The Chemical Composition of Precambrian Iron-Formation. In: Trendall A.F., Morris R.C. (eds.), *Iron-Formation: Facts and Problems*. Amsterdam, Elsevier, 325-342.
- Deer W.A., Howie R.A., J. Zussman M.A. 1972. *Rock forming minerals: non-silicates*, vol. V, Longman, London.
- Dimroth E. 1976. Aspects of the sedimentary petrology of cherty iron formation, in: Wolf K.H., *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*, Amsterdam, Elsevier, 7: 203-254.
- DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, Anexo aos anais, 11-54.
- Dymek R.F., Klein C. 1988. Chemistry, petrology, and origin of banded iron formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. *Precambrian Research*, 39: 241-302.
- Faraco M.T.L., Marinho P.A.C., Vale A.G., Costa E.J.S., Maia R.G.N., Ferreira A.L., Valente C.R., Lacerda Filho J.V., Moreton L.C., Camargo M.A., Vasconcelos A.M., Oliveira M., Oliveira I.W.B., Abreu Filho W.A., Gomes I.P. 2004. Folha SB.22-Araguaia. In: Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Santos J.O.S., Abram M.B., Leão Neto R., Matos G.M.M., Vidotti R.M., Ramos M.A.B., Jesus J.D.A. (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil*. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- Faraco M.T.L., Carvalho J.M.A., Klein E.L. 1996. A carta metalogenética da Província de Carajás/Sul do Pará-Folha Araguaia (SB.22). Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, Anais, 3: 248-250.
- Figueiredo e Silva, R.C. 2004. Caracterização petrográfica e geoquímica de jaspilitos e minérios de Ferro dos depósitos N1, N4W, N4E e N5E, Província Mineral Carajás, Pará: implicações para a mineralização de ferro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, 151p.
- Fryer B.J. 1983. Part B: Rare-earth elements in iron-formation. In: Trendall A.F., Morris R.C. (eds.), *Iron-Formation: Facts and Problems. Developments in Precambrian Geology*. Amsterdam, Elsevier, 345-357.
- Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(2): 201-211.

- GLCF. 2005. Global Land Cover Facility, Institute for Advanced Computer Studies University of Maryland. <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>, último a acesso em 13/02/2007.
- Gonçalves C.A.J. 2006. Sumário mineral, minério de ferro. www.dnpm.gov.br, último acesso em 13/02/2007.
- Goodwin A.M., Thode H.G., Chou C.L., Karkhansis S.N. 1985. Chemostratigraphy and origin of the late Archean siderite-pyrite-rich Helen Iron Formation, Michipicoten belt, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 22: 72-84.
- Google Earth 2007. <http://earth.google.com/>, ultimo acesso em 12/02/2007.
- Grenne T., Slack J.F. 2005. Geochemistry of Jasper Beds from the Ordovician Lokken Ophiolite, Norway: Origin of Proximal and Distal Siliceous Exhalites. *Economic Geology*, 100: 1511-1527.
- Gross G.A. 1996. Stratiform iron in: *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*. (eds) Eckstrand O.R., Sinclair W.D., Thorpe R.I. Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, 8: 41-54.
- Gross G.A. 1973. The depositional environment of principal types of Precambrian iron-formations. In: *Genesis of Precambrian iron and manganese deposits*. Paris, Unesco Earth Sciences, 9: 15-21.
- Harnmeijer J.P. 2003. Banded Iron-Formation: A Continuing Enigma of Geology. University of Washington. <http://earthweb.ess.washington.edu/~jelte/essays/BIFs.doc>, último aceso em 12/02/2007.
- Hasui Y. et al. 1977. Estratigrafia da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia no Centro-Norte do Brasil. *Boletim IG, São Paulo, IG/USP*, 8: 107-118.
- Hasui Y., Haralyi N.L., Schobbenhaus C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: *DNPM, Simposium Amazônico*, 2, Manaus. *Anais*, 129-147.
- Hasui Y., Haralyi N.L.E. 1985. A megaestruturação de Goiás. In: *II Simposio de Geologia do Centro-oeste, Goiânia, Ata SBG*, 120-144.
- Hawthorne F.C. 1981. Crystal chemistry of the amphiboles. In: *Amphiboles*, D.R. Veblen ed. *Rev. Mineral*. 9A: 1-102.
- Hirata W.K., Rigon, J.C., Kadekaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Anais*, 1: 100-108.
- Hobbs B.E., Means W.D., Willians P.F. 1976. *An outline of structural geology*. New York, John Wiley, 571p.
- Holdsworth R.E., Pinheiro R.V.L. 2000. The anatomy of shallow-crustal transpressional structures: insights from the Archaean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. *Journal of Structural Geology*, 22: 1105-1123.
- Hoppe A., Schobbenhaus C., Walde D.H.G. 1987. Precambrian iron formation in Brazil. In: Appel and LaBerge (eds), 347-390.
- Huhn S.R.B., Souza C.I.J., Alburquerque M.C., Leal E.D., Brustolin V. 1999. Descoberta do Depósito Cu(Au) Cristalino: Geologia e Mineralização Associada-Região de Serra do Rabo - Carajás - PA. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, Anais*, 6: 140-143.
- Isley A.E. 1995. Hydrothermal plumes and the delivery of iron to banded iron formation. *Journal of Geology*, 103: 169-185.
- James H.L. 1954. Sedimentary facies of iron-formation. *Economic Geology*, 49: 235-293.

- James H.L. 1983. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: Trendall A.F., Morris R.C. (eds). 1983. Iron-formations: Facts and Problems. Amsterdam, Elsevier, 471-490.
- Klein C., Ladeira E.A. 2000. Petrography and geochemistry of the least altered banded ironformation of the Archean Carajás Formation, northern Brazil. *Economic Geology*, 97: 643-651.
- Klein C. 1983. Diagenesis and Metamorphism of Precambrian Banded Iron-Formation In: Trendall A.F., Morris R.C. (eds). 1983. Iron-formations: Facts and Problems. Amsterdam, Elsevier, 417-465.
- Klein C. 2002. Petrography and geochemistry of the least altered banded ironformations of the Archean Carajás Formation, Brazil. *Economic Geology*, 97: 643-651.
- 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.
- Klein C., Beukes N.J. 1989. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron-formation deposition in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. *Economic Geology*, 84: 1733-1774.
- Lobato L.M., Figueiredo e Silva R.C., Hagemann S, Thorne W. 2007. Mineralising fluid evolution and REE patterns for the hydrothermal Carajás iron ores, Brazil, and for selected Hamersley iron deposits, Australia. Congresso da SGA, Dublin, Ago/2007
- Lobato L.M., Rosière C.A., Figueiredo e Silva R.C., Zucchetti M., Baars F.J., Seone J.C.S., Rios F.J., Pimentel M., Mendes G.E., Monteiro A.M. 2005. A Mineralização Hidrotermal de Ferro da Província Mineral de Carajás - Controle Estrutural e Contexto na Evolução Metalogenética da Província. in: Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. 2005. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília, DNPM/ADIMB, 782p.
- Lobato L.M., Rosière C.A., Baars F.J., Seoane J.C.S., Figueiredo Silva R.C. 2002. Geologia da Província Mineral Carajás & Geologia dos Depósitos de Ferro. Relatório de Revisão e Compilação, Projeto Caracterização dos Distritos Mineiros da Amazônia, Alvo Ferro Carajás, FINEP (Fundo Mineral)-DNPM/ADIMB. Dept. Geologia-IGC-UFGM, 27p.
- Macambira J.B., Schrank A. 2002. Químico-Estratigrafia e Evolução dos Jaspilitos da Formação Carajás (PA). *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 567-578.
- Macambira J.B. 2003. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 217p.
- Macambira M.J.B., Dall'Agnol R. 1997. Zircon age for the Paleoproterozoic Jamon Granite, SE Carajás Province, Brazil: New evidence of rocks older than 3.1 Ga in the Amazonian craton. In: South America Symposium on Isotope Geology, 2, Campos do Jordão, São Paulo, Extended Abstracts, 186-187.
- Macambira M.J.B., Lafon J.M., Pidgeon R.T. 1998. Crescimento crustal arqueano registrado em zircões de sedimentos da região de Rio Maria, Província Carajás, Pará. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Proceedings, 55p.
- Macambira M.J.B., Lancelot J. 1996. Time constraints of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Int. Geol. Rev.* 38: 1134-1142.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49: 329-354.

- Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. 2005. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília, DNPM/ADIMB, 782p.
- Matias P.H. 2003. Relatório de Reavaliação de Reservas. Curionópolis-PA. Processo DNPM 813.687/69. Volume I - Texto.
- Meirelles E.M., Hirata W.K., Amaral A.F., Medeiros Filho C.A., Gato W.C. 1984. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, Anais, 5: 2164-2174.
- Meirelles M.R. 1986. Geoquímica e petrologia dos jaspilitos e rochas vulcânicas associadas, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 171p.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56(3-4): 207-218.
- Mougeot R., Respaut J.P., Briquet L., Ledru P., Milesi J.P., Macambira M.J.B., Huhn S.B. 1996. Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará State, Brazil). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, Boletim de resumos expandidos, 6: 579-581.
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 38:757-775.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré Cambriano da Serra dos Carajás: redescricao e redefinição litoestratigráfica. *Ciências da Terra*, 7: 177-197.
- Oliveira J.R., Silva Neto C.S., Costa E.J.S. 1994. Serra Pelada, Folha SB.22-X-C. Relatório Final. CPRM, Brasília, 220p.
- Pidgeon R., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, 166: 159-171.
- Pinheiro R.V.L., Holdsworth R.E. 1997. 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.
- Piper D.Z. 1974. Rare earth elements in the sedimentary cycle: a summary. *Chemical Geology*, 14: 285-304.
- Rey P.F. 2006. Earth Processes and Resources Faults, Folds and Mountain Belts. <http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geol-1002/Geol1002.htm> , último acesso em 06/03/2007.
- Robinson P., Spear F.S., Schumacher J.C., Laird J., Klein C., Evans B.W., Doolan B.L. 1981. Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. *Reviews in Mineralogy*, Washington, 9B:1-228.
- Rodrigues E., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb da Província mineral de Carajás: primeiros resultados. In: Congresso de Geologia, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, 37: 183-184.
- Rollinson H.R. 1995. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Singapore, Longman, 352p.

- 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.
- Rosière C.A., Siemes H., Quade H., Brokmeier H.G., Jansen E. 2001. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*, 23: 1429-1440.
- Santos J.O.S, Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R.. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4): 453-488.
- Santos J.O.S. 1999. New understanding of the Amazon Craton Gold Provinces. In: *New developments in Economic Geology*. Center for Teaching and Research in Strategic Mineral Deposits. University of Western Australia, Perth, Course Notes, 10p.
- Santos J.O.S. 2003. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central. In: *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds.), Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM, Cap. IV, 169-226.
- Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R. 2006. Geology, geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 327-339.
- Seoane J.C.S., Rosière C.A., Baars F.J., Lobato L.M. 2004. Mapeamento litoestrutural 3-D do Grupo Grão Pará, Província Mineral de Carajás, PA. In: *Simpósio Brasileiro Exploração Mineral*, maio 2004, Ouro Preto, CD rom, ADIMB.
- Sial A.N., McReath I. 1984. *Petrologia Ígnea, Os Fundamentos e as Ferramentas de Estudo* (volume 1). Salvador, SBG/CNPq/Bureau Gráfica e Editora Ltda, 181p.
- Silva G.G., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimaraes G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. In: *Levantamento de Recursos Minerais, Projeto Radam* (Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM e Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM).
- Spier C.A.. 2005. *Geoquímica e Gênese das Formações Ferríferas Bandadas e do Minério de Ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2005. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 298p.
- Taylor D., Dalstra H.J., Harding A.E., Broadbent G.C., Barley M.E. 2001. Genesis of High-Grade Hematite Orebodies of the Hamersley Province, Western Australia. *Economic Geology*, 96:837-873.
- Taylor S.R., McLennan S.M. 1985. *The Continental Crust: its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific Publishers.
- Teixeira J.B.G. 1994. *Geochemistry, petrology, and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 Iron Deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil*. Tese de Doutorado, Department of Geosciences, Penn State University, 161p.
- Trendall A.F., Basei M.A.S., Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. Shrimp zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(3): 265-277.
- Trendall A.F. 1983. Introduction. in Trendall A.F., Morris R.C. (eds) *Iron-Formation: Facts and Problems*. Amsterdam, Elsevier, 558p.

- Vilela R.A., Melo R.J., Costa T.A.V., Lagoeiro L.E., Varajão C.A.C. 2004. Petrografia do minério hematita compacta da Mina do Tamanduá (Quadrilátero Ferrífero, MG). REM 57(3): 157-164.
- Winkler H.G.F. 1977. Petrogênese das Rochas Metamórficas. Porto Alegre, Edgard Blucher Ltda., 4 ed. 253p.
- Zucchetti M., Lobato L.M. 2004. Alteração hidrotermal a ferro das rochas máficas associadas aos depósitos de ferro N4 e N5, província mineral de Carajás, PA. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, Maio 2004, Anais.

Anexo I / Mapa Geológico

Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

Autor Leandro Prado Costa



Legenda

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

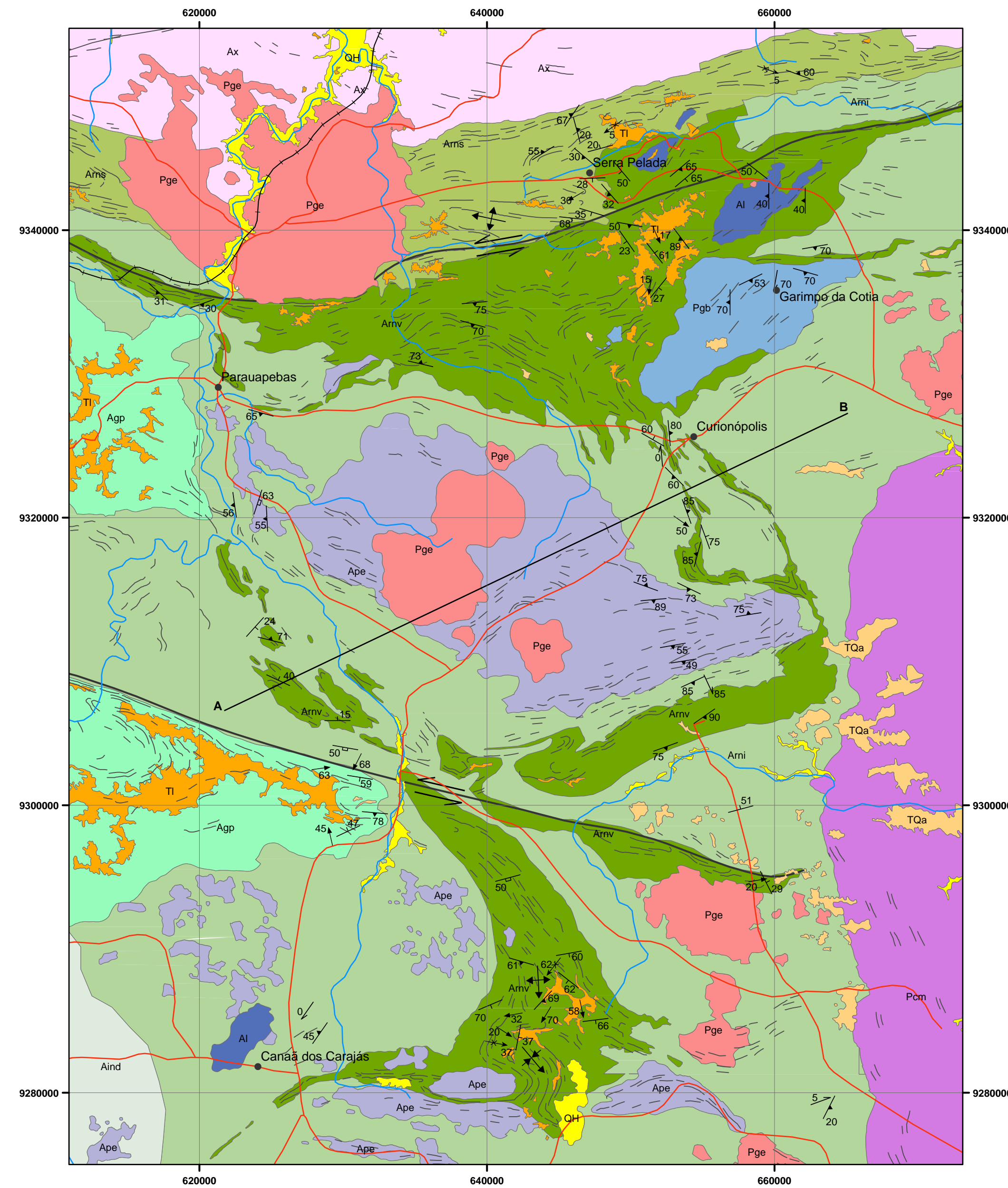
- FANEROZÓICO (CENOZÓICO)**
- QH Aluvião e colúvio
 - TQa Silte, areia siltsosa, conglomerado e laterita
 - Tl Laterita
- PROTEROZÓICO**
- Associação Ignea**
- Pge Granito e granitóide
 - Pgb Gabro
- Supergrupo Baixo Araguaia / Grupo Tocantins / Formação Couto Magalhães**
- Pcm Metaconglomerado, quartzito, arcóσιο e filito
- Suite Plaquê / Granito Estrela / Granito Serra do Rabo**
- Ape Leucogranito, granodiorito e granitóide
- Grupo Grão Pará**
- Agp Quartzito, metabasalto, metariolito, formação ferrífera e metadacito
- Grupo Rio Novo**
- Arms Rochas metassedimentares clasto-químicas
 - Armv Rocha vulcânica básica, formação ferrífera e anfibolito
- Grupo Rio Novo Indiviso**
- Armi Rochas metavulcanossedimentares
- Suite Luanga**
- Al Norito, gabro, piroxenito, peridotito e serpentinito
- Complexo Xingu**
- Ax Gnaiss Diorítico, metagabro, metaulttramáfica, ortogneiss, paragneiss, anfibolito, migmatito, gnaiss granodiorítico, gnaiss granítico e granulito
- Arqueano Indiviso**
- Aind Indiferenciado

