

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ITABIRITOS DAS FORMAÇÕES CAUÊ, GANDARELA E
CERCADINHO-SUPERGRUPO MINAS-REGIÃO DE
ANTÔNIO PEREIRA, MG. METALOGÊNESE E
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS MINÉRIOS DE
FERRO.**

Thaís Noffs Battestin

Orientador: Prof. Dr. J. H. D. Schorscher

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/55-2006)**

**SÃO PAULO
2006**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Mineralogia, petrografia e geoquímica dos Itabiritos das
Formações Cauê, Gandarela e Cercadinho -
Supergrupo Minas – parte Norte da quadrícula
1:25.000 de Antônio Pereira, MG. Metalogênese e
propriedades tecnológicas dos minérios de ferro**

Thais Noffs Battestin



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher
Profa. Dra. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino
Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024372

ITABIRITOS DAS FORMAÇÕES CAUÊ, GANDARELA E
CERCADINHO – SUPERGRUPO MINAS – REGIÃO DE
ANTÔNIO PEREIRA, MG. METALOGÊNESE E
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS MINÉRIOS DE
FERRO.

Thaís Noffs Battestin

Orientador: Prof. Dr. J. H. D. Schorscher

Monografia de Trabalho de Formatura

TF/55-06



SÃO PAULO
2006

TP
B335
TN.i

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à minha família, em especial a minha mãe, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Johann Hans Daniel Schorscher, pela chance de trabalhar em um projeto que tantas realizações me trouxe.

Ao Prof. Eldon Azevedo Masini da Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica pela utilização do Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM).

Ao meu grande amigo, companheiro e anjo da guarda Gabriel Rossi por estar ao meu lado da concepção ao "parto" deste trabalho.

Aos novos e grandes amigos do IGc-USP, principalmente a Andrezza, Débora, Thiago (Nulo) e Vanessa (Larguinha).

Aos meus amigos queridos, Andréa (Déia) e toda sua família, Eduardo (Dudu) e Maya pelos momentos divertidíssimos e os nem tão divertidos assim. E por toda a força nos momentos mais difíceis. A todos meus amigos queridos da Unicamp que jamais serão esquecidos.

Ao Otavio e toda sua família por todos os anos de convivência intensa, apoio, carinho e por serem minha segunda família.

A todos os funcionários e técnicos dos laboratórios do IGc-USP pelos quais eu passei neste último ano e que sem eles esse trabalho não poderia ser realizado.

E a todos meus bichinhos por tornarem minha vida mais doce e leve de ser levada.

E por último, mas não menos importante à MVRP Mineração Vale do Rio Piracicaba Ltda. por sua colaboração imprescindível à realização deste trabalho.

Resumo

Na região de Antônio Pereira, localizada na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, foram estudados os metassedimentos ferríferos do Supergrupo Minas, das formações Cauê e Gandarela (Grupo Itabira) e da Formação Cercadinho (basal do Grupo Piracicaba). Também foi estudada a metalogênese do depósito de minérios itabiríticos de ferro da área da Fazenda Gualaxo, incluindo a caracterização tecnológica inicial de amostras selecionadas destes. A evolução da sedimentação química ferrífera da Formação Cauê é hoje representada principalmente por itabiritos quartzo-hematíticos com magnetita porfiroblástica, para itabiritos pobres em ferro, *metacherts* ferruginosos, itabiritos dolomíticos manganesíferos e, localmente, itabiritos manganesíferos. Seguem-se os depósitos químicos carbonáticos com níveis individuais itabiríticos e subordinadamente clásticos finos da Formação Gandarela. Estes transicionam, no topo, para os depósitos predominantemente clásticos finos de decantação da Formação Cercadinho que, na parte basal, ainda apresentam depósitos químico-clásticos ferríferos, manganesíferos e quartzosos com ou sem retrabalhamentos intraformacionais. Os minérios itabiríticos da área da Fazenda Gualaxo constituem uma nova e muito importante reserva econômica. São minérios supergênicos de enriquecimento intempérico residual e, subordinadamente, de tipo canga. Os estudos de caracterização tecnológica mostraram a predominância de minérios de tipo hematitinha e *pellet feed*. As frações de *sinter feed* concentram virtualmente todo o quartzo residual, necessitando da separação deste. Nos rejeitos finos eliminados como *over flow* do hidrociclone são eleminados quase totalmente todos os demais contaminantes mineralógicos e químicos, como os óxi-hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, argilominerais e os principais elementos maiores como Al, P, Ti, e elementos traço.