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

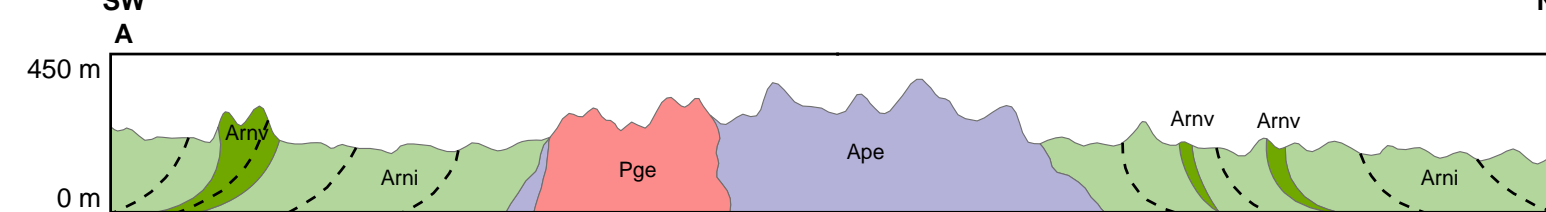
- Direção e mergulho de acamamento
- Direção e mergulho de foliação
- Direção e mergulho de clivagem de fratura
- Direção e caimento de eixo de dobra
- Direção e caimento de lineação mineral
- Direção e caimento de lineação de interseção
- ↔ Falha transcorrente sinistral
- Fotolineamento, no geral representam a continuidade das seqüências vulcano-sedimentares
- ↕ Estrutura sinclinal com caimento do eixo
- ↕ Estrutura anticlinal com caimento do eixo

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Localidade
- Estrada
- Drenagem
- Ferrovia



SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA

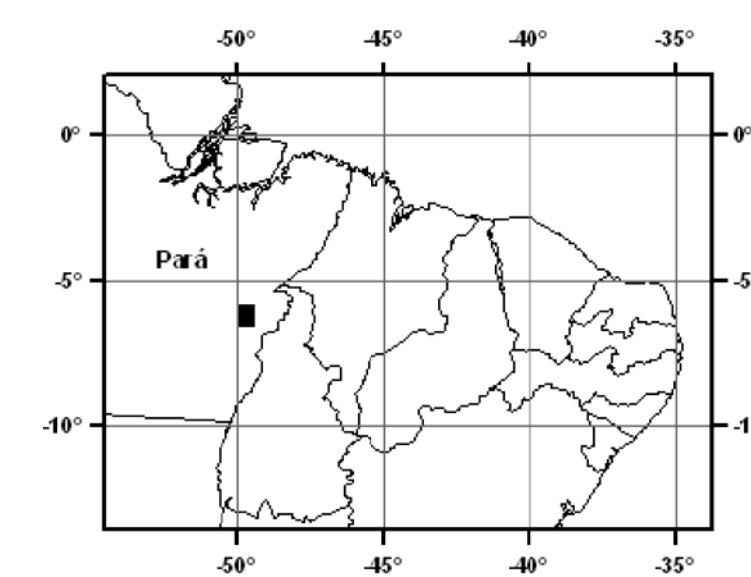


ESCALA 1:250.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: WGS84
Origem da quilometragem UTM: Equador e meridiano 51° W.Gr.,
acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

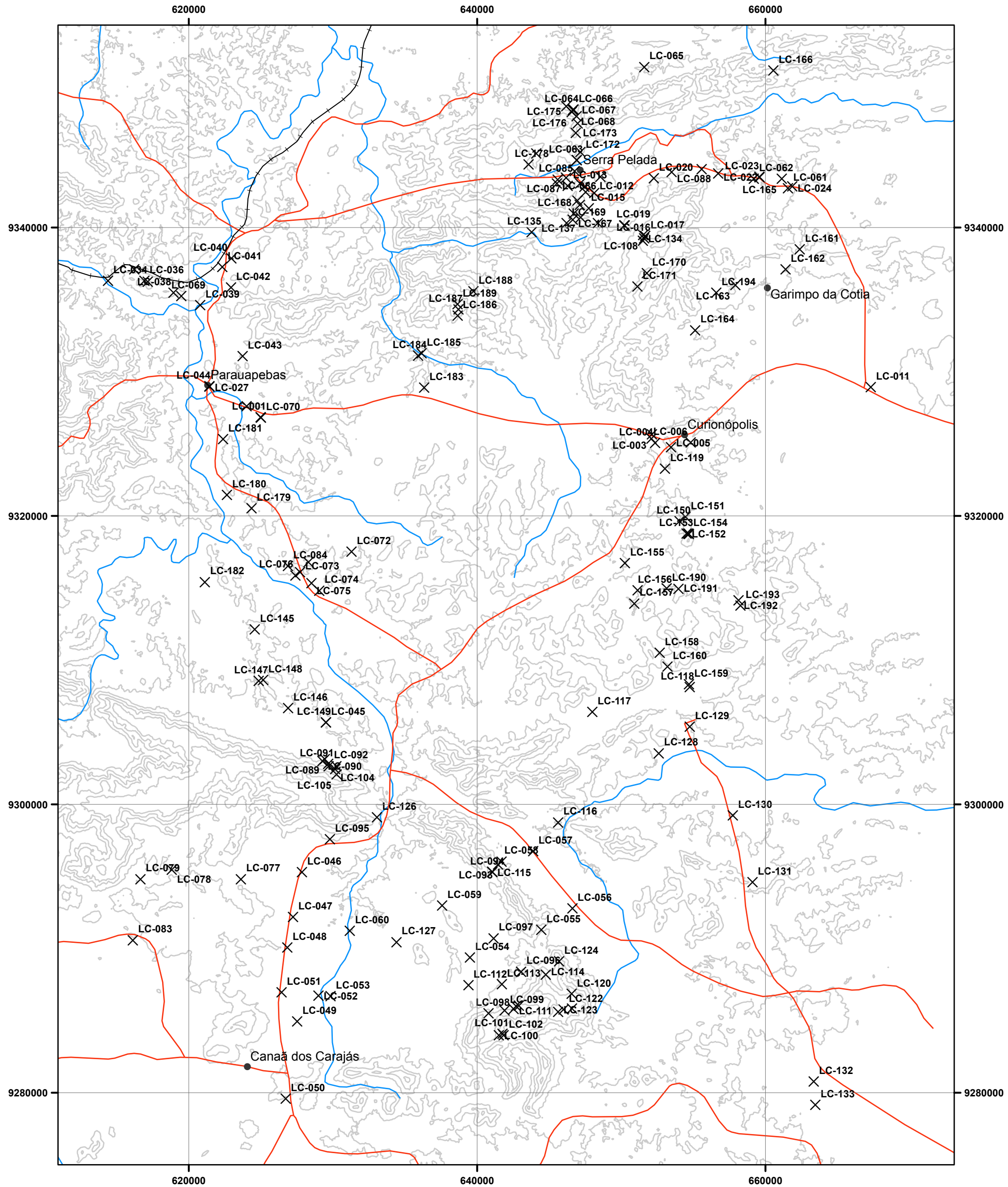


TÍTULO: Mapa geológico da porção leste da Província Mineral de Carajás - PA
ESCALA: 1 : 250.000
AUTOR: Leandro Prado Costa (base geológica e fotolineamento modificados de Seone et al. 2004)
ORIENTADORES: Carlos Alberto Rosière e Lydia Maria Lobato
BASE CARTOGRÁFICA: Modelo Digital de Terreno (GLCF 2005)
FINANCIAMENTO: ADIMB, CNPq e FAPEMIG
APOIO: CVRD, CPMTc e Roots Rock

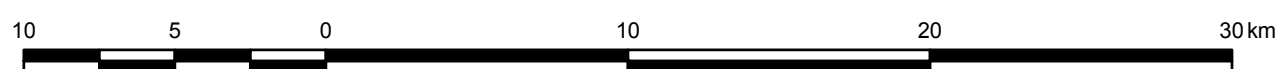
Anexo II / Mapa de Pontos

Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

Autor Leandro Prado Costa



ESCALA 1:250.000



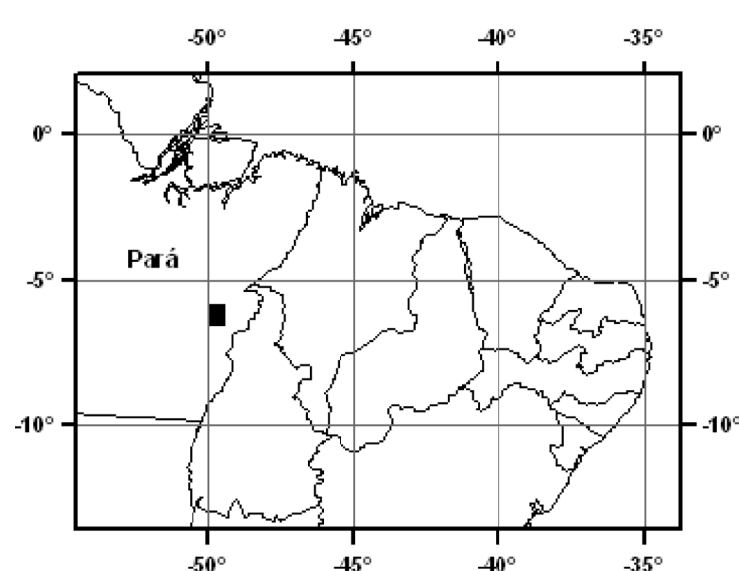
Legenda

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Localidade
- Estrada
- Drenagem
- Ferrovias
- Curvas de nível
- × Pontos de campo

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: WGS84
Origem da quilometragem UTM: Equador e meridiano 51° W.Gr.,
acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



TÍTULO: Mapa de pontos geológico da porção leste da Província Mineral de Carajás - PA
ESCALA: 1 : 250.000
AUTOR: Leandro Prado Costa
ORIENTADORES: Carlos Alberto Rosière e Lydia Maria Lobato
FINANCIAMENTO: ADIMB, CNPq e FAPEMIG
APOIO: CVRD, CPMTc e Roots Rock

Anexo III / Descrição de Pontos Geológicos

Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

Autor Leandro Prado Costa

DESCRIÇÃO DE PONTOS GEOLÓGICOS

DATUM: WGS 84
SISTEMA DE COORDENADAS: UTM
ZONA: 22M
Norte Geográfico (Medidas Declinadas)
PC: Ponto de Controle
X / Y / Altitude

DATA: 25/05/2005

EQUIPE: Leandro & Rosière

LC-01 (624983 / 9326837 / 176 m)

(PC) Posto de Gasolina Nogueira próximo ao trevo da cidade de Parauapebas saída para Canaã dos Carajás.

LC-02 (652090 / 9325363 / 223 m)

Rodovia PA-275 sentido leste, afloramento em vala no limite sul da rodovia, próximo à fazenda Maravaia. Rocha de coloração bege, muito alterada, com alternância de bandas centimétricas de coloração acinzentada ricas em óxidos de ferro e bandas milimétricas de composição leucocrática.

Foliação: 45/90

Bandamento: 30/60

LC-03 (652122 / 9325263 / 226 m)

Rodovia PA-275 sentido leste, afloramento em pedreira no limite sul da rodovia, próximo à fazenda Maravaia. Canga de coloração avermelhada, com matriz ferruginosa e grânulos de óxido com o miolo vazio. Provavelmente a canga é utilizada na pavimentação de estradas.

LC-04 (652354 / 9325056 / 231 m)

Rodovia PA-275 sentido leste, afloramento em provável pedreira no limite sul da rodovia, próximo à fazenda Maravaia. Rocha de coloração marrom, fortemente magnética (anfíbolito?).

Foliação: 85/80

Lineação: 355/00.

LC-05 (653449 / 9324765 / 193 m)

Rodovia PA-275 sentido leste, afloramento localizado próximo a córrego no limite sul da rodovia. Rocha básica de coloração acinzentada, isotrópica, muito dura.

LC-06 (654811 / 9325077 / 212 m)

(PC) Rodovia PA-275 sentido leste, entrada oeste do município de Curionópolis.

LC-07 (679620 / 9324924 / 149 m)

(PC) Rodovia PA-150, entrada do município de Eldorado dos Carajás.

LC-08 (682133 / 9324966 / 145 m)

(PC) Município de Eldorado dos Carajás, trevo para a cidade de Marabá.

LC-09 (686068 / 9326979 / 136 m)

(PC) Ponto localizado próximo ao município de Eldorado dos Carajás memorial do massacre do MST.

LC-10 (699405 / 9351641 / 117 m)

(PC) Rodovia PA-150, pequeno vilarejo na margem da rodovia denominado Vila Betel.

LC-11 (667310 / 9328923 / 165 m)

(PC) Rodovia PA-275 entrada para Serra Pelada, placa da cooperativa de garimpeiros (COOMIGASP), 35 km de estrada de terra.

LC-12 (648128 / 9342378 / 306 m)

(PC) Serra Pelada Pau da Mentira.

LC-13 (646288 / 9342895 / 308 m)

(PC) Serra Pelada escritório da CVRD.

LC-14 (647139 / 9343038 / 325 m)

Afloramento localizado em caminho próximo a cava do garimpo de Serra Pelada. Folhelho hospedeiro da mineralização de Au. Quando fresca a rocha apresenta coloração acinzentada.

Acamamento: 155/10

LC-15 (647529 / 9342457 / 285 m)

Afloramento na beira da estrada próximo a cava de Serra Pelada. Paraconglomerado com matriz ferruginosa de coloração escura e clastos de quartzo, predominando a granulometria seixo.

LC-16 (651585 / 9339248 / 663 m)

(PC) Serra Pelada, caminho subindo serra apresentando *trend* NW-SE.

LC-17 (651667 / 9339400 / 652 m)

(PC) Serra Pelada, topo da serra apresentando *trend* NW-SE.

LC-18 (650238 / 9340130 / 529 m)

Afloramento localizado em Serra Leste, FFB com alternância de bandas centimétricas magnéticas de coloração acinzentada e bandas milimétricas de coloração esbranquiçada. Foliação: 260/10.

LC-19 (650211 / 9340153 / 413 m)

Afloramento localizado em Serra Leste, FFB com alternância de bandas centimétricas fortemente magnéticas de coloração acinzentada e bandas milimétricas de coloração esbranquiçada, ricas em minerais félsicos. A rocha apresenta textura gnáissica. Foliação: 190/50

LC-20 (652255 / 9343415 / 284 m)

(PC) Estrada de Serra Pelada, provável entrada para serra com *trend* NE-SW.

LC-21 (655571 / 9344034 / 230 m)

Afloramento de gabro com porções intemperizadas, localizado na beira da estrada de Serra Pelada.

LC-22 (656724 / 9343761 / 219 m)

Afloramento localizado em corte da estrada de Serra Pelada. Rocha máfica muito intemperizada.

LC-23 (659577 / 9343506 / 253 m)

Afloramento localizado na beira da estrada de Serra Pelada. Rocha félsica de coloração esbranquiçada contendo talco, apresentando xistosidade.

Foliação: 270/40

Acamamento: 230/60, 200/40

LC-24 (661857 / 9342861 / 216 m)

Afloramento localizado na beira da estrada de Serra Pelada. Rocha félsica de coloração esbranquiçada contendo talco, apresentando xistosidade.

Foliação: 270/40

DATA: 27/05/2005

EQUIPE: Leandro, Rosière, Rosaline & Márcia

LC-25 (593723 / 9331285 / 500 m)

Afloramento localizado nas proximidades da usina de beneficiamento. Rocha máfica decomposta exposição ruim.

LC-26 (593724 / 9331286 / 500 m)

Afloramento localizado próximo à pêra ferroviária. Rocha máfica decomposta, apresentando coloração avermelhada e xistosidade.

Foliação: 350/48

DATA: 30/05/2005

EQUIPE: Leandro & Jucélio

LC-27 (621439 / 9328975 / 170 m)

(PC) CBN Flat Hotel.

LC-28 (598781 / 9336919 / 224 m)

(PC) Estrada da ferrovia barragem do Geladinho.

LC-29 (598296 / 9338002 / 246 m)

Estrada da ferrovia, afloramento em trincheira. HD foliado com porções friáveis; ocorrem veios de quartzo de escala milimétrica dispostos aleatoriamente.

Foliação: 240/50.

LC-30 (601223 / 9338681 / 225 m)

(PC) Estrada da ferrovia, escola e campo próximo à ferrovia.

LC-31 (603992 / 9338067 / 198 m)

Afloramento localizado na estrada da ferrovia. Saprólito de coloração avermelhada, exposição ruim.

LC-32 (605682 / 9337278 / 202 m)

Afloramento localizado na estrada da ferrovia em corte de talude. Rocha de coloração rosa, saprólito de gnaïsse.

LC-33 (607226 / 9337459 / 178 m)
(PC) Estrada da ferrovia, vilarejo e campo.

LC-34 (614405 / 9336305 / 163 m)
(PC) Estrada da ferrovia, ponte de Madeira.

LC-35 (616228 / 9337091 / 177 m)
Afloramento em estrada subindo colina. Saprólito de coloração avermelhada.

LC-36 (616926 / 9336287 / 268 m)
Afloramento de HD localizado em vala de estrada, subindo colina. Ponto amostrado (rolado). Subindo a colina a coloração do solo muda de creme para avermelhada.

LC-37 (617158 / 9336238 / 276 m)
Afloramento localizado próximo ao topo de colina, subindo o pasto a partir da estrada. HD foliado com bandas milimétricas de coloração esbranquiçada, intercaladas em bandas centimétricas de óxido. Rocha fortemente magnética.
Foliação: 270/40, 185/40

LC-38 (618946 / 9335482 / 246 m)
Afloramento de HD em corte de estrada, próximo ao topo de colina.

LC-39 (620795 / 9334603 / 157 m)
(PC) Ponte sobre o rio Parauapebas.

LC-40 (622957 / 9337856 / 157 m)
Afloramento localizado próximo à ferrovia, no município de Parauapebas. Rocha de coloração esbranquiçada e granulação grossa. Composta predominantemente por quartzo, feldspato e biotita, classificada como um granitóide intrusivo.

LC-41 (622331 / 9337261 / 156 m)
(PC) Estação ferroviária de Parauapebas.

LC-42 (622933 / 9335828 / 159 m)
Ponto localizado no município de Parauapebas. Relevo típico de granitos, a sudeste da estação observa-se disjunção esferoidal.

LC-43 (623733 / 9331089 / 181 m)
Afloramento em talude de rodovia, localizado no município de Parauapebas, próximo ao acesso ao bairro Betânia. Nível de canga (paleocanal?) com aproximadamente 2 m de espessura.

DATA: 31/05/2005

EQUIPE: Leandro & Jucélio

LC-44 (621439 / 9328987 / 193 m)

(PC) CBN Flat Hotel.

LC-45 (629513 / 9305669 / 215 m)

Rodovia para Canaã dos Carajás, afloramento em talude. Saprólito de coloração esbranquiçada com porções foliadas, exposição ruim. Com visada para sul observa-se o platô da Água Boa.

LC-46 (627854 / 9295293 / 216 m)

Afloramento na margem leste da rodovia para Canaã dos Carajás. Campo de blocos e matacões de granitóide. Rocha de coloração clara e granulação média, dura. Exposição Ruim.

LC-47 (627232 / 9292188 / 243 m)

(PC) Vila 45, trevo para a mina do Sossego.

LC-48 (626842 / 9290077 / 243 m)

Afloramento em corte de estrada na margem oeste da rodovia para Canaã dos Carajás. Rocha máfica de coloração esverdeada e granulação fina a média em contato com rocha félsica de granulação média a grossa.

Contato: 230/70

LC-49 (627525 / 9284956 / 243 m)

Afloramento no pasto na margem oeste da rodovia para Canaã dos Carajás. Granitóide de coloração esbranquiçada, composto por quartzo, feldspato potássico e biotita.

Identifica-se lineação de estiramento mineral (biotita) *strike-slip*.

Foliação: 305/45

LC-50 (626724 / 9279597 / 292 m)

(PC) Entrada norte do município de Canaã dos Carajás.

LC-51 (626444 / 9286953 / 266 m)

(PC) Rodovia para Canaã dos Carajás entrada para o Cristalino.

LC-52 (628994 / 9286750 / 229 m)

Afloramento localizado na estrada para o Cristalino. Granitóide de coloração esbranquiçada, composto por quartzo, feldspato potássico e biotita.

LC-53 (629840 / 9286708 / 236 m)

(PC) Estrada para o Cristalino, placa Fazenda Paraná.

LC-54 (639509 / 9289379 / 253 m)

(PC) Estrada para o Cristalino, porteira da Fazenda dos Carajás. Com visada para noroeste observa-se a Serra do Rabo.

LC-55 (644453 / 9291285 / 270 m)

(PC) Alojamento do Cristalino.

LC-56 (646607 / 9292775 / 230 m)

(PC) Bifurcação na estrada próxima ao Cristalino.

LC-57 (643888 / 9296746 / 217 m)
(PC) Sede da fazenda Boa Vista, 4 km a norte do Cristalino.

LC-58 (641699 / 9296041 / 252 m)
Serra do Rabo 5 km a noroeste do Cristalino, afloramento no piso da estrada para a Vila 45. Lente de FF de aproximadamente 40 cm de espessura intercala em siltito.

LC-59 (637579 / 9292971 / 244 m)
Afloramento localizado na estrada para vila 45, campo de blocos e matacões de rocha granítica.

LC-60 (631168 / 9291240 / 215 m)
(PC) Ponte de madeira na estrada para a vila 45.

DATA: 02/06/2005
EQUIPE: Leandro & Jucélio

LC-61 (661564 / 9342732 / 230 m)
Afloramento localizado na margem da estrada para Serra Pelada. Máfica intemperizada, rocha magnética de coloração esverdeada clara com venulações de óxido.

LC-62 (659193 / 9343384 / 245 m)
Campo de blocos e matacões, localizado na margem sul da estrada para Serra Pelada, subindo o pasto. Rocha máfica fresca de coloração esverdeada escura.

LC-63 (646914 / 9344668 / 274 m)
Afloramento em pedreira de quartzo localizada a 1 km a norte da cava de Serra Pelada. Quartzito de granulação média e coloração esbranquiçada. Rocha isotrópica compacta, contendo fragmentos de quartzo leitoso.

LC-64 (646689 / 9348178 / 267 m)
(PC) Região de Serra Pelada porteira da fazenda Miranda.

LC-65 (651596 / 9351131 / 186 m)
(PC) Região de Serra Pelada, bifurcação na estrada km 16.

LC-66 (646680 / 9348178 / 234 m)
(PC) Região de Serra Pelada, sentido oeste na bifurcação, estrada para Parauapebas passando pela ferrovia.

LC-67 (646900 / 9347701 / 298 m)
Afloramento localizado a aproximadamente 3 km a norte da cava de Serra Pelada. Campo de blocos e matacões de canga na margem leste da estrada.

LC-68 (646847 / 9346570 / 387 m)
Afloramento localizado em vala na margem da estrada a aproximadamente 2 km a norte da cava de Serra Pelada. Contato entre siltito ferruginoso e quartzito branco de granulação fina a média.
Foliação: 75/20
Acamamento: 345/20

DATA: 03/06/2005

EQUIPE: Leandro & Jucélio

LC-69 (619488 / 9335227 / 262 m)

Afloramento localizado na estrada da ferrovia, a aproximadamente 4 km a noroeste do município de Parauapebas. HD com zonas de cisalhamentos centimétricas, onde se desenvolve foliação incipiente. Rocha magnética de coloração acinzentada.

Foliação: 160/30

DATA: 05/06/2005

EQUIPE: Leandro e Jucélio

LC-70 (625002 / 9326810 / 180 m)

(PC) Posto de Gasolina Nogueira, próximo ao trevo da saída para Canaã dos Carajás.

LC-71 (628308 / 9316781 / 197 m)

Afloramento localizado a 2 km a leste da estrada para Canaã dos Carajás. Campo de blocos e matacões de granito, subindo o pasto na beira da estrada. Rocha magnética de coloração acinzentada e granulação fina a média.

LC-72 (631288 / 9317511 / 242 m)

(PC) Caminho sem saída, ponto localizado a 4 km a leste da estrada para Canaã dos Carajás. Com visada para sudoeste observa-se o platô da Água Boa.

LC-73 (627714 / 9316112 / 182 m)

(PC) Entrada de caminho com placa do IBAMA.

LC-74 (629052 / 9314821 / 188 m)

(PC) Ponto localizado a aproximadamente 1,5 km a leste da estrada para Canaã dos Carajás. Caminho sem saída, fim no curral da fazenda. Solo de coloração avermelhada.

LC-75 (628509 / 9315351 / 186 m)

Campo de blocos e matacões de HD na beira do caminho.

LC-76 (627404 / 9315880 / 191 m)

Afloramento em corte de talude na rodovia para Canaã dos Carajás. Lente de HD (escala métrica) em contato tectônico com saprólito de coloração bege, provavelmente de rocha gnáissica. Atitude do contato // ao plano de falha.

Falha: 85/85

Talude: 145/60

LC-77 (623616 / 9294813 / 237 m)

Afloramento localizado na beira da estrada para a mina do Sossego. Campo de blocos e matacões de composição granítica de coloração acinzentada e granulação média a grossa, exposição ruim.

LC-78 (618825 / 9295466 / 290 m)

(PC) Ponto localizado na beira da estrada para a mina do Sossego e vila VP13. Com visada para noroeste observa-se segmento da serra Sul, com direção aproximada leste-oeste.

LC-79 (616655 / 9294816 / 274 m)

(PC) Ponto localizado na estrada para a mina do Sossego e vila VP13. Entrada da sede da fazenda São Luiz.

LC-80 (609628 / 9291166 / 233 m)

(PC) Ponto localizado na estrada para a mina do Sossego, com visada para sudoeste observa-se a vila VP13. Entrada para o acampamento dos alvos Jatobá e Meia Lua.

LC-81 (608775 / 9289431 / 210 m)

(PC) Ponto localizado a aproximadamente 2,5 km a nordeste da mina do Sossego. Vila VP13, antigamente denominada vila Bom Jesus.

LC-82 (606701 / 9287744 / 209 m)

(PC) Ponto localizado a aproximadamente 12 km a sul da serra Sul. Portaria da mina do Sossego.

LC-83 (616124 / 9290581 / 273 m)

Afloramento na beira da rodovia para a mina do Sossego. Granito de coloração esbranquiçada a acinzentada e granulação média.

LC-84 (626884 / 9316538 / 190 m)

(PC) Ponto localizado na rodovia para Canaã dos Carajás.

DATA: 06/06/2005

EQUIPE: Leandro & Jucélio

LC-85 (645592 / 9343328 / 298 m)

(PC) Ponto localizado em campo de futebol, próximo ao escritório da CVRD em Serra Pelada.

LC-86 (645536 / 9343044 / 306 m)

Afloramento localizado em praça de sondagem, próxima ao escritório da CVRD em Serra Pelada. Canga hematítica de coloração escura.

LC-87 (646177 / 9343460 / 287 m)

Afloramento de canga em corte na beira do caminho, localizado próximo ao escritório da CVRD em Serra Pelada.

LC-88 (653493 / 9343842 / 259 m)

Afloramento localizado na margem sul da estrada para Serra Pelada, subindo o pasto. HD foliado com porções apresentando intercalações milimétricas de bandas de coloração avermelhada.

Foliação // Bandamento: 140/65

DATA: 18/01/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-89 (629438 / 9303134 / 273 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (*in situ?*). Afloramento pequeno de jaspilito, rocha de coloração acinzentada muito dura, com porções intemperizadas onde predominam lâminas de óxidos de Fe, ocorrem também porções muito magnéticas. Observam-se dobras centimétricas suaves e apertadas eventualmente com charneira rompida.

Laminação: 30/60, 50/65, 25/60, 30/80, 45/60

Eixo de dobra: 70/70, 90/55

Clivagem de fratura: 190/50

LC-90 (629276 / 9303016 / 279 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (*in situ?*). Jaspilito de coloração avermelhada. As bandas de Jaspe predominam em relação às bandas de óxidos de Fe. Subindo a escarpa do Platô da Água Boa observam-se blocos e matacões de Jaspilito, com lâminas de óxidos de Fe muito magnéticas. Observam-se dobras centimétricas suaves e apertadas.

Bandamento: 130/70, 30/70, 40/60

LC-91 (629672 / 9302812 / 287 m)

Ponto na escarpa norte do Platô da Água Boa. Jaspilito pouco magnético, com bandas centimétricas. Localmente observam-se brechas intrabandas. Observam-se dobras variando de abertas a apertadas, localmente com charneira rompida ao longo do plano axial. Dobras mais suaves tendem a apresentar eixos de menor caimento em relação às dobras apertadas.

Bandamento: 285/80, 300/85, 290/85, 330/75, 190/45

Flancos de dobra: 70/60, 150/30

Eixo de dobra: 340/70

LC-92 (629703 / 9302652 / 309 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa. FF de coloração acinzentada composta predominantemente por lâminas de óxidos de Fe.

LC-93 (641457 / 9295839 / 286 m)

Ponto localizado próximo à estrada para Canaã dos Carajás. Afloramento de rocha máfica saprolitizada.

LC-94 (641057 / 9295302 / 246 m)

Ponto localizado próximo à estrada para Canaã dos Carajás. Afloramento de rocha máfica fresca de coloração verde escura e granulação fina contendo amígdalas de coloração branca.

Clivagem de Fratura: 165/50

DATA: 19/01/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-95 (629787 / 9297571 / 327 m)

Ponto localizado na escarpa sul do Platô da Água Boa. Blocos e matacões de Jaspilito em drenagem encaixada. Rocha máfica alterada com morrote arredondado intemperizado. FF de coloração acinzentada composta predominantemente por lâminas de óxidos de Fe, apresentando dobras centimétricas suaves a apertadas com charneira sinuosa.

Laminação: 270/35, 275/48, 280/78, 350/60, 30/70, 270/70, 350/40, 330/45, 320/50, 270/30, 345/78, 290/20, 250/80, 10/50, 35/35, 355/77, 230/65, 220/70

Flancos de dobra: 290/20, 250/80; 70/65, 330/70; 10/50, 280/85

Eixo de dobra: 20/70, 340/65, 00/35, 355/35, 330/30

LC-96 (643055 / 9288399 / 286 m)

Ponto localizado na porção oeste do Platô do Cristalino. Afloramento em corte de estrada, rocha máfica saprolitizada e foliada.

Foliação: 200/60, 210/60, 180/60, 190/60

LC-97 (641608 / 9289849 / 273 m)

Ponto localizado na porção noroeste do Platô do Cristalino. Rocha máfica alterada com morrote arredondado. Ocorrem blocos e matacões de canga da rocha máfica.

LC-98 (640792 / 9285510 / 393 m)

Ponto localizado na escarpa oeste do Platô do Cristalino. Afloramento na beira da estrada próximo à corredeira. Canga de coloração escura e textura porosa com porções brechadas.

LC-99 (641904 / 9285711 / 392 m)

Ponto localizado na escarpa oeste do Platô do Cristalino. Afloramento na beira da estrada, FF de coloração escura laminada com porções de *chert* localmente lixiviado.

Laminação: 150/60, 160/75

Eixo de dobra: 260/20

DATA: 20/01/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-100 (641515 / 9283985 / 500 m)

Ponto localizado na escarpa oeste do Platô do Cristalino (*in situ?*). Contato entre canga e FF de coloração acinzentada, composta predominantemente por bandas de óxidos de Fe. Ocorrem blocos rolados de FFs.

Laminação: 280/40, 290/45

LC-101 (641767 / 9284094 / 615 m)

Ponto localizado próximo ao platô do cristalino (*in situ?*). Canga com clastos de FFs dispersos na matriz.

Laminação: 340/80, 15/70, 340/75

LC-102 (641838 / 9283976 / 721 m)

Ponto localizado próximo ao platô do cristalino. Afloramento em gruta esculpida em canga estruturada e FF laminada com dobramento suave e lineação de crenulação *down dip*.

Laminação: 50/50, 80/50, 60/20, 100/40, 90/35, 150/40, 110/35, 135/35, 160/45, 80/40, 100/35, 75/50, 150/60, 50/50, 150/35, 155/50, 150/20, 100/50, 104/45, 36/45

Eixo de dobra: 160/25, 150/20, 100/15, 130/25, 120/30, 100/30, 120/28, 120/35

DATA: 21/01/2006**EQUIPE: Leandro & Gabriel****LC-103** (630247 / 9302623 / 313 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa (*in situ?*). Matacão rolado de jaspilito laminado, rocha pouco magnética. Canga contendo seixos e blocos de jaspilito.

Laminação: 135/70, 20/70, 225/50, 170/60, 190/30, 350/60, 180/75

LC-104 (630155 / 9302432 / 399 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa. Afloramento próximo à queda de água, jaspilito laminado rocha muito magnética com porções lixiviadas onde restaram apenas as lâminas de óxidos de Fe. Ocorrem dobras centimétricas abertas.

Laminação: 280/60, 260/80, 288/70, 280/65, 270/65, 265/65, 140/65, 260/65, 270/70

Eixo de dobra: 210/65, 200/70

LC-105 (630258 / 9302087 / 392 m)

Ponto localizado na escarpa norte do Platô da Água Boa. Afloramento grande de jaspilito laminado localmente apresentando porções ricas em magnetita. Ocorrem estruturas de compactação (e.g. dobras convolutas, brechamento intrabanda) e estruturas tectônicas (e.g. dobras apertadas, dobras em caixa e *kink bands*).

Laminação: 225/60, 210/60, 150/60, 190/85, 185/75, 220/70, 140/60, 185/75, 180/60

DATA: 23/01/2006**EQUIPE: Leandro, Gabriel, Afonso & Antônio****LC-106** (659587 / 9343495 / 253 m)

Ponto localizado na estrada de Serra Leste. Afloramento no complexo máfico-ultramáfico Luanga, rocha máfica foliada.

Foliação: 200/40

LC-107 (650209 / 9340135 / 418 m)

Ponto localizado na escarpa norte de Serra Leste. Afloramento em corte de estrada, FF laminada de coloração acinzentada, magnética e friável. Ocorrem veios e venulações de quartzo sem orientação preferencial, eventualmente os veios contêm especularita. A laminação exibe dobras milimétricas isoclinais e provavelmente foi transposta por uma foliação.