Abstract

In the Antônio Pereira region of southeastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, the ferriferous Minas Supergroup metasediments of Cauê and Gandarela formations (Itabira Group) and Cercadinho Formation (basis of Piracicaba Group) were studied. Also studied was the matellogenesis of the deposit of itabiritic iron ores of the Fazenda Gualaxo area. The evolution of the ferriferous chemical sedimentation of the Cauê Formation, presently represented mainly by quartz-hematite itabirites bearing magnetite porphyroblasts, topwards to iron-poor itabirites, ferruginous metacherts, dolomitic and manganiferous itabirites and, locally, manganiferous itabirites. Cauê deposits are followed by the chemical carbonatic metasediments containing individual itabiritic levels and subordinated fine clastics of the Gandarela Formation. These grade topwards to the predominantly fine clastic decantation sediments of the Cercadinho Formation which, in their basal parts, still contain chemical and clastic ferriferous, manganiferous and quartzous horizons with or without intraformational reworkings. The itabiritic iron ores of the Fazenda Gualaxo area represent a new and very important economic deposit. These are supergenic ores of residual enrichment through weathering and subordinately canga ores. Technological characterization studies show a predominance of hematitinha-type and pellet ore. Sinter feed fractions concentrate virtually all the residual quartz, demanding additional separation. With the fines eliminated as hydrocyclone overflow, almost all the other mineralogical and chemical contaminants are removed too, namely oxi-hydroxides of iron, aluminium and manganese, clay minerals, the major elements Mn, Al, P, Ti and trace elements.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS	3
3	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	4
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
4.1	ARQUEANO	6
4.1.1	<i>Terrenos TTG:</i>	6
4.1.2	<i>Greenstone Belt Rio das Velhas:</i>	6
4.1.3	<i>Metagranítoides Borrachudos:</i>	8
4.1.4	<i>Metalamprófiros Ultrabásicos e Ultrapotássicos:</i>	10
4.1.5	<i>Geocronologia:</i>	10
4.2	PALEOPROTEROZÓICO	11
4.2.1	<i>Supergrupo Minas:</i>	11
4.2.2	<i>Supergrupo Espinhaço:</i>	15
4.2.3	<i>Grupo Itacolomí:</i>	18
4.2.4	<i>Seqüência da Serra da Boa Vista:</i>	18
4.2.5	<i>Metabasitos e Anfibolitos:</i>	21
4.2.6	<i>Geocronologia:</i>	21
4.3	MESO E NEOPROTEROZÓICO	22
4.4	FANEROZÓICO	23
4.5	Evolução Orogenética Policíclica do Quadrilátero FERRÍFERO.....	24
4.5.1	<i>Terrenos TTG Arqueanos:</i>	25
4.5.2	<i>Greenstone Belt Rio das Velhas Arqueano:</i>	25
4.5.3	<i>Ciclo Minas/Espinhaço Paleoproterozóico:</i>	26
4.5.4	<i>Ciclo Uruçuano Mesoproterozóico:</i>	27
4.5.5	<i>Ciclo Brasiliense Mesoproterozóico Superior/Neoproterozóico a Eopaleozóico:</i>	28
4.5.6	<i>Evolução Polimetamórfica:</i>	28
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
5.1	MATERIAIS FUNDAMENTAIS.....	30
5.2	MÉTODOS PRINCIPAIS	31
6	DESENVOLVIMENTO	33
7	RESULTADOS OBTIDOS.....	35
7.1	GEOLOGIA DA REGIÃO DE ANTÔNIO PEREIRA 1:25.000	35
7.2	METASSEMENTOS FERRÍFEROS PALEOPROTEROZÓICOS	37
7.2.1	<i>Supergrupo Minas:</i>	37
7.2.2	<i>Petrografia e Metamorfismo:</i>	58
7.2.3	<i>Seqüência da Serra da Boa Vista e Grupo Itacolomí:</i>	76
7.2.4	<i>Análises Mineralógicas e Geoquímicas Complementares:</i>	77
7.2.5	<i>Evolução Sedimentar dos Metassedimentos do Supergrupo Minas</i>	86
7.3	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS MINÉRIOS ITABIRÍTICOS DE FERRO	91
7.3.1	<i>Generalidades</i>	91
7.3.2	<i>Potencial Mineral da Área (Anexo 18)</i>	91
7.3.3	<i>Caracterização Geral do Minério de Ferro</i>	92
7.3.4	<i>Caracterização Tecnológica</i>	93
9	BIBLIOGRAFIA	106