Laminação (?): 240/20, 230/25

LC-108 (651527 / 9339477 / 681 m)

Ponto localizado na escarpa norte de Serra Leste. Afloramento de hematita compacta localmente apresentando laminação e foliação. Em posição discordante ocorre um dique de rocha máfica subvertical mergulhando para nordeste. Depósitos coluvionares inconsolidados de hematita compacta ocorrem associados ao corpo de minério de Serra Leste. Os colúvios formam bolsões nas encostas não ultrapassando 0,5 m de espessura. Os fragmentos rolados apresentam granulometria variando de seixo a bloco, classificados como bem arredondados com baixa esfericidade. Em função da área fonte os rolados podem ser maciços ou laminados, ocasionalmente, podem apresentar carapaça limonítica e cavidades centimétricas. O transporte do material ocorre ao longo de canais esculpidos pela erosão, próximo aos afloramentos de hematita compacta.

Foliação: 240/60, 220/60, 230/60, 240/65, 235/60

Eixo de dobra: 140/20, 160/20, 150/15, 155/20, 160/15

Laminação: 60/75, 82/50

DATA: 25/01/2006**EQUIPE: Leandro & Gabriel****LC-109** (642707 / 9285991 / 394 m)

Ponto localizado na porção oeste do Platô do Cristalino. FF com alternância de lâminas de *chert* e óxidos de Fe. Rocha foliada de coloração acinzentada e magnética.

Laminação: 220/70, 150/80, 215/75, 200/75, 165/75, 160/85, 150/70, 200/70, 210/75, 160/75

Foliação: 195/65, 162/70, 350/80, 110/60, 110/70

Eixo de dobra: 190/65, 200/70, 220/70, 230/75

LC-110 (642899 / 9286047 / 440 m)

Ponto localizado na porção oeste do Platô do Cristalino. Afloramento próximo ao topo de um morrote, FF com alternância de lâminas de *chert* e óxidos de Fe. Rocha foliada de coloração acinzentada e magnética. Observa-se foliação plano axial registrada em dobras apertadas e laminação transposta.

Laminação: 270/60

Eixo de dobra: 250/80

LC-111 (642538 / 9285791 / 391 m)

Ponto localizado na porção oeste do Platô do Cristalino. Afloramento em gruta sustentada por canga ferruginosa de coloração alaranjada.

LC-112 (639407 / 9287459 / 250 m)

Ponto localizado a aproximadamente 4 km a oeste do Platô do Cristalino. Afloramento de *chert*, rocha de coloração cinza escura e granulação fina. Ocorrem venulações de quartzo dispostas aleatoriamente no afloramento.

LC-113 (641715 / 9287513 / 354 m)

Ponto localizado na porção oeste do Platô do Cristalino. Afloramento em praça de sondagem próximo a sede de fazenda. Máfica foliada intemperizada.

LC-114 (644761 / 9288175 / 540 m)

Ponto localizado na escarpa noroeste do Platô do Cristalino. Afloramento próximo ao caminho para praça de sondagem. FF de coloração acinzentada, com laminação transposta e lineação de crenulação *down dip*. Possível zona de falha reversa.

Laminação (?): 230/80, 215/70, 210/50

DATA: 26/01/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-115 (641045 / 9295323 / 236 m)

Ponto localizado na Serra do Rabo a aproximadamente 8 km a noroeste do Platô do Cristalino. Afloramento em corte de estrada, rocha máfica parcialmente alterada de coloração cinza-esverdeada e granulação fina. Ocorrem venulações de óxidos de Fe.

LC-116 (645623 / 9298752 / 312 m)

Ponto localizado na Serra da Estrela a aproximadamente 10 km a norte do Platô do Cristalino. Afloramento no alto da escapa, veio de quartzo subhorizontal com aproximadamente 400 m de extensão e 5 m de espessura.

LC-117 (647989 / 9306406 / 226 m)

Ponto localizado na borda sul do granito Estrela. Estrada para Curionópolis próximo a sede da fazenda do Brás, rocha máfica de coloração cinza escura a esverdeada, muito dura, apresentando granulação fina e bandamento centimétrico a milimétrico.

LC-118 (654747 / 9308134 / 204 m)

Ponto localizado na borda sudeste do granito Estrela. Estrada para Curionópolis próximo a sede da fazenda do Brás, rocha máfica de coloração cinza escura a esverdeada, muito dura, apresentando granulação fina e bandamento centimétrico a milimétrico.

LC-119 (653031 / 9323257 / 199 m)

Ponto localizado na borda nordeste do granito Estrela. Afloramento em corte de estrada próximo a cidade de Curionópolis. Rocha de coloração cinza escura com veio de quartzo paralelo a foliação dobrada.

Foliação: 230/60, 220/60

DATA: 27/01/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-120 (646556 / 9286873 / 729 m)

Ponto Localizado no Platô do Cristalino. Canga de coloração escura composta predominantemente por goethita e contendo fragmentos de especularita.

LC-121 (646576 / 9285843 / 739 m)

Ponto Localizado no Platô do Cristalino. Canga estruturada.

Laminação: 212/35, 160/40, 205/50, 190/35, 240/40, 205/52, 320/30, 308/60, 214/50, 190/40, 200/28, 240/25, 240/40, 190/45, 212/40, 180/60, 210/65, 160/55, 230/65, 150/70, 245/65, 220/65, 165/70, 200/65, 180/60, 220/60, 200/60, 140/50

Eixo de dobra: 180/65, 170/48, 155/60, 160/55, 170/65, 165/55

LC-122 (646002 / 9285766 / 756 m)

Ponto Localizado no Platô do Cristalino. Canga estruturada e campo de rolados de hematita compacta.

Laminação: 120/75, 100/60, 160/65, 250/60, 210/60, 180/65, 260/55, 240/60, 120/55, 165/70

Eixo de dobra: 190/55, 180/60, 170/50, 190/50

LC-123 (645623 / 9285594 / 746 m)

Ponto Localizado no Platô do Cristalino. Afloramento em praça de sondagem de canga estruturada.

Laminação: 350/60

Eixo de dobra: 325/70, 180/75, 240/60, 260/55

LC-124 (645681 / 9289102 / 583 m)

Ponto Localizado na porção norte do Platô do Cristalino. Afloramento em corte de estrada, FF laminada de coloração acinzentada.

Laminação: 170/60

DATA: 01/02/2006

EQUIPE: Leandro, Gabriel & Rosière

LC-125 (624020 / 9327601 / 170 m)

Ponto localizado próximo à saída da cidade de Parauapebas. Afloramento de rocha básica foliada e saprolitizada com veios de quartzo paralelos a foliação. Ocorrem dois sistemas de veios aproximadamente perpendiculares entre si.

Foliação: 200/60, 190/70

LC-126 (633055 / 9299098 / 202 m)

Ponto localizado próximo à escarpa oeste do Platô da Água Boa. Afloramento em corte de estrada na região da falha de Carajás, rocha básica foliada, parcialmente saprolitizada, com mineralizações de ferro paralelas a foliação.

Foliação: 180/80, 190/75

LC-127 (634409 / 9290454 / 220 m)

Ponto localizado a aproximadamente 10 km a oeste do depósito Cristalino. Granito-gnaiss de coloração esbranquiçada, com porções de coloração rosa compostas de feldspato potássico.

Foliação: 30/75, 25/80

LC-128 (652603 / 9303544 / 174 m)

Ponto localizado na borda sudeste do granito Estrela. Rocha máfica foliada de coloração cinza escura com veios de quartzo dispostos aleatoriamente.

Foliação: 160/75

LC-129 (654754 / 9305370 / 202 m)

Ponto localizado na borda sudeste do granito Estrela. Afloramento próximo a acesso a fazenda do Brás, rocha máfica foliada de coloração cinza-escura.

Foliação: 145/90

LC-130 (657741 / 9299238 / 201 m)

Ponto localizado a aproximadamente 4 km a nordeste da Serra da Estrela. Rocha básica saprolitizada com intercalações milimétricas de *chert* e rocha de coloração esbranquiçada com amídalas de caulim.

Laminação: 340/55, 340/45, 350/55

LC-131 (659111 / 9294591 / 283 m)

Ponto localizado na porção leste da Serra da Estrela. Afloramento na estrada para o vilarejo Primavera, hematita compacta localmente laminada e apresentando porções ricas em magnetita.

Laminação: 85/30, 45/30

Eixo de dobra: 80/20

LC-132 (663348 / 9280762 / 172 m)

Ponto localizado a aproximadamente 20 km a oeste do Platô da Água Boa. Bloco de granito-gnaiss de coloração esbranquiçada (Suíte Plaquê).

LC-133 (663458 / 9279159 / 176 m)

Ponto localizado a aproximadamente 20 km a oeste do Platô da Água Boa. Afloramento em lagedo, granito-gnaiss de coloração esbranquiçada (Suíte Plaquê).

Foliação: 130/20, 110/20

Lineação mineral: 70/05

DATA: 02/02/2006

EQUIPE: Leandro, Gabriel, Rosière & Kaline

LC-134 (651498 / 9339077 / 602 m)

Ponto localizado na Serra Leste, corpo de minério SL-1. Afloramento de hematita compacta laminada, exibindo padrão de dobramento centimétrico a decimétrico, aberto com eixo subhorizontal caindo para sudeste, e dobras do tipo *chevron* com eixo caindo cerca de 30° para sul-sudeste.

Laminação: 240/75, 45/70

LC-135 (643786 / 9339675 / 265 m)

Ponto localizado na base Caracol em Serra Leste. Afloramento em drenagem atrás do alojamento. Rocha heterogênea de coloração acinzentada escura com fragmentos centimétricos de jaspe, muito fraturada. Localmente ocorrem zonas de cisalhamento centimétricas 110/75.

DATA: 03/02/2006

EQUIPE: Leandro, Gabriel, Rosière & Kaline

LC-136 (648377 / 9340316 / 392 m)

Ponto localizado aproximadamente a 5 km a leste da base Caracol. Bloco de FF com dobras apertadas.

LC-137 (647191 / 9340705 / 448 m)

Ponto localizado aproximadamente a 3 km a leste da base Caracol. Afloramento em praça de sondagem, ritmito caracterizado por lâminas carbonosas de coloração cinza e lâminas avermelhadas.

Laminação: 185/85, 188/50

LC-138 (647116 / 9341545 / 370 m)

Ponto localizado aproximadamente a 3 km a leste da base Caracol. Arenito de coloração avermelhada em contato com rocha rica em manganês.

LC-139 (646959 / 9341869 / 449 m)

Ponto localizado aproximadamente a 3 km a leste da base Caracol. Afloramento de paraconglomerado com clastos de quartzo, FF e rocha máfica alterada.

LC-140 (647752 / 9341319 / 328 m)

Ponto localizado aproximadamente a 3 km a leste da base Caracol. Afloramento de quartzo-dolomito de coloração escura, rocha com bandamento metamórfico.

Bandamento: 200/30, 195/40

LC-141 (648559 / 9343519 / 364 m)

Ponto localizado aproximadamente a 5 km a nordeste da base Caracol. Afloramento em garimpo, quartzito manganífero.

Acamamento: 230/50

LC-142 (647442 / 9342811 / 331 m)

Ponto localizado aproximadamente a 3 km a sul da serra do Sereno. Afloramento no topo do talude do garimpo de Serra Pelada, metasiltito de coloração avermelhada com intercalações de quartzitos de granulação fina. Ocorrem dobras apertadas.

Eixo de dobras: 240/30

Laminação: 190/40, 170/30, 180/30, 170/35, 180/35, 185/34, 185/30, 184/35, 190/25, 190/24, 170/20, 182/24, 165/24, 172/25, 168/25, 172/25, 215/35, 168/25, 198/30, 175/25, 192/30, 150/20, 174/20, 198/10, 208/20, 204/60, 204/45, 198/45, 190/40, 200/45, 166/30, 180/40, 198/38, 190/35, 188/30, 196/30, 192/30, 152/30, 182/40, 182/45, 194/55, 188/60, 192/60, 186/55, 210/15, 202/15, 194/15, 144/30, 344/54, 198/15, 160/25, 174/28, 148/30, 162/30, 176/30, 165/30, 156/36, 162/24, 165/30, 170/25, 166/34, 162/35, 160/30, 165/30, 164/30, 164/25, 158/25, 172/30, 170/30, 164/35, 160/20, 170/35, 172/35, 172/36, 178/30, 194/20, 188/20, 196/20, 210/38, 194/40, 180/35, 200/70, 198/70

Flancos de dobra: 205/50, 235/25; 188/20, 345/15; 208/20, 240/60

Foliação: 240/50, 220/20, 230/30

LC-143 (646772 / 9343900 / 261 m)

Ponto localizado aproximadamente a 1,5 km a sul da serra do Sereno. Afloramento no garimpo da Grota Seca, calcarenito rocha de coloração clara e porosa (lixiviação de carbonatos), com dobras abertas.

LC-144 (646916 / 9344657 / 278 m)

Ponto localizado na escarpa sul da serra do Sereno. Afloramento em pedreira (exploração de silício) desativada, quartzito de coloração esbranquiçada e granulação fina.

DATA: 04/02/2006

EQUIPE: Leandro, Gabriel & Rosière

LC-145 (624580 / 9312123 / 219 m)

Ponto localizado na borda sudoeste do granito Estrela. Afloramento subindo o pasto próximo à pedreira, quartzito de granulação fina e coloração esbranquiçada, cortado por venulações de quartzo com óxido de Fe.

Foliação: 10/65, 05/80, 00/70, 25/70

Acamamento: 132/24

LC-146 (625475 / 9308574 / 261 m)

Ponto localizado na borda sudoeste do granito Estrela. Afloramento subindo o pasto próximo à fazenda Serra Azul, blocos de rocha máfica de coloração esverdeada com amídalas de coloração escura.

LC-147 (624857 / 9308560 / 247 m)

Ponto localizado na borda sudoeste do granito Estrela. Afloramento em praça de sondagem próximo a chácara, rocha máfica alterada de coloração avermelhada em contato com jaspilito. Na zona de contato ocorrem porções métricas de quartzito pouco recristalizado.

Acamamento (quartzito): 25/40

LC-148 (625157 / 9308616 / 275 m)

Ponto localizado na borda sudoeste do granito Estrela. Afloramento em topo de morrote, quartzito pouco recristalizado de granulação fina e coloração avermelhada cortado por venulações de quartzo.

LC-149 (629517 / 9305679 / 233 m)

Ponto localizado na borda sudoeste do granito Estrela. Quartzito pouco recristalizado de coloração avermelhada, localmente contendo grânulos em contato de falha com rocha máfica.

Acamamento: 00/15

Falha: 40/80

DATA: 05/02/2006

EQUIPE: Leandro, Gabriel & Rosière

LC-150 (654047 / 9319624 / 184 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. Afloramento no pasto próximo a fazenda Rio Verde, rocha ígnea de coloração escura, granulação grossa e composição intermediária, contendo cristais milimétricos de feldspato.

LC-151 (654452 / 9319941 / 203 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. Afloramento no pasto, anfíbolito foliado de coloração escura.

Foliação: 70/85

Eixo de dobra: 120/50, 130/50

LC-152 (654526 / 9318772 / 208 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. Rocha de coloração esbranquiçada de composição intermediária a félsica localmente foliada, cortada por venulações de quartzo e feldspato.

Foliação: 285/85

LC-153 (654698 / 9318845 / 186 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. Afloramento no pasto, blocos rolados de anfíbolito com bandas de óxidos de Fe.

LC-154 (654638 / 9318772 / 202 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. FF magnética de coloração escura, com intercalação de bandas silicáticas contendo anfibólio e bandas de óxido de Fe.
Bandamento: 70/75

LC-155 (650253 / 9316733 / 198 m)

Ponto localizado na borda leste do granito Estrela. Afloramento em corte de estrada, anfibolito foliado de coloração esverdeada escura.
Foliação: 195/40, 180/50, 185/40

LC-156 (651141 / 9314850 / 209 m)

Ponto localizado na porção leste do granito Estrela. Afloramento no pasto próximo a estrada, rocha de coloração esbranquiçada (Granito Estrela).
Foliação: 20/75

LC-157 (650909 / 9313930 / 195 m)

Ponto localizado na porção leste do granito Estrela. Afloramento próximo à queda de água, granito de granulação média e coloração esbranquiçada cortado por veios (Granito Estrela).
Foliação: 175/89

LC-158 (652662 / 9310502 / 265 m)

Ponto localizado na porção sudoeste do granito Estrela. Afloramento no piso da estrada, granito de coloração esbranquiçada e granulação média cortado por veios (Granito Estrela).
Foliação: 170/55

LC-159 (654700 / 9308322 / 214 m)

Ponto localizado na porção sudeste do granito Estrela. Afloramento em lajedo, rocha de coloração esverdeada escura e granulação fina, contendo granada e epidoto. Observa-se lineação mineral *down dip*.
Foliação: 155/85
Lineação mineral: 155/85

LC-160 (653207 / 9309558 / 284 m)

Ponto localizado na porção sudeste do granito Estrela. Afloramento em lajedo subindo o pasto na beira da estrada, granito foliado de coloração esbranquiçada e granulação média (Granito Estrela).
Foliação: 160/68, 175/60, 180/30

DATA: 08/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-161 (662385 / 9338487 / 203 m)

Ponto localizado a leste de Serra Leste. Afloramento na beira da estrada subindo o pasto, rocha máfica fresca de coloração esverdeada com amídalas de coloração branca, foliada e localmente cortada por veios de quartzo.
Foliação: 170/70

LC-162 (661392 / 9337103 / 203 m)

Ponto localizado a leste de Serra Leste. Afloramento em lajedo no pasto, rocha de coloração cinza-esverdeada, composição intermediária e granulação grossa, composta por anfibólio, biotita, quartzo e feldspato.

Foliação: 190/70, 200/70

Lineação mineral: 190/70

LC-163 (657913 / 9336018 / -----)

Ponto localizado a leste de Serra Leste. Afloramento na beira da estrada subindo morrote, rocha foliada de coloração cinza escura e granulação fina (anfíbolito?).

Foliação: 160/60, 140/60, 150/50, 160/50, 164/60, 155/60, 158/60, 150/55, 145/40, 155/45, 140/30, 145/59, 150/60, 158/60, 150/48, 175/55

LC-164 (655127 / 9332876 / 206 m)

Ponto localizado a leste de Serra Leste. Rocha básica de coloração esverdeada escura muito dura.

LC-165 (661136 / 9343385 / 213 m)

Ponto localizado a leste de Serra Leste aproximadamente a 8 km a sul do acampamento do Sereno. Afloramento na beira da estrada, quartzito puro bem recristalizado de coloração esbranquiçada e granulação fina, localmente foliado.

LC-166 (660548 / 9350869 / 283 m)

Ponto localizado na serra do Sereno próximo ao acampamento homônimo. Afloramento em corte de estrada, quartzito micáceo de coloração esbranquiçada, localmente apresentando percolação de óxido de Mn.

Foliação: 20/60

Eixo de crenulação: 110/05 (*Strike Slip*)

DATA: 09/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-167 (646635 / 9340552 / 337 m)

Ponto localizado aproximadamente a 4 km a leste da base Caracol. Siltito com grânulos de quartzo, rocha de coloração avermelhada gradando para ritmito de coloração escura, manganêsífero.

Laminação: 170/50, 160/50, 195/50, 160/70, 160/55, 158/65, 172/60, 175/60, 175/55, 168/50, 158/50, 154/45, 152/50

LC-168 (646698 / 9340966 / 390 m)

Ponto localizado aproximadamente a 4 km a leste da base Caracol. Siltito com grânulos de quartzo, rocha de coloração avermelhada gradando para ritmito de coloração escura.

Laminação: 200/55, 210/55, 212/55

DATA: 10/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-169 (646203 / 9340314 / 332 m)

Ponto localizado aproximadamente a 5 km a leste da base Caracol. Afloramento na beira da estrada descendo o pasto, quartzito de coloração esbranquiçada, bem recristalizado, rocha isotrópica e maciça.

LC-170 (651774 / 9336838 / 552 m)

Ponto localizado em Serra Leste a sul do platô do depósito de SL-1. Afloramento na encosta de um vale encaixado, canga de coloração avermelhada e aspecto terroso.

LC-171 (651118 / 9335911 / 541 m)

Ponto localizado em Serra Leste, próximo ao depósito SL-2. Afloramento subindo o pasto, FF laminada com intercalação de quartzo e óxidos de Fe de coloração acinzentada, sobreposta a essa rocha ocorre hematita compacta laminada de coloração acinzentada e canga estruturada com dobras abertas.

Laminação: 148/25, 120/20, 118/30, 130/15, 126/35, 295/45, 120/30, 120/30, 255/40, 120/20, 255/40, 190/15, 285/45, 130/25, 166/25, 130/30

Eixo de dobra: 185/15, 175/10, 190/15, 200/10

DATA: 11/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-172 (647170 / 9345241 / 335 m)

Ponto localizado na escarpa sul da Serra do Sereno. Quartzito de coloração esbranquiçada e granulação média, localmente apresentando porções conglomeráticas e porções siltosas.

Foliação: 220/30

LC-173 (646977 / 9347205 / 359 m)

Ponto localizado na porção central da Serra do Sereno. Afloramento em corte de estrada, próximo à fazenda Bom Jesus, rocha de coloração acinzentada escura e granulação fina rica em Mn, foliada e crenulada.

Foliação: 145/60, 134/70, 142/65, 126/70

Eixo de crenulação: 235/05

LC-174 (646640 / 9348155 / 241 m)

Ponto localizado na escarpa norte da Serra do Sereno. Afloramento próximo à bifurcação para a fazenda Bom Jesus, canga de coloração avermelhada e aspecto terroso.

LC-175 (646184 / 9348423 / 235 m)

Ponto localizado na escarpa norte da Serra do Sereno. Afloramento na beira da estrada subindo o pasto, quartzito de coloração esbranquiçada gradando para paraconglomerado com clastos que variam de grânulo a seixo, apresentando matriz quartzosa de granulação fina, bem recristalizada. Localmente ocorrem drusas de quartzo.

Foliação: 290/75, 320/60

LC-176 (646572 / 9348024 / 234 m)

Ponto localizado na escarpa norte da Serra do Sereno. Afloramento em drenagem encaixada, quartzito micáceo rico em Mn, na calha da drenagem observam-se seixos de canga e quartzito.

Foliação: 344/60, 350/70

LC-177 (644097 / 9345143 / 503 m)

Ponto localizado na escarpa sul da Serra do Sereno. Afloramento em corte de estrada, grauvaça de coloração acinzentada localmente apresentando porções arcólicas.

Foliação: 328/55

LC-178 (643568 / 9344382 / 444 m)

Ponto localizado na escarpa sul da Serra do Sereno. Afloramento em pedreira de quartzito, rocha foliada de coloração esbranquiçada e granulação fina, localmente apresentando porções micáceas.

Foliação: 165/30, 120/30, 145/35, 135/40

LC-179 (624356 / 9320533 / 204 m)

Ponto localizado na porção oeste do Granito Estrela. Afloramento em vala na beira da estrada, rocha máfica alterada e foliada.

Foliação: 255/50, 270/55, 280/65

Clivagem de fratura: 114/65, 104/60

LC-180 (622650 / 9321440 / 182 m)

Ponto localizado a oeste do Granito Estrela. Afloramento subindo o pasto na beira da estrada, rocha de coloração escura a esverdeada (anfíbolito?), com epidoto e localmente com mineralizações de ferro.

Foliação (?): 240/70, 280/50

LC-181 (622379 / 9325326 / 167 m)

Ponto localizado na porção oeste do Granito Estrela. Afloramento em lajedo na beira da estrada, gnaiss com intercalação de bandas de coloração esbranquiçada e bandas acinzentadas (Granito Estrela). Ocorrem veios de quartzo sem orientação preferencial e zonas de cisalhamento centimétricas paralelas ao bandamento composicional.

Bandamento: 165/65, 166/70

LC-182 (621121 / 9315420 / 159 m)

Ponto localizado a oeste do Granito Estrela. Não tem afloramento apenas um brejo, com visada para oeste é possível observar morrotes de rocha máfica alterada com coloração avermelhada.

DATA: 15/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-183 (636329 / 9328892 / 200 m)

Ponto localizado na porção norte do Granito Estrela. Blocos de rocha de coloração acinzentada e granulação grossa (anfíbolito?).

LC-184 (635917 / 9331109 / 194 m)

Ponto localizado na borda norte do Granito Estrela. Afloramento próximo à drenagem, anfíbolito de granulação média a grossa e coloração acinzentada.

LC-185 (636149 / 9331281 / 174 m)

Ponto localizado na borda norte do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada, anfíbolito de coloração acinzentada.

Foliação: 14/65, 12/80

LC-186 (638651 / 9333895 / 319 m)

Ponto localizado a norte do Granito Estrela. Afloramento em pequeno vale na beira da estrada, FF de coloração acinzentada com bandamento registrado pela alternância de bandas *chert* e bandas de óxidos de Fe, localmente ocorrem porções brechadas e mineralizações de Fe na porções mais foliadas.

Foliação: 195/70

LC-187 (638707 / 9334302 / 370 m)

Ponto localizado a norte do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada subindo a serra, FF com bandamento registrado pela alternância de bandas *chert* e bandas de óxidos de Fe (predominantes).

LC-188 (639743 / 9335563 / 536 m)

Ponto localizado a norte do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada, canga com aspecto conglomerático, eventualmente com porções laminadas.

LC-189 (638643 / 9334673 / 354 m)

Ponto localizado a norte do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada subindo a escarpa, rocha máfica de coloração avermelhada, recoberta por crosta centimétrica de goethita com hábito botrioidal irridescente.

Foliação (?): 175/75

DATA: 16/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-190 (653154 / 9314979 / 195 m)

Ponto localizado na borda leste do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada, rocha máfica alterada e xistificada com coloração avermelhada.

Foliação: 196/75, 215/70

LC-191 (653971 / 9314939 / 186 m)

Ponto localizado na borda leste do Granito Estrela. Afloramento na beira da estrada, rocha ígnea plutônica de composição intermediária máfica, granulação grossa com cristais de plagioclasio com até 10 cm de comprimento.

LC-192 (658129 / 9314136 / 208 m)

Ponto localizado na porção leste do Granito Estrela. Afloramento próximo a sede de fazenda, granito de coloração acinzentada a esbranquiçada.

Foliação: 330/75, 08/70, 08/80, 175/80

LC-193 (658263 / 9313790 / 228 m)

Ponto localizado na porção leste do Granito Estrela. Afloramento em lajedo, gnaiss de coloração acinzentada, apresentando feições de migmatização (e.g. veios de leucosoma paralelos ao bandamento composicional). Ocorrem dobras ptigmática.

Foliação // bandamento composicional: 05/85

DATA: 19/02/2006

EQUIPE: Leandro & Gabriel

LC-194

Ponto localizado no garimpo da Cotia. Rocha máfica alterada hidrotermalmente com coloração avermelhada a acinzentada. Observam-se venulações preenchidas por óxidos de Fe e Mn. Ocorrem veios de quartzo subparalelos a foliação, com aproximadamente 2 cm de espessura.

Foliação: 270/65, 270/75

Anexo IV / Métodos Analíticos

Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

Autor Leandro Prado Costa

MÉTODOS ANALÍTICOS

Preparação de Amostras

A primeira etapa para a grande maioria dos métodos analíticos, é a redução da amostra a um pó fino. Inicialmente a amostra de campo deve ser quebrada em pedaços utilizando martelo, divisor hidráulico ou guilhotina, durante esse processo retira-se qualquer crosta de intemperismo, descartando o material alterado. Antes da próxima etapa as amostras são lavadas com água destilada para retirar qualquer contaminação eventual, seja pelo pó intemperizado ou por outras amostras.

Existe uma grande variedade de equipamentos para a redução de rocha a pó, o moinho de mandíbula pode ser utilizado como primeira redução a pedaços de dimensões centimétricas. Moinho de disco, bola ou cilindro completam a redução até dimensões micrométricas. Durante a escolha do moinho deve levar em consideração a contaminação que pode ser introduzido durante o processo de redução, principalmente no caso da análise de elementos-traço, onde o limite de detecção é da ordem de ppm ou até ppb. Qualquer aço que não seja especialmente revestidos é menos duro do que o quartzo, e a redução da amostra é acompanhada por desgaste das peças metálicas que entram em contato com a mesma.

Para análise química é extremamente importante levar em consideração a representatividade da amostra selecionada na região de estudo, assim como a porção da amostra utilizada na análise. De maneira geral são os minerais acessórios ou traços os concentradores dos elementos raros ou infrequentes, a distribuição errática desses elementos torna complexa a tarefa de amostragem. A validade da interpretação dos resultados analíticos depende da representatividade da análise.

Além da distribuição dos minerais acessórios é importante atentar para a granulação da rocha. Por exemplo, no caso de uma rocha de granulação fina pode ser adequado reduzir uma quantidade de 1 kg até um tamanho de grão máximo de 250 μm , para assegurar que uma porção de 1 g represente adequadamente a amostra de mão. Ao tratar de uma porção de 100 mg pode ser necessário reduzir a amostra inicial a um tamanho máximo de 32 μm . Por outro lado, quando se trata de uma amostra de granulação a grossa, a quantidade mínima inicial pode ser de 2,5 a 5 kg, e a granulação máxima do pó final para assegurar a representatividade numa porção de 100 mg pode chegar a 40 μm ou menos. Uma regra empírica útil para amostragem de campo é imaginar a amostra com a forma de um cubo, e levar em conta que a aresta do cubo deve ser dez vezes maior do que o comprimento do maior cristal presente.

Métodos Clássicos

Os métodos analíticos que dependem da produção de um precipitado seguido de sua filtração e pesagem são conhecidos como métodos gravimétricos, utilizados frequentemente em química analítica. Esses e outros métodos desenvolvidos até a década de vinte, atualmente são denominados métodos clássicos ou de via úmida, por necessitar de manipulação de soluções. Também existem métodos volumétricos, que envolvem titulação; colorimétricos que dependem da produção de complexos químicos coloridos, cuja intensidade é proporcional à concentração do elemento a ser determinado; e fotometria de chama, que mede a intensidade de luz emitida pelos elementos, quando excitados numa chama.

No geral os métodos gravimétricos e volumétricos foram substituídos por outros em função de vários motivos. Embora sejam muito eficazes na análise de quantidades maiores de elementos, exigem experiência e tempo do analista. Muitas vezes a maior parte do tempo é gasta para se evitar interferência. Para se determinar um elemento é necessário condicionar a solução de forma exata, para evitar a reação com outro elemento indesejado (fonte de interferência). Basicamente o alto custo de aquisição e manutenção dos métodos instrumentais é um fator que deixa os métodos clássicos ainda com certa vantagem.

Métodos Instrumentais de Emissão e Absorção de Energia

A grande maioria dos instrumentos empregados na análise elementar de matrizes geológicas funciona pela medição da intensidade de emissão ou absorção de radiação pela amostra. A determinação de cada elemento é restringida pelo limite de detecção, a quantidade ou concentração mínima do elemento necessário para produzir uma resposta confiável do instrumento. Um pré-condicionamento da amostra, envolvendo a concentração dos elementos, possibilita o aumento do limite de detecção.

Espectrometria de Massa

A análise de isótopos é realizada pelo espectrômetro de massa cujo funcionamento é representado na Figura 50. As unidades de fonte, campo eletrostático e coletora são partes integrantes de uma unidade mantida sob alto vácuo, para evitar a absorção dos íons produzidos na fonte pelas moléculas do ar. Os coletores podem ser únicos ou duplos para facilitar a análise de razões isotópicas. De acordo com o tipo de espectrômetro, as amostras podem ser introduzidas como gás ou sólido.

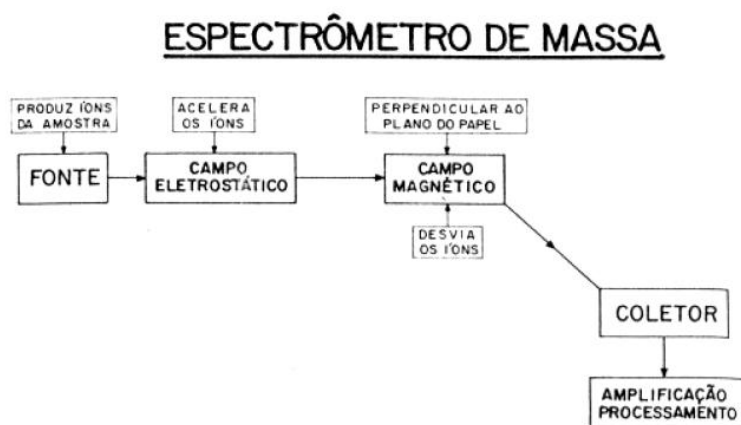


Figura 50 - Diagrama esquemático de um espectrômetro de massa.

O desvio da trajetória dos íons no campo magnético obedece à relação:

$$(m/e) = (H^2 r^2) / 2V$$

Onde:

m = massa do íon,

e = carga do íon,

H = intensidade do campo magnético,

r = raio da trajetória;

V = campo eletrostático.

Levando em conta o fato de que a disposição geométrica da fonte, campo eletrostático e coletor(es) é fixada pela exigência de manter um vácuo por onde passa o feixe iônico, a seleção dos isótopos a serem analisados se faz através de variações dos valores de H e V, controlados de maneira relativamente simples por sistemas eletrônicos.

Microsonda Eletrônica

A microsonda eletrônica combina as facilidades de um microscópio eletrônico de varredura com as do espectrômetro de fluorescência de raios X. O feixe de elétrons de alta energia, necessário para a produção das imagens eletrônicas, excita os elementos presentes na amostra, preparada sob a forma de uma seção petrográfica polida. As radiações emitidas são analisadas por um espectrômetro (Figura 51).

MICROSSONDA ELETRÔNICA

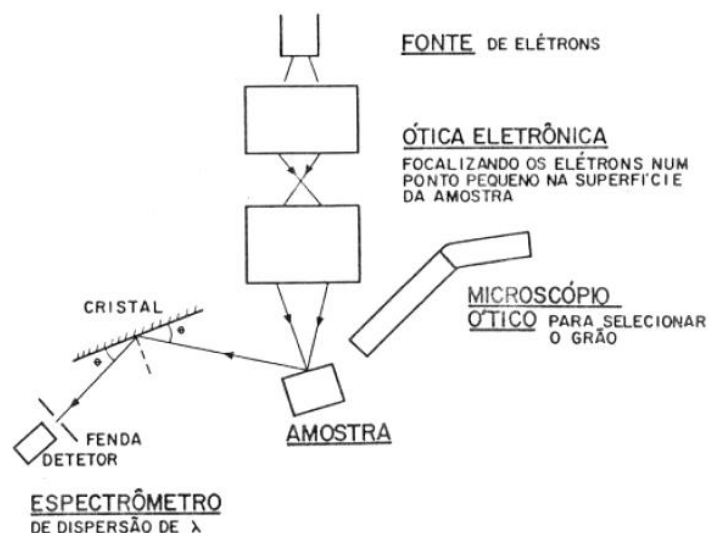


Figura 51 - Diagrama esquemático de uma microsonda eletrônica.