1 Introdução

O Quadrilátero Ferrífero é ainda a principal e mais tradicional província metalogenética do Brasil, em produção contínua há mais de 300 anos, sendo os principais bens minerais o ouro – descoberto em Mariana em 1696 – minérios de ferro, manganês, minerais gema, carbonatos e mármore calcíticos e dolomíticos, filito, bauxita, rocha magnesiana e outros. A despeito desse elevado e diversificado potencial mineral regional, os terrenos da borda leste do Quadrilátero Ferrífero continuam carentes de estudos geológicos mais recentes, inclusive dos seus bens minerais principais.

A região maior desse estudo (Figura 1) é conhecida por seu grande potencial em minérios de ferro. Existem várias jazidas de classe mundial em atividade, como Timbopeba, Fábrica Nova e Alegria (da CVRD), Germano (da Samarco Mineração S.A.) e depósitos em avaliação para reativação como da Minas D'el Rey (também da CVRD). Também existem extensas estruturas itabiríticas da Formação Cauê, em geral, com espessas coberturas de canga, ainda sem estudos considerando os novos conhecimentos da geologia e metalogênese do Quadrilátero Ferrífero e a classificação atual dos minérios de ferro.

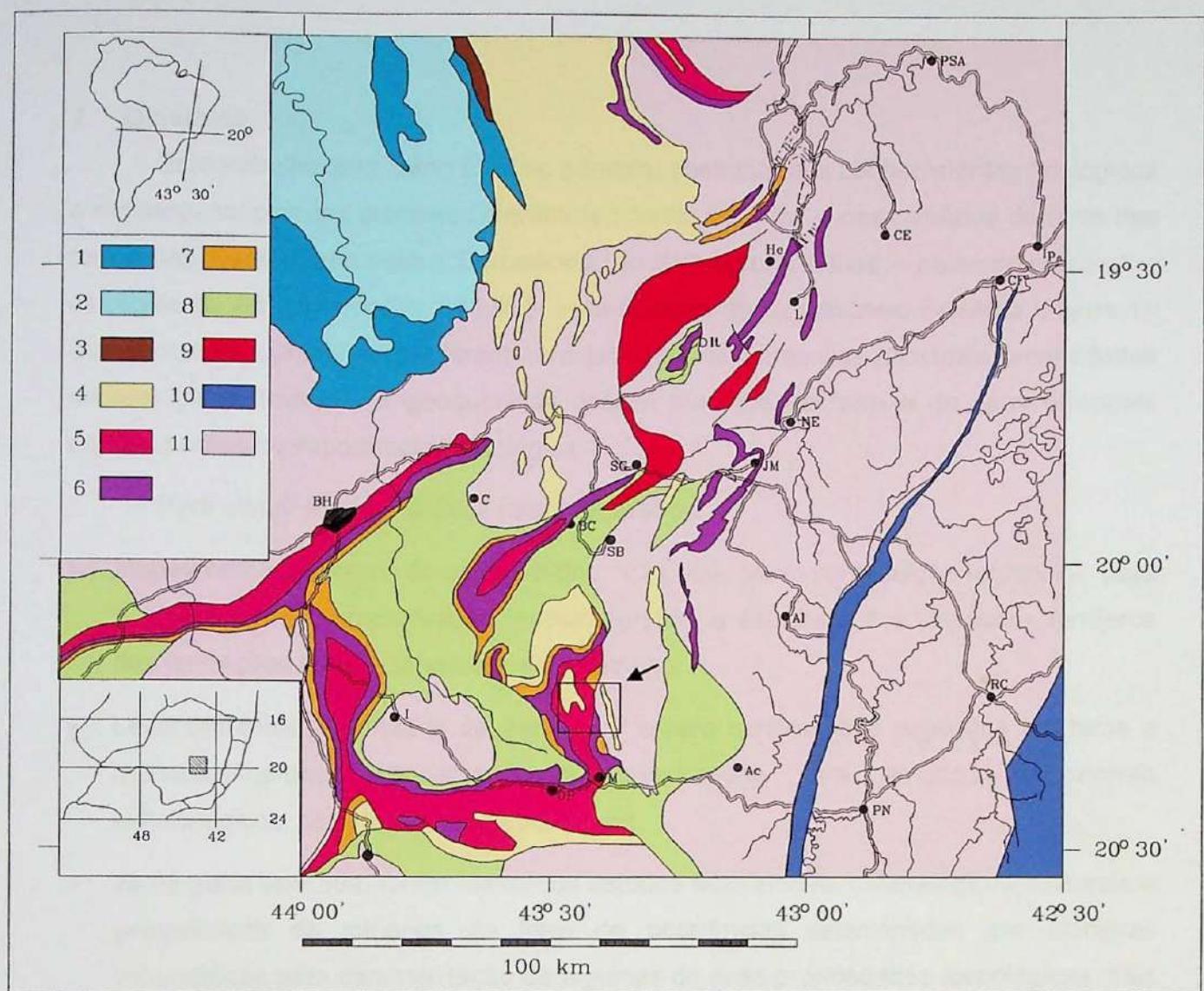