A área interceptada pelo feixe eletrônico varia entre dezenas até algumas centenas de micra. Assim, o instrumento permite uma análise química pontual dos elementos maiores e alguns elementos traços, possibilitando o estudo de química mineral, identificando também zonação mineral e fenômenos de exsolução. O instrumento tem larga aplicação no campo das petrologias, principalmente no estudo dos geotermômetros.

Qualidade das Análises

Há dois parâmetros que caracterizam a qualidade das análises: (i) a precisão do método analítico mede a capacidade de repetir o valor da análise ao longo de uma série de medidas repetidas, (ii) a exatidão definida como a medida da aproximação do resultado à concentração exata de um determinado elemento. A exatidão é um parâmetro teórico, pois nunca se sabe o valor exato da concentração de um determinado elemento na amostra.

São vários os estudos desenvolvidos sobre a correspondência de resultados analíticos, obtidos em diversos laboratórios por vários métodos, aplicados a padrões cuidadosamente selecionados e preparados. Inicialmente as comparações causaram preocupação devido as divergências entre resultados para diferentes laboratórios, mesmo para análise de rochas comuns como basalto e granito. Atualmente as rotinas e instrumentos de análise atingiram um grau tecnológico satisfatório e os elementos podem ser identificados com limite de detecção de ppb, mas se possível é recomendável a utilização de mais de um método de determinação.

Anexo V / Tabelas

Caracterização das Seqüências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)

Autor Leandro Prado Costa

Tabela V.1 - Síntese da descrição petrográfica.

Amostra	LC-04	LC-05	LC-14	LC-19	LC-37	LC-38	LC-40	LC-48A	LC-48B	LC-49	LC-58	LC-62	LC-69	LC-71
	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Rocha	FF	Gabro	Folhelho	FF	FF	FF	Granito	Granodiorito	Granodiorito	Granito	FF	Anfibolito	FF	Granito
Geoquímica	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Microsonda	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	35	-	10	60	40	60	30	60	60	60	40	-	50	40
Jaspe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Martita	20	-	-	30	50	30	-	-	-	-	50	-	45	-
Kenomagnetita	10	-	-	10	10	10	-	-	-	-	10	-	5	-
Magnetita	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ghoetita	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Plagioclásio	-	60	-	-	-	-	50	40	40	10	-	-	-	10
K-Feldspato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	40
Anfibólio	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	10
Piroxênio	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotita	-	5	-	-	-	-	10	-	-	10	-	-	-	-
Sericita	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<1%	-	-	-	-	-	-	Pxo	Ep e Cb	Ep e Cb	-	-	-	-	Mg

Tabela V.1 - (continuação) Síntese da descrição petrográfica.

Amostra	ALC10 SL-F19- P151	A09 SL-F24- P187	ALC17-B SL-F30- P183-B	ALC18 SL-F30- P184	A12 SL-F32- P140	A02 SL-F62- P089	A03 SL-F62- P092	A04 SL-F62- P093	A05 SL-F62- P095	A18 SL-F66- P165	ALC01 SL-F27- P053	ALC03 SL-F27- P065	ALC06 SL-F29- P064	ALC17-A SL-F30- P183-A	A22 SL-F79- P218
Rocha	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica	Máfica	Máfica	Máfica	Máfica
Geoquímica	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X	-	X
Microsonda	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-
Quartzo	-	40	40	30	40	40	50	15	15	60	-	-	-	30	-
Jaspe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematita	-	-	-	-	-	20	20	25	25	20	-	-	-	-	-
Martita	42	10	18	28	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kenomagnetita	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnetita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ghoetita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	50	50	40	40	40	40	30	60	60	20	-	-	-	70	-
Plagioclásio	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50	-	50
K-Feldspato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piroxênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	40	-	40
Biotita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sericita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	-	10
Carbonato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cu Nativo	Cu Nativo	Cu Nativo	-	Cu Nativo

Tabela V.1 - (continuação) Síntese da descrição petrográfica.

Amostra	B44 CRIS-F15- P175	B43 CRIS-F15- P199	B41 CRIS-F15- P202	B42 CRIS-F15- P203	B28 CRIS-F21- P395	B30 CRIS-F21- P398	B36 CRIS-F21- P452	B38 CRIS-F21- P457	B31 CRIS-F21- P392	B32 CRIS-F21- P394	B34 CRIS-F21- P436	B47 CRIS-F196- P88
Rocha	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF brechada	FF brechada	FF brechada	FF brechada
Geoquímica	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Microssonda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Quartzo	30	40	40	50	30	50	40	40	40	40	60	55
Jaspe	10	10	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Martita	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Kenomagnetita	10	10	25	30	5	5	5	5	-	-	-	-
Magnetita	40	35	10	10	35	30	35	35	-	30	-	20
Ghoetita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	-	-	-	-	15	5	10	5	40	20	20	20
Plagiclásio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-Feldspato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piroxênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sericita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato	10	5	5	5	5	10	10	15	20	10	20	5
Calcopirita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<1%	-	-	-	-	-	Cpy	Cpy	Cpy	Cpy	Cpy	Cpy-Mg	Cpy

Tabela V.2 - Limite de detecção das análises.

Óxidos Maiores		Limite (% peso)	
SiO₂		0,04	
Al₂O₃		0,03	
Fe₂O₃		0,04	
CaO		0,01	
MgO		0,01	
Na₂O		0,01	
K₂O		0,04	
MnO		0,01	
TiO₂		0,01	
P₂O₅		0,01	
Cr₂O₃		0,001	
PF		0,1	
C		0,01	
S		0,01	

Elementos Traço	Limite (ppm)	Elementos Traço	Limite (ppm)	Elementos Traço	Limite (ppb)
Ba	5	Rb	0,5	Au	0,5
Co	20	Sb	0,1	-	-
Cu	20	Se	0,5	-	-
Nb	20	Sn	1	-	-
Ni	20	Sr	0,5	-	-
Sc	1	Ta	0,1	-	-
Sr	10	Th	0,1	-	-
Ta	20	Tl	0,1	-	-
Y	10	U	0,1	-	-
Zn	20	V	5	-	-
Zr	10	W	0,1	-	-
Ce	20	Y	0,1	-	-
Ag	0,1	Zn	1	-	-
As	1	Zr	0,5	-	-
Ba	0,5	La	0,5	-	-
Be	1	Ce	0,5	-	-
Bi	0,1	Pr	0,02	-	-
Cd	0,1	Nd	0,4	-	-
Co	0,5	Sm	0,1	-	-
Cs	0,1	Eu	0,05	-	-
Cu	1	Gd	0,05	-	-
Ga	0,5	Tb	0,01	-	-
Hf	0,5	Dy	0,05	-	-
Hg	0,1	Ho	0,05	-	-
Mo	0,1	Er	0,05	-	-
Nb	0,5	Tm	0,05	-	-
Ni	0,1	Yb	0,05	-	-
Pb	0,1	Lu	0,01	-	-

Tabela V.3 - Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	A24	ALC07	ALC08	ALC12A	A17	ALC01	ALC06	A22
Rocha	SL-F35-P62	SL-F19-P99	SL-F19-P102	SL-F29-P20	SL-F66-P150	SL-F27-P53	SL-F29-P64	SL-F79-P218
	FF	HD	HD	HD	HD	Máfica	Máfica	Máfica
(% peso)								
SiO ₂	34,16	0,38	0,37	0,43	1,23	48,1	47,6	48
Al ₂ O ₃	0,11	1,95	0,6	0,09	0,75	13,61	13,84	13,57
Fe ₂ O ₃ T	63,41	96,13	98,23	98,84	97,03	15,86	15,08	14,98
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	5,87	6,5	6,44
CaO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	9,49	9,75	9,49
Na ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	2,44	2,44	2,47
K ₂ O	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,61	0,6	0,62
TiO ₂	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	2,77	2,54	2,51
P ₂ O ₅	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,3	0,27	0,28
MnO	0,03	0,12	0,14	0,1	0,09	0,2	0,18	0,2
Cr ₂ O ₃	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,027	0,03	0,025
PF	2,1	1,2	0,5	0,5	0,7	0,6	0,9	1,3
Total	99,88	99,86	99,88	100,02	99,85	99,89	99,75	99,9
C	0,04	0,02	0,02	0,13	0,01	0,02	0,01	0,19
S	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
(ppm)								
La	3,1	10,1	7,2	4,4	9,9	15	12,5	12,5
Ce	4,1	29,5	24,5	9,2	22,1	38,2	33,4	33
Pr	0,53	2,8	1,51	0,7	2,15	5,48	4,78	4,96
Nd	2	11,7	6,1	2,6	8,8	27,2	23,3	22,6
Sm	0,5	2,6	1,1	0,4	1,4	7,1	6,4	6,4
Eu	0,55	0,85	0,47	0,26	0,49	2,32	2,06	2,13
Gd	0,66	1,68	0,89	0,33	1,15	7,84	7,24	7,11
Tb	0,09	0,21	0,11	0,06	0,19	1,29	1,2	1,22
Dy	0,5	0,87	0,55	0,27	1,28	7,6	7,22	7,17
Ho	0,11	0,14	0,12	0,05	0,27	1,41	1,31	1,36
Er	0,31	0,34	0,27	0,15	0,92	4,13	4,1	3,9
Tm	<,05	<,05	<,05	<,05	0,15	0,61	0,58	0,6
Yb	0,22	0,21	0,2	0,09	0,75	3,55	3,44	3,46
Lu	0,04	0,02	0,01	0,02	0,1	0,52	0,46	0,5
ΣETR	12,71	61,02	43,03	18,53	49,65	122,25	107,99	106,91
ΣETRL	10,78	57,55	40,88	17,56	44,84	95,3	82,44	81,59
ΣETRP	1,93	3,47	2,15	0,97	4,81	26,95	25,55	25,32
(La/Sm)N	3,76	2,35	3,97	6,67	4,29	1,28	1,18	1,18
(Gd/Lu)N	1,77	9,00	9,54	1,77	1,23	1,62	1,69	1,52
Eu/Eu*	2,83	1,20	1,41	2,12	1,14	0,92	0,90	0,93
Ce/Ce*	0,71	1,23	1,65	1,16	1,06	0,93	0,96	0,93

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	A26	ALC09	ALC10	A09	ALC18	A12	A03	A04
Rocha	SL-F19-P104	SL-F19-P150	SL-F19-P151	SL-F24-P187	SL-F30-P184	SL-F32-P140	SL-F62-P92	SL-F62-P93
	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma
(% peso)								
SiO ₂	10,36	17,49	17,1	49,67	50,32	47,69	57,88	31,7
Al ₂ O ₃	9,57	10,83	10,79	8,35	10,98	8,22	9,89	8,27
Fe ₂ O ₃ T	74,51	53,06	52,09	26,96	30,09	38,63	20,51	51,35
MgO	0,01	10,68	11,85	9,06	0,05	0,46	5,44	3,76
CaO	0,04	0,02	0,02	0,09	0,04	0,01	0,09	0,03
Na ₂ O	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,04	0,25	0,14	0,04	0,04	0,04	0,22	0,48
TiO ₂	0,33	0,37	0,38	0,32	0,66	0,29	0,72	0,51
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,05	0,07	0,11	0,07	0,07	0,03
MnO	0,47	0,4	0,44	0,15	0,19	0,24	0,16	0,13
Cr ₂ O ₃	0,019	0,021	0,02	0,012	0,191	0,016	0,005	0,01
PF	4,4	6,3	6,8	5,2	7,3	4,3	5	3,7
Total	99,8	99,53	99,71	99,96	100	99,99	100,02	100
C	0,01	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03
S	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
(ppm)								
La	33,3	41,9	21,1	27	17,5	26,7	14,4	5
Ce	41,3	57,2	35,8	61,7	28	48,6	30,6	11,2
Pr	7,21	8,68	4,15	5,91	3,49	5,62	3,47	1,35
Nd	21,4	31	15,5	22,1	13,7	20,3	14,1	5,9
Sm	3,7	5,2	3,3	4	2,7	4,4	2,7	1,7
Eu	1,5	1,64	1,2	1,16	1,4	1,45	0,72	0,91
Gd	3,9	4,71	4,4	3,09	2,58	4,12	2,12	3,94
Tb	0,66	0,85	0,8	0,51	0,44	0,68	0,33	0,83
Dy	4,03	5,96	5,98	3,45	2,59	4,24	2,16	5,73
Ho	0,81	1,31	1,32	0,64	0,5	0,84	0,42	1,18
Er	2,63	4,06	4,46	2,03	1,59	2,53	1,34	3,7
Tm	0,44	0,64	0,61	0,33	0,24	0,38	0,21	0,52
Yb	2,52	3,75	3,47	1,96	1,54	2,23	1,35	2,63
Lu	0,4	0,58	0,58	0,33	0,25	0,39	0,22	0,38
∑ETR	123,8	167,48	102,67	134,21	76,52	122,48	74,14	44,97
∑ETRL	108,41	145,62	81,05	121,87	66,79	107,07	65,99	26,06
∑ETRP	15,39	21,86	21,62	12,34	9,73	15,41	8,15	18,91
(La/Sm)N	5,45	4,88	3,88	4,09	3,93	3,68	3,23	1,78
(Gd/Lu)N	1,04	0,87	0,81	1,00	1,11	1,13	1,03	1,11
Eu/Eu*	1,17	0,98	0,93	0,98	1,57	1,01	0,89	1,04
Ce/Ce*	0,59	0,66	0,85	1,08	0,79	0,88	0,96	0,96

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	A05	A18	B44	B43	B41	B28	B30	B36
Rocha	SL-F62-P95	SL-F66-P165	CRIS-F15-P175	CRIS-F15-P199	CRIS-F15-P202	CRIS-F21-P395	CRIS-F21-P398	CRIS-F21-P452
	Máfica Hma	Máfica Hma	FF	FF	FF	FF	FF	FF
(% peso)								
SiO ₂	44,54	68,05	38,27	33,47	38,89	20,44	44,22	54,34
Al ₂ O ₃	12,73	0,52	0,14	0,05	0,04	3,08	0,24	0,19
Fe ₂ O ₃ T	27,84	31	57,72	63,3	54,01	70,48	50,04	38,72
MgO	6,81	0,03	1,63	2,27	0,72	2,22	0,23	2,51
CaO	0,15	0,01	1,82	0,82	3,32	2,04	3,61	2,56
Na ₂ O	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,09
K ₂ O	0,27	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
TiO ₂	1,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,48	0,02	0,01
P ₂ O ₅	0,13	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01
MnO	0,17	0,06	0,02	0,02	0,05	0,09	0,04	0,04
Cr ₂ O ₃	0,009	0,005	0,003	0,002	0,003	0,007	0,002	0,005
PF	6,2	0,3	0,4	0,1	3	1,1	1,4	1,3
Total	99,92	100,05	100,05	100,06	100,05	100,06	99,9	99,82
C	0,04	0,01	0,44	0,32	1,01	0,48	0,78	0,48
S	0,03	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01	0,06
(ppm)								
La	5	<,5	2,6	0,8	1,2	0,7	0,5	<,5
Ce	10,8	0,8	3,6	0,6	2,6	1,2	0,9	0,7
Pr	1,27	0,12	0,46	0,08	0,36	0,17	0,13	0,1
Nd	5,4	0,5	2	<,4	1,7	0,8	0,7	0,7
Sm	1,6	0,1	0,4	<,1	0,5	0,2	0,3	0,2
Eu	0,65	0,05	0,21	0,06	0,21	0,16	0,13	0,06
Gd	2,35	0,15	0,42	0,17	0,52	0,32	0,62	0,26
Tb	0,53	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,1	0,06
Dy	3,64	0,13	0,22	0,07	0,31	0,41	0,76	0,38
Ho	0,75	<,05	0,06	<,05	0,06	0,11	0,18	0,1
Er	2,44	0,12	0,13	0,06	0,14	0,4	0,67	0,39
Tm	0,36	<,05	<,05	<,05	<,05	0,07	0,11	0,06
Yb	1,91	0,13	0,15	<,05	0,08	0,44	0,63	0,41
Lu	0,34	0,02	0,02	<,01	0,03	0,08	0,14	0,08
∑ETR	37,04	2,15	10,3	1,87	7,77	5,12	5,87	3,5
∑ETRL	24,72	1,57	9,27	1,54	6,57	3,23	2,66	1,76
∑ETRP	12,32	0,58	1,03	0,33	1,2	1,89	3,21	1,74
(La/Sm)N	1,89	-	3,94	-	1,45	2,12	1,01	-
(Gd/Lu)N	0,74	0,80	2,25	-	1,86	0,43	0,47	0,35
Eu/Eu*	0,99	1,21	1,52	-	1,22	1,87	0,89	0,78
Ce/Ce*	0,95	-	0,73	0,53	0,88	0,77	0,78	-

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	B38	B31	B32	B34	B47	LC-04	LC-19	LC-58
	CRIS-F21-P457	CRIS-F21-P392	CRIS-F21-P394	CRIS-F21-P436	CRIS-F196-P88	Campo	Campo	Campo
Rocha	FF	FF Brechada	FF Brechada	FF Brechada	FF Brechada	FF	FF	FF
(% peso)								
SiO₂	46,14	48,9	50,91	65,85	56,31	43,71	44,2	27,05
Al₂O₃	0,16	14,01	0,62	0,39	3,13	0,47	0,07	3,11
Fe₂O₃T	46,4	17,96	42,58	25,53	28,88	50,94	55,09	66,16
MgO	1,85	5,04	0,39	1,94	2,2	0,74	0,01	0,05
CaO	2,47	1,41	3,22	3,65	4,77	0,11	0,01	0,01
Na₂O	0,04	1,28	0,13	0,17	0,07	0,01	0,01	0,01
K₂O	0,04	6,16	0,04	0,12	0,07	0,04	0,04	0,05
TiO₂	0,01	1,36	0,31	0,01	0,12	0,02	0,01	0,1
P₂O₅	0,01	0,37	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,02
MnO	0,08	0,13	0,05	0,07	0,04	0,79	0,02	0,02
Cr₂O₃	0,002	0,016	0,004	0,004	0,008	0,006	0,003	0,007
PF	2,7	3	1,5	2	3,9	2,9	0,5	3,4
Total	99,89	99,65	99,78	99,79	99,53	99,75	99,91	99,99
C	1,02	0,13	0,67	0,59	0,99	0,01	0,02	0,02
S	0,03	0,03	0,08	0,09	1,29	0,01	0,03	0,01
(ppm)								
La	0,9	8,3	0,6	0,8	4,2	5,2	0,6	31,6
Ce	1,1	17,5	0,8	0,8	7,2	2,2	1,1	42,8
Pr	0,15	2,06	0,11	0,13	0,87	0,58	0,11	7,54
Nd	0,6	7,6	0,4	1	3,7	1,9	<,4	27,1
Sm	0,3	1,7	0,2	0,5	1,3	0,3	0,2	4,2
Eu	0,06	0,59	0,16	0,14	0,44	0,34	0,19	0,71
Gd	0,45	2,04	0,41	1,06	1,83	0,48	0,33	3,09
Tb	0,09	0,45	0,07	0,25	0,34	0,07	0,05	0,46
Dy	0,69	3,38	0,68	1,73	2,18	0,55	0,27	2,87
Ho	0,13	0,9	0,16	0,42	0,39	0,12	0,06	0,51
Er	0,45	3,28	0,58	1,38	1,15	0,41	0,15	1,35
Tm	0,08	0,55	0,08	0,2	0,16	0,06	<,05	0,19
Yb	0,49	3,42	0,48	1,15	0,91	0,51	0,16	1,03
Lu	0,09	0,55	0,1	0,22	0,16	0,08	0,03	0,16
∑ETR	5,58	52,32	4,83	9,78	24,83	12,8	3,25	123,61
∑ETRL	3,11	37,75	2,27	3,37	17,71	10,52	2,2	113,95
∑ETRP	2,47	14,57	2,56	6,41	7,12	2,28	1,05	9,66
(La/Sm)N	1,82	2,96	1,82	0,97	1,96	10,51	1,82	4,56
(Gd/Lu)N	0,54	0,40	0,44	0,52	1,23	0,64	1,18	2,07
Eu/Eu*	0,48	0,94	1,65	0,57	0,84	2,65	2,19	0,58
Ce/Ce*	0,66	0,94	0,69	0,55	0,83	0,28	0,95	0,61

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	LC-091	LC-095	LC-103	LC-147	LC-153	LC-154	LC-88	LC-114	LC-131	LC-129	LC-164
Rocha	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
	FF	FF	FF	FF	FF	FF	HD	HD	HD	Anfibolito	Anfibolito
(% peso)											
SiO ₂	50,48	52,16	43,19	46,89	73,07	48,63	5,98	35,79	8,52	68,55	48,55
Al ₂ O ₃	0,06	0,12	0,05	0,28	2,13	2,17	3,35	0,11	0,25	11,59	13,97
Fe ₂ O ₃ T	47,96	46,33	55,29	52,24	15,06	36,09	86,23	62,1	89,23	8,62	16,71
MgO	0,04	0,01	0,02	<,01	4,03	5,3	0,01	<,01	0,03	0,06	5,64
CaO	0,02	0,02	0,01	0,02	4,59	6,29	0,01	0,02	0,01	2,1	9,66
Na ₂ O	0,01	0,01	<,01	0,01	0,37	0,28	0,01	0,01	0,01	2,83	2,16
K ₂ O	<,04	<,04	<,04	0,04	0,24	0,27	0,04	<,04	<,04	3,82	0,72
TiO ₂	<,01	<,01	<,01	<,01	0,06	0,07	0,04	<,01	0,02	0,66	1,23
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,01	0,06	0,03	<,01	0,01	0,04	0,34	0,12	0,12
MnO	0,03	0,03	0,02	0,02	0,25	0,24	0,01	0,03	0,02	0,1	0,22
Cr ₂ O ₃	<,001	0,002	0,002	<,001	0,002	0,002	0,008	0,001	<,001	<,001	0,021
PF	1,4	1,3	1,3	0,3	0,2	0,5	4,4	1,8	1,5	1,1	0,8
Total	100,05	100,03	99,91	99,87	100,04	99,86	100,04	99,91	99,94	99,55	99,81
C	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
S	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,08
(ppm)											
La	1,3	1,1	0,9	63,9	32,9	9,8	2,2	3,8	47,6	151,2	8,7
Ce	2,4	1,2	0,8	109,1	10	32,1	11,6	4,9	92	129,3	18
Pr	0,17	0,12	0,08	15,81	8,33	4,69	0,49	0,64	10,93	44,14	2,65
Nd	0,60	0,50	0,40	55,60	31,40	20,30	1,4	2,70	46,50	181,20	12,90
Sm	<,1	0,10	0,10	8,60	7,20	5,10	0,3	0,70	8,90	32,90	3,30
Eu	0,10	0,09	<,05	1,66	2,13	1,00	0,08	0,35	0,59	7,19	1,07
Gd	0,19	0,21	0,14	5,47	7,54	5,73	0,35	1,06	11,48	29,48	4,36
Tb	0,02	0,02	0,02	0,86	1,48	1,20	0,04	0,18	1,83	5,39	0,84
Dy	0,09	0,17	0,10	3,34	8,18	6,98	0,28	0,98	9,47	27,71	5,14
Ho	<,05	<,05	<,05	0,44	1,51	1,36	0,06	0,23	1,85	5,36	1,05
Er	0,14	0,15	0,07	0,93	4,36	4,22	0,22	0,69	6,36	14,78	2,98
Tm	<,05	<,05	<,05	0,12	0,68	0,64	<,05	0,10	1,25	2,05	0,43
Yb	0,11	0,10	0,10	0,55	4,06	4,31	0,28	0,65	13,10	13,20	2,80
Lu	0,03	0,02	0,02	0,07	0,55	0,64	0,04	0,10	3,06	1,74	0,42
ΣETR	15,85	11,97	8,74	813,96	396,93	266,19	17,34	51,77	698,38	2015,10	181,47
ΣETRL	13,35	9,43	7,16	761,89	315,01	208,15	16,07	39,62	601,60	1720,23	134,50
ΣETRP	1,26	1,42	0,95	31,32	55,29	45,54	1,27	7,78	89,40	205,00	33,59
(La/Sm)N	7,88	6,67	5,45	4,50	2,77	1,16	4,44	3,29	3,24	2,79	1,60
(Gd/Lu)N	0,68	1,13	0,75	8,37	1,47	0,96	0,94	1,14	0,40	1,82	1,11
Eu/Eu*	2,15	1,84	1,26	0,72	0,86	0,55	0,73	1,20	0,17	0,68	0,83
Ce/Ce*	1,13	0,73	0,66	0,76	0,13	1,05	2,48	0,70	0,89	0,35	0,83

abela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	A24	ALC07	ALC08	ALC12A	A17	ALC01	ALC06	A22	A26	ALC09	ALC10	A09	ALC18
	SL-F35-P62	SL-F19-P99	SL-F19-P102	SL-F29-P20	SL-F66-P150	SL-F27-P53	SL-F29-P64	SL-F79-P218	SL-F19-P104	SL-F19-P150	SL-F19-P151	SL-F24-P187	SL-F30-P184
Rocha	FF	HD	HD	HD	HD	Máfica	Máfica	Máfica	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma
(ppm)													
Ba	1,7	78,5	74	15	79	183,7	283	205,8	282,9	1100,7	625,9	113,6	10,3
Be	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	1	2	1	2	2	<1
Co	7,6	0,8	0,7	0,7	0,9	46,7	46,3	45,2	11,4	40,5	46,8	43	48,1
Cs	<1	<1	<1	<1	<1	0,6	0,3	0,6	<1	1,5	1,3	2,9	<1
Ga	<5	2,3	1,6	0,7	1,1	22,9	22,4	22,7	10,4	14,3	14	13,3	13,6
Hf	<5	<5	<5	<5	<5	5,7	4,8	5,3	3,9	5	4,5	3,5	1,9
Nb	<5	0,6	1	0,6	<5	10,8	9,1	9,2	6,6	7,2	6,9	5,9	2,7
Rb	<5	<5	<5	<5	<5	19,8	19,9	20,4	0,5	13,1	7,3	5,4	0,7
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	2	2	2	2	2	2	2	4
Sr	0,5	6,8	5,8	3,5	6,3	278,7	267,1	255,6	7,6	11,1	9,3	3,5	1,4
Ta	<1	<1	<1	<1	<1	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,2
Th	<1	0,9	1,8	0,3	0,3	1,4	1,3	1,5	8,6	11,3	11,2	8	1,3
U	0,2	2,1	2,6	1,1	13,6	0,4	0,3	0,3	7,8	7,2	16,4	6,3	0,6
V	<5	14	29	24	36	462	466	466	112	253	711	41	198
W	0,3	0,8	1,2	0,3	0,6	0,2	0,3	0,2	2,3	1,4	1,9	1,7	1,4
Zr	0,8	3,2	3,5	3,8	2,8	200,1	174,9	174,5	134,5	152,8	156,6	106,9	61,9
Y	7,1	4,5	3,4	1,9	14	42,3	39	39	27,2	48,4	55,1	19,7	13,2
Mo	0,5	0,7	1,1	0,7	0,5	1,2	0,8	1,3	0,4	0,6	0,6	0,5	2,7
Cu	132,1	25,4	22,4	11,3	12	435,5	327,7	381,3	98,2	58	56,2	52,3	160,1
Pb	2,3	4,3	4,8	3,7	1,5	1,2	0,8	1,1	23,7	24,2	32,4	28,7	59,9
Zn	27	18	14	7	4	77	61	77	171	1321	1397	376	41
Ni	7,2	3,1	2,8	3,1	3,3	44,5	42,5	53,1	44,1	107,3	113,2	159,6	228,5
As	<5	<5	0,6	<5	<5	<5	<5	0,5	1,1	1,1	1	0,8	<5
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	0,1	<1	<1	<1	0,1	0,1	<1	<1
Sb	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	0,1	<1
Bi	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	<1	<1	<1	0,3	0,7	1	1,6	0,1
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	0,1	0,2	0,1	<1	<1	<1	<1	<1
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tl	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0,1	<1	<1	<1
Se	<5	<5	<5	<5	<5	0,5	0,6	<5	<5	0,5	<5	<5	0,6
Sc	1	1	1	1	2	33	36	35	9	12	12	9	37
Au (ppb)	0,6	1,5	<5	1,4	<5	6,1	6,2	4,3	<5	2,8	4,5	<5	0,7

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	A12	A03	A04	A05	A18	B44	B43	B41	B28	B30	B36	B38
	SL-F32-P140	SL-F62-P92	SL-F62-P93	SL-F62-P95	SL-F66-P165	CRIS-F15-P175	CRIS-F15-P199	CRIS-F15-P202	CRIS-F21-P395	CRIS-F21-P398	CRIS-F21-P452	CRIS-F21-P457
Rocha	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	Máfica Hma	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
(ppm)												
Ba	150,6	79,5	118	26,9	91,4	2,5	2,5	2,1	16,9	9,8	10,3	5
Be	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	<1	1
Co	24	58,3	31,3	79,1	11,8	7,7	4,6	2,8	22,2	17,5	26,3	23,2
Cs	0,2	0,3	0,5	0,1	<1	<1	<1	<1	0,3	<1	0,2	<1
Ga	10,4	14,5	11,8	17	1,3	0,8	<5	<5	16,2	6,4	12,2	14,1
Hf	3	2,3	1,8	3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Nb	5,2	3,8	2,7	4,5	0,9	0,7	1	0,8	1,4	1	1,5	2,3
Rb	4,2	16,7	31,2	20,1	0,8	<5	<5	<5	3,5	0,9	2	0,7
Sn	1	3	1	4	<1	<1	<1	<1	2	<1	<1	<1
Sr	8,2	2	1,2	1,7	1,2	4,9	2,8	9,7	6,6	9	5,2	5,8
Ta	0,5	0,3	0,2	0,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Th	8,8	3,9	3,6	3,6	0,1	<1	<1	<1	0,3	0,2	0,2	0,2
U	8,3	1,5	4,6	1,5	6	<1	<1	<1	0,3	0,2	0,3	0,7
V	57	175	186	249	42	<5	<5	<5	145	18	<5	<5
W	0,7	4,9	3,7	5,9	1	0,5	0,6	0,9	0,5	0,7	1,5	1,5
Zr	98,8	80,6	56,5	96,4	1,4	2,1	0,6	0,5	19,6	2,8	0,8	1,2
Y	28,5	11,8	38,2	21,1	1,6	2,4	1	3,4	3,6	6	3,5	4,2
Mo	0,4	0,6	0,9	0,4	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1	0,9
Cu	60,6	56,2	43,8	596,9	41	6,1	3,5	7,1	6,9	98,8	664,2	250,7
Pb	51,8	1,3	0,9	0,7	1,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0,7	0,4	0,6
Zn	77	108	59	152	6	2	2	2	19	5	7	5
Ni	48,2	76,5	61,9	90,2	18	7,1	8,6	14,1	47,2	32,3	51,7	53,4
As	1,2	<5	<5	<5	<5	<5	0,6	0,7	0,7	3,8	3,7	4,9
Cd	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	0,1	<1	0,1	<1	0,1	0,1	0,1	0,7	<1	0,2	0,1	0,2
Bi	8,2	0,1	0,2	0,1	0,2	<1	<1	<1	<1	<1	0,1	<1
Ag	<1	<1	<1	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0,3	0,1
Hg	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Tl	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Se	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0,5
Sc	9	27	42	34	1	1	1	1	1	1	1	1
Au (ppb)	<5	0,8	<5	<5	<5	0,8	<5	<5	<5	0,7	2	<5

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	B31	B32	B34	B47	LC-04	LC-19	LC-58	LC-091	LC-095	LC-103	LC-147	LC-153	LC-154
	CRIS-F21-P392	CRIS-F21-P394	CRIS-F21-P436	CRIS-F196-P88	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Rocha	FF Brechada	FF Brechada	FF Brechada	FF Brechada	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
(ppm)													
Ba	1516	12,3	51,8	18	119,8	7,2	34,8	4	4	2,7	191,2	39,1	29
Be	2	1	1	1	3	<1	1	1	1	1	1	3	4
Co	63,5	24,8	19,2	158,2	13,1	7,8	18,8	10,8	9,6	6,3	1,6	23,9	73,1
Cs	2,1	<1	0,4	0,1	3	<1	0,7	0,1	<1	<1	0,2	0,2	0,9
Ga	14,8	8,5	4,5	5,4	1,2	1,1	21	<5	<5	<5	1,4	3,8	6,1
Hf	5,3	<5	<5	1,2	<5	<5	0,6	<5	<5	<5	<5	0,6	0,9
Nb	10,4	1,8	1,1	2,9	0,5	<5	2,7	<5	<5	<5	<5	2	2,5
Rb	236,2	1,1	9,1	2	6,9	<5	7,9	<5	<5	<5	1,8	10,4	13,4
Sn	2	1	1	<1	2	<1	1	1	1	1	<1	3	4
Sr	72,2	10,3	7,9	16,6	5,3	<5	1,1	<5	0,5	0,6	17,8	4,1	4,4
Ta	0,7	<1	<1	0,2	<1	<1	0,2	<1	0,1	<1	<1	0,4	0,3
Th	7,1	0,1	0,1	3,9	0,1	0,1	0,6	<1	0,4	<1	0,4	1,7	3
U	2,5	<1	0,4	0,9	0,7	0,1	0,8	<1	0,2	<1	2,1	0,6	0,2
V	179	99	<5	25	10	<5	169	5	6	<5	74	16	106
W	1,4	1,2	1,5	0,5	0,2	1,1	1	0,7	0,2	0,4	4,7	<1	0,1
Zr	203	2,9	1,7	33,4	5,5	2,8	17,4	0,6	1,6	0,7	1,7	21,6	23,6
Y	30	5,5	14	12	8	2,8	14,2	2,6	1,9	1,8	9,3	48,2	42,4
Mo	1,7	2,2	1,7	2	2	0,8	4,6	1,7	1,7	2,1	1,7	1,5	0,9
Cu	359,6	1060,8	810,7	2396,8	412,9	14,9	358,5	7,6	111,8	9,4	22,6	17,5	31,1
Pb	1,8	1,8	0,5	2,1	0,8	0,7	4,5	0,9	0,2	0,3	7,2	1	2,2
Zn	49	7	7	14	512	4	15	21	6	2	<1	65	36
Ni	78,8	30,5	24	61,3	27,1	20,9	17,3	4,1	5,1	4	3,5	15	20
As	0,8	9,5	2,9	17,8	23,3	0,7	1	4,4	2,6	2,7	1,5	0,6	5,2
Cd	<1	<1	<1	<1	0,9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	<1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<1	0,1	0,2	0,1	0,2	<1	<1
Bi	<1	0,1	0,1	0,4	0,1	<1	0,7	<1	0,1	<1	0,1	<1	<1
Ag	0,1	0,4	0,4	0,2	0,3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01
Tl	0,2	<1	<1	<1	0,1	<1	0,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Se	<5	<5	<5	1,5	<5	<5	0,7	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sc	25	2	1	4	1	1	5	<1	<1	<1	1	1	2
Au (ppb)	5,2	14	4,3	19,9	1,8	1,7	16,4	<5	1,3	0,7	<5	<5	0,5

Tabela V.3 - (continuação) Valores de geoquímica de rocha.