Figura 1 - Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero no contexto da borda E-SE do Cráton do São Francisco e da zona de transição para a faixa móvel Atlântica (Ribeira/Araçuaí), com a localização da área de mapeamento de semi-detalhe 1:25.000. Segundo Schorscher, 1992.

Legenda.

- (1 - 3) - SGr. São Francisco, meso- a neoproterozóico: (1) Gr. Bambuí, rochas carbonáticas; (2) Grupo Bambuí, rochas clásticas; (3) Gr. Macaúbas.
- (4) - SGr. Espinhaço, paleopreterozoico a mesoproterozóico inferior: quartzitos, metaconglomerados e quartzo-mica xistos;
- (5 - 7) - SGr. Minas, paleoproterozóico: (5) Gr. Piracicaba indiviso; (6) Gr. Itabira indiviso (itabiritos predominantes), (7) Gr. Caraça indiviso.
- (8) - Greenstone belt/SGr. Rio das Velhas, arqueano, indiviso.
- (9) - Metagranítoides Borrachudos.
- (10) - Milonitos de gnaisses, quartzitos e filonitos.
- (11) - Gnaisses graníticos, migmatitos e metagranítoides indiferenciados (arqueanos e proterozóicos) do complexo regional de rochas TTG (*lato sensu* graníticas).

Cidades e vilas: Ac-Acaiaca; Al-Alvinópolis; BC-Barão de Cocais; BH-Belo Horizonte; C-Caeté; CE-Cocais das Estrelas; CF-Coronel Fabriciano; Co-Congonhas; He-Hematita; I-Itabirito; Ip-Ipatinga; It-Itabira; JM-João Monlevade; L-Liberdade; M-Mariana; NE-Nova Era; OP-Ouro Preto; PN-Ponte Nova; PSA-Ponte de Santo Antônio; RC-Rio Casca; SB-Santa Bárbara; SG-São Gonçalo do Rio Abaixo.

2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal contribuir aos conhecimentos geológicos e metalogenéticos dos metassedimentos ferríferos, itabiritos e dos minérios de ferro das formações Cauê, Gandarela e Cercadinho, do Supergrupo Minas – paleoproterozóico – da região de Antônio Pereira 1:25.000, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (Figura 1). Como objetivo complementar foram caracterizadas algumas das principais propriedades mineralógicas, texturais e geoquímicas desses minérios de ferro e de seus principais contaminantes de importância tecnológica.

Para atingir esses objetivos foram realizados:

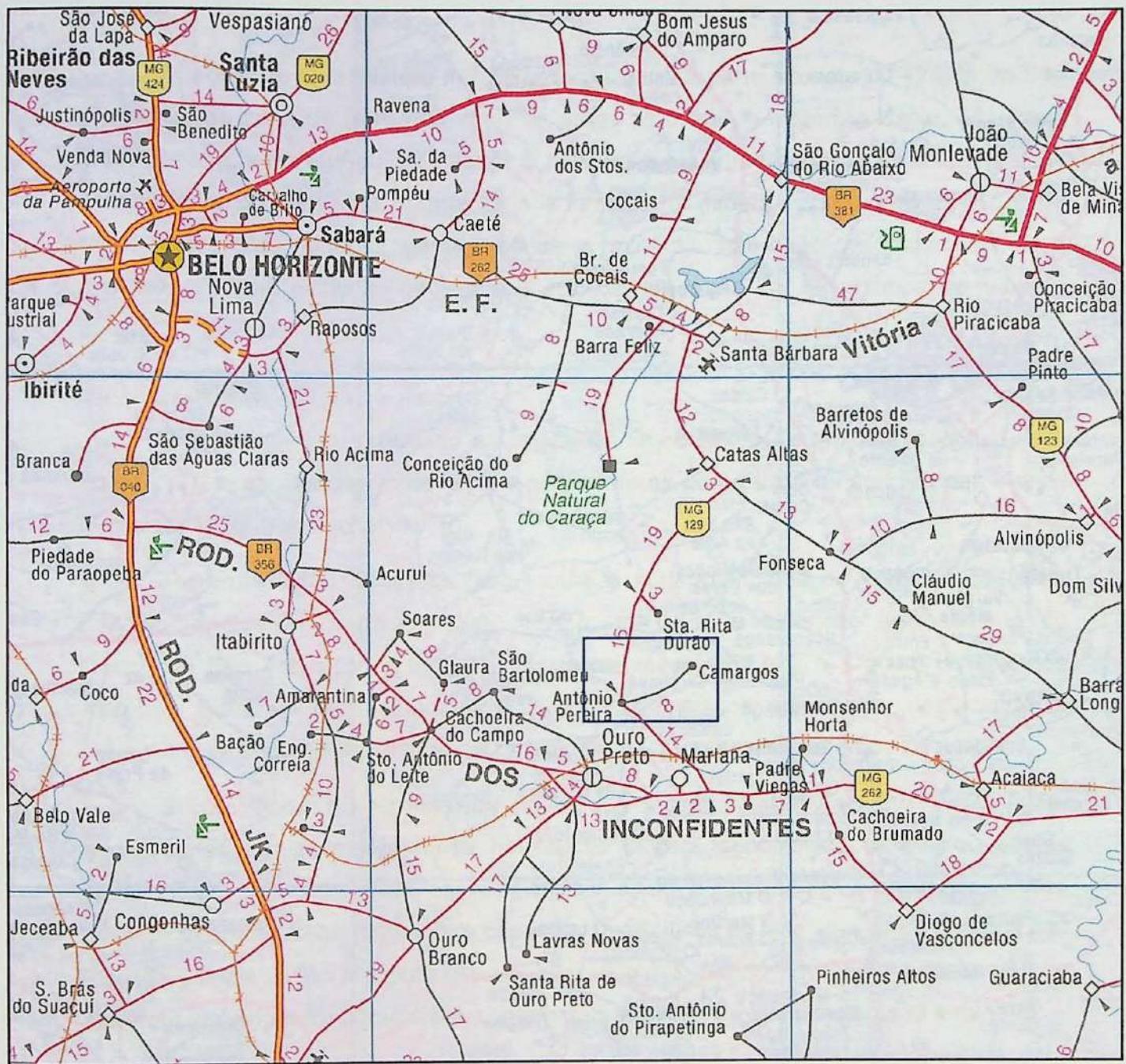
- Mapeamento geológico de semi-detalhe, 1:25.000, como contribuição regional e para a localização e caracterização litoestratigráfica e estrutural dos depósitos ferríferos das formações Cauê, Gandarela e Cercadinho;
- Levantamentos detalhados de perfis, em escala métrica, dos depósitos ferríferos e metassedimentos associados com amostragens para estudos laboratoriais mineralógicos, petrográficos e geoquímicos;
- Já na parte aplicada, foram realizados estudos laboratoriais mineralógicos, texturais e geoquímicos de minérios de ferro de ocorrências selecionadas em amostras volumétricas para caracterização de algumas de suas propriedades tecnológicas mais importantes, de qualidade e dos principais contaminantes.