Amostra	LC-88	LC-114	LC-131	LC-129	LC-164
	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Rocha	HD	HD	HD	Anfibolito	Anfibolito
(ppm)					
Ba	1,6	4,7	30,9	2302,8	223,8
Be	1	1	4	3	2
Co	7,4	4	32,4	3,7	58,1
Cs	<,1	<,1	<,1	0,4	0,2
Ga	40,1	0,5	25	22	18,5
Hf	<,5	<,5	<,5	11,7	2,9
Nb	1,2	<,5	7,8	16,2	4
Rb	<,5	<,5	<,5	99,6	24,1
Sn	1	<1	4	3	1
Sr	<,5	0,5	3,1	77	156,8
Ta	<,1	<,1	1,8	1,2	0,3
Th	2	0,1	1,7	22,3	1,3
U	1,1	0,4	2	5,1	0,3
V	137	<5	51	<5	328
W	0,3	0,6	1,1	0,5	0,3
Zr	14,6	1,4	5,2	392,9	86
Y	1,2	7,5	56,8	140,6	31,5
Mo	11,7	1,1	5,6	2,2	0,9
Cu	143,5	73,4	543	33,6	178,5
Pb	20,7	0,3	0,7	4,1	4,6
Zn	4	16	14	52	45
Ni	90,1	5,5	226,2	3	26,5
As	<,5	0,9	6,4	1,6	3,9
Cd	<,1	0,1	<,1	0,1	<,1
Sb	<,1	0,1	<,1	<,1	<,1
Bi	0,1	0,1	<,1	<,1	<,1
Ag	0,1	<,1	<,1	<,1	<,1
Hg	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Tl	<,1	<,1	<,1	0,1	<,1
Se	<,5	<,5	<,5	<,5	0,7
Sc	4	1	1	9	42
Au (ppb)	3,1	1,1	18,1	<,5	1,9

Tabela V.4 - Valores de química mineral.

Anfibólio

Amostra	Local	Na ₂ O	FeOT	K ₂ O	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	Cl	F
LC-04	Campo-1A	0,048	35,382	0,003	50,179	0,642	0,259	0,000	7,711	1,632	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-1B	0,084	36,490	0,015	50,676	0,945	0,500	0,000	7,728	1,645	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-1C	0,067	36,481	0,014	50,857	0,872	0,427	0,007	7,434	1,623	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-1D	0,036	36,615	0,012	50,822	0,559	0,187	0,000	7,598	1,664	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-1E	0,070	36,059	0,005	50,104	0,614	0,241	0,010	7,326	1,648	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-1F	0,020	36,368	0,000	50,440	0,615	0,206	0,005	7,535	1,591	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-2A	0,088	36,016	0,013	50,982	0,994	0,495	0,000	7,701	1,659	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-2B	0,077	36,681	0,000	51,191	0,774	0,361	0,019	7,999	1,634	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-2C	0,063	36,052	0,006	51,034	1,007	0,405	0,019	7,817	1,645	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-2D	0,040	35,736	0,000	51,022	0,702	0,165	0,000	8,527	1,631	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-3A	0,048	36,312	0,000	50,754	0,946	0,453	0,000	7,566	1,642	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-3B	0,057	36,743	0,000	50,461	0,721	0,241	0,000	7,364	1,704	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-3C	0,088	37,060	0,000	50,391	0,815	0,347	0,030	7,269	1,666	0,000	0,000	0,000
LC-04	Campo-3D	0,071	36,524	0,013	49,152	0,758	0,357	0,014	7,279	1,686	0,000	0,000	0,000
LC-153	Campo-1A	1,297	23,307	0,657	47,993	11,247	6,913	0,176	7,781	0,311	0,000	0,251	0,067
LC-153	Campo-1B	1,346	23,203	0,693	48,083	11,189	6,683	0,174	7,802	0,360	0,000	0,265	0,201
LC-153	Campo-1C	1,202	23,069	0,676	47,672	11,565	6,792	0,206	8,002	0,340	0,000	0,264	0,213
LC-153	Campo-1D	1,385	23,436	0,804	47,133	11,490	7,097	0,217	7,835	0,322	0,000	0,281	0,000
LC-153	Campo-1E	1,175	23,941	0,730	47,845	10,437	6,854	0,199	8,089	0,330	0,000	0,249	0,152
LC-153	Campo-1F	1,305	23,970	0,642	47,609	10,884	6,421	0,204	8,228	0,331	0,000	0,224	0,181
LC-153	Campo-1G	1,407	24,467	0,928	46,074	11,037	7,780	0,234	7,151	0,335	0,000	0,384	0,204
LC-153	Campo-1H	0,795	25,260	1,430	47,162	9,697	6,881	0,128	8,079	0,357	0,000	0,209	0,000
LC-153	Campo-1I	1,190	23,169	0,638	48,353	11,393	6,400	0,176	7,820	0,308	0,000	0,248	0,304
LC-153	Campo-2A	0,077	33,856	0,012	53,622	1,032	0,337	0,010	9,786	1,207	0,000	0,030	0,030
LC-153	Campo-2B	0,074	33,564	0,023	53,262	1,372	0,522	0,001	10,061	1,078	0,000	0,043	0,001
LC-153	Campo-2C	0,044	33,329	0,025	53,904	1,183	0,366	0,004	9,907	1,152	0,000	0,036	0,050
LC-153	Campo-2D	0,780	22,971	0,455	50,471	11,473	4,582	0,078	8,645	0,359	0,000	0,186	0,000
LC-153	Campo-2E	1,024	22,897	0,432	49,516	11,318	5,233	0,140	8,699	0,369	0,000	0,211	0,160
LC-153	Campo-2F	1,090	22,616	0,474	49,777	11,296	5,113	0,113	8,881	0,361	0,000	0,181	0,100
LC-153	Campo-2G	1,105	23,998	0,519	49,157	11,413	5,124	0,107	7,917	0,435	0,000	0,225	0,000
LC-153	Campo-2H	1,114	24,083	0,547	48,631	11,219	5,447	0,115	8,188	0,377	0,000	0,211	0,069
LC-153	Campo-2I	1,059	23,254	0,453	49,604	11,250	5,044	0,104	8,461	0,406	0,000	0,189	0,178
LC-153	Campo-2J	1,171	23,474	0,525	48,576	11,315	5,544	0,151	8,383	0,389	0,000	0,190	0,282
LC-153	Campo-2K	0,120	33,158	0,031	53,319	1,646	0,709	0,023	9,872	1,083	0,000	0,039	0,000
LC-153	Campo-2L	1,138	23,236	0,542	49,712	10,933	5,448	0,137	8,267	0,368	0,000	0,208	0,011
LC-153	Campo-3A	1,220	23,146	0,583	48,551	11,337	6,052	0,183	8,233	0,369	0,000	0,220	0,106
LC-153	Campo-3B	1,260	23,723	0,593	48,753	11,259	5,604	0,104	8,060	0,358	0,000	0,191	0,095
LC-153	Campo-3C	1,143	23,068	0,537	49,407	10,851	5,547	0,129	8,669	0,364	0,000	0,201	0,083
LC-153	Campo-3D	1,353	23,381	0,689	48,318	11,059	6,270	0,124	8,155	0,378	0,000	0,231	0,042

Tabela V.4 - (continuação) Valores de química mineral.

Anfibólio

Amostra	Local	Na ₂ O	FeOT	K ₂ O	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	Cl	F
LC-153	Campo-3E	0,682	27,253	0,424	50,527	7,465	3,762	0,101	8,897	0,743	0,000	0,146	0,000
LC-153	Campo-3F	1,179	22,900	0,583	49,093	11,264	5,733	0,131	8,463	0,376	0,000	0,221	0,057
LC-153	Campo-3G	1,121	23,163	0,572	48,733	11,100	6,095	0,162	8,492	0,333	0,000	0,227	0,000
LC-153	Campo-3H	1,150	24,393	0,563	48,684	10,551	5,586	0,173	8,210	0,377	0,000	0,201	0,113
LC-153	Campo-3I	1,212	23,220	0,585	48,713	11,271	5,917	0,164	8,238	0,361	0,000	0,223	0,096
LC-154	Campo-1A	0,489	31,834	0,598	49,125	6,231	5,024	0,022	6,076	0,288	0,000	0,308	0,003
LC-154	Campo-1B	0,093	37,563	0,043	52,544	1,147	0,617	0,000	7,613	0,292	0,000	0,054	0,032
LC-154	Campo-1C	0,987	28,540	0,957	45,880	10,456	7,220	0,065	5,162	0,144	0,000	0,418	0,170
LC-154	Campo-1D	0,234	21,611	0,027	50,471	21,219	0,474	0,044	5,647	0,207	0,000	0,000	0,065
LC-154	Campo-1E	1,106	27,547	1,113	45,338	10,794	8,459	0,102	4,907	0,074	0,000	0,449	0,111
LC-154	Campo-1F	0,973	30,132	0,881	46,522	8,437	7,010	0,088	5,388	0,168	0,000	0,399	0,000
LC-154	Campo-1G	0,263	21,804	0,022	50,480	21,239	0,406	0,004	5,540	0,241	0,000	0,000	0,000
LC-154	Campo-1H	0,243	21,262	0,008	50,549	21,481	0,420	0,000	5,801	0,224	0,000	0,000	0,011
LC-154	Campo-1I	0,225	21,610	0,002	50,515	21,158	0,568	0,000	5,717	0,200	0,000	0,005	0,000
LC-154	Campo-1J	0,970	26,876	0,879	46,488	11,332	7,254	0,091	5,429	0,160	0,000	0,391	0,131
LC-154	Campo-1K	0,844	29,393	0,869	46,947	9,291	6,549	0,082	5,416	0,156	0,000	0,363	0,090
LC-154	Campo-1L	0,966	28,981	0,919	47,099	9,656	6,928	0,051	4,817	0,249	0,000	0,334	0,000
LC-154	Campo-1M	1,046	27,128	1,005	46,174	11,289	7,594	0,083	5,148	0,075	0,000	0,438	0,020
LC-154	Campo-1N	1,172	27,434	1,106	45,310	11,169	8,419	0,085	4,660	0,099	0,000	0,479	0,067
LC-154	Campo-1O	0,301	21,133	0,006	50,690	21,595	0,456	0,000	5,549	0,261	0,000	0,001	0,007
LC-154	Campo-1P	0,042	26,461	0,025	53,771	12,094	0,395	0,018	6,807	0,248	0,000	0,036	0,103
LC-154	Campo-1Q	0,152	21,546	0,027	57,498	14,874	0,435	0,035	5,182	0,249	0,000	0,002	0,000
LC-154	Campo-1R	0,189	23,227	0,000	50,424	19,693	0,456	0,016	5,828	0,165	0,000	0,000	0,000
LC-154	Campo-2A	0,022	43,754	0,010	48,867	0,685	0,167	0,000	5,997	0,493	0,000	0,004	0,000
LC-154	Campo-2B	0,007	23,025	0,102	65,887	0,205	0,292	0,014	9,766	0,598	0,000	0,019	0,087
LC-154	Campo-2C	0,017	17,083	0,355	77,234	0,086	0,515	0,026	4,396	0,248	0,000	0,040	0,000
LC-154	Campo-2D	1,032	28,552	1,143	45,044	11,156	7,694	0,148	4,486	0,142	0,000	0,509	0,094
LC-154	Campo-2E	1,067	27,960	1,152	44,907	10,743	8,706	0,190	4,566	0,096	0,000	0,613	0,000
LC-154	Campo-2F	1,218	28,696	1,255	44,472	10,417	8,448	0,206	4,543	0,103	0,000	0,570	0,073
LC-154	Campo-2G	0,012	32,811	0,375	57,861	0,032	0,557	0,000	7,797	0,496	0,000	0,058	0,000
LC-154	Campo-2H	0,992	30,532	1,315	43,793	9,044	9,084	0,151	4,189	0,316	0,000	0,583	0,000
LC-154	Campo-2I	1,196	29,355	1,466	43,420	10,112	9,792	0,173	3,525	0,186	0,000	0,627	0,147
LC-154	Campo-3A	1,355	28,187	1,204	44,765	10,268	8,697	0,249	4,504	0,151	0,000	0,556	0,065
LC-154	Campo-3B	1,367	27,103	1,171	44,440	11,368	8,870	0,222	4,556	0,167	0,000	0,583	0,154
LC-154	Campo-3C	0,010	43,484	0,000	49,033	0,810	0,202	0,000	5,970	0,482	0,000	0,008	0,000
LC-154	Campo-3D	0,006	43,549	0,018	48,950	0,876	0,207	0,023	5,915	0,454	0,000	0,000	0,000
LC-154	Campo-3E	1,251	28,453	1,148	44,555	10,820	8,437	0,184	4,348	0,099	0,000	0,598	0,106
LC-154	Campo-3F	0,071	24,612	0,006	55,458	11,751	0,387	0,008	7,292	0,352	0,000	0,003	0,059
LC-154	Campo-3G	0,009	23,882	0,032	55,818	11,926	0,215	0,001	7,741	0,368	0,000	0,007	0,000
LC-154	Campo-3H	0,143	25,365	0,072	54,387	12,062	0,797	0,022	6,811	0,331	0,000	0,009	0,000
LC-154	Campo-3I	0,050	22,140	0,016	60,230	10,713	0,220	0,000	6,315	0,305	0,000	0,004	0,006
LC-154	Campo-3J	0,106	27,383	0,053	53,211	12,037	0,537	0,021	6,258	0,381	0,000	0,013	0,000

Tabela V.4 - (continuação) Valores de química mineral.

Clorita										
Amostra	Local	Na₂O	FeOT	K₂O	SiO₂	CaO	Al₂O₃	TiO₂	MgO	MnO
B47	Campo-1A	0,011	28,111	0,011	26,299	0,093	17,102	0,021	14,477	0,045
B47	Campo-1B	0,027	26,633	0,026	27,045	0,057	16,571	0,024	15,908	0,107
B47	Campo-1C	0,007	27,694	0,016	25,628	0,024	17,283	0,040	14,366	0,068
B47	Campo-1D	0,002	28,174	0,061	25,747	0,050	18,373	0,024	13,803	0,016
A05	Campo-1A	0,000	28,671	0,027	24,873	0,036	18,583	0,047	12,069	0,311
A05	Campo-1B	0,000	28,390	0,010	26,155	0,034	20,033	0,035	11,765	0,296
A05	Campo-1C	0,004	28,376	0,016	25,331	0,063	18,351	0,023	12,789	0,330
ALC17-A	Campo-1A	0,000	28,076	0,016	26,555	0,071	20,409	0,069	10,654	0,155
ALC17-A	Campo-1B	0,010	25,252	0,017	28,074	0,074	19,188	0,056	11,653	0,188
ALC17-A	Campo-1C	0,006	25,303	0,016	27,146	0,069	24,136	0,051	7,325	0,114

Tabela V.5 - Localização geográfica dos furos de sondagem do depósito SL-1.

Furo	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
SL-F19	9.338.627	650.779	706
SL-F24	9.339.238	651.623	630
SL-F29	9.339.405	651.339	704
SL-F30	9.339.278	651.514	667
SL-F32	9.339.375	651.613	667
SL-F35	9.340.441	651.203	542
SL-F62	9.339.135	652.278	561
SL-F66	9.339.248	651.863	611
SL-F79	9.339.205	651.585	623
SL-F83	9.339.554	651.613	659

V.6 - Valores de elementos traço do condrito de Taylor & McLennan (1985) e de ETRs do condrito de Nakamura (1974).

ETR (ppm)	Condrito Taylor & McLennan (1985)	ETR (ppm)	Condrito Nakamura (1974)
Rb	3,45	La	0,33
Cs	0,279	Ce	0,86
Pb	3,65	Pr	0,11
Ba	3,41	Nd	0,63
Th	0,0425	Sm	0,2
U	0,0122	Eu	0,08
Nb	0,375	Gd	0,28
Ce	0,957	Tb	0,05
Sr	11,9	Dy	0,34
Zr	5,54	Ho	0,07
Tb	0,058	Er	0,22
Y	2,25	Tm	0,03
Zn	462	Yb	0,22
Ni	16500	Lu	0,03

V.7 - Valores de ETRs da FF de Isua (Dymek & Klein 1988).

ETR (ppm)	Dymek & Klein (1988)		
	IS623-6B	IS701-2C	Média
La	3,61	1,72	2,67
Ce	4,43	2,00	3,22
Pr	-	-	-
Nd	1,75	1,21	1,48
Sm	0,28	0,20	0,24
Eu	0,16	0,19	0,17
Gd	-	-	-
Tb	0,03	0,04	0,03
Dy	-	-	-
Ho	-	-	-
Er	-	-	-
Tm	-	-	-
Yb	0,12	0,25	0,19
Lu	0,02	0,04	0,03