Almejou-se, portanto, com este trabalho, além das contribuições científicas e tecnológicas já salientadas a preparação da aluna nas áreas de geologia précambriana, gênese e pesquisa de depósitos minerais com enfoque num dos principais recursos minerais do Brasil – os minérios itabiríticos de ferro – que, a mais de uma década apresentam procura e valorização econômica sempre crescentes pela indústria siderúrgica e do aço, mundialmente em expansão.

3 Localização e Vias de Acesso

A área de mapeamento geológico de semi-detalhe 1:25.000 é delimitada pelas coordenadas UTM 23K 656000 - 670000 e 7750000 - 7760000. Tem aproximadamente 140km² de extensão e pode ser alcançada a partir da cidade de Mariana pela estrada asfaltada MG-129: Mariana - Antônio Pereira - Santa Bárbara, que corta a sua parte sudoeste (Figura 2). O acesso às partes centrais é possível pela estrada de terra Mariana-Bento Rodrigues, que se inicia a 7km de Mariana, a partir da estrada asfaltada MG-129 para Antônio Pereira, na região da antiga Fazenda Gualaxo. A parte leste e nordeste da área é servida pela estrada de terra Mariana - Camargos, que se inicia na periferia da cidade de Mariana, no bairro D'el Rey, também a partir da estrada asfaltada MG-129, para Antônio Pereira. Mariana dista 118km de Belo Horizonte pelas estradas asfaltadas: BR-040 e Rodovia dos Inconfidentes.

A área de mapeamento é recortada por estradas municipais e estradas vicinais que servem às propriedades rurais e também, em toda sua extensão, por estradas de serviço das atividades de reflorestamento desenvolvidas pela CAF Santa Bárbara Ltda., que em muito facilitaram o acesso à parte central. Na parte oeste e noroeste, de propriedade da CVRD, também se contou com o apoio da Companhia para liberação do acesso às suas áreas.



4 Revisão Bibliográfica

Esta revisão foi elaborada em conjunto com o orientador e o aluno Gabriel Rossi (TF: 06/24):

A região do Quadrilátero Ferrífero, localizado na parte sudeste do Cráton do São Francisco, na zona de transição entre as áreas estáveis do cráton, a oeste, e a Faixa Móvel Ribeira, a leste (Figura 3), abriga a principal e mais tradicional província mineral do Brasil. Contando com uma grande variedade de bens minerais como ouro, minérios de ferro, manganês, minerais gema, rochas e minerais não-metálicos industriais, é o resultado de uma evolução geológica policíclica, arqueana até fanerozóica de mais de 3,4Ga.

4.1 Arqueano

O embasamento arqueano na região do Quadrilátero Ferrífero é constituído por domos TTG e seqüências metavulcâno-sedimentares do *greenstone belt* Rio das Velhas (Almeida, 1976; Schorscher, 1976).

4.1.1 Terrenos TTG: Gnaisses, migmatitos e metagranitóides de composições TTG (tonalito-trondjemito-granodioríticas) ocorrem em toda a extensão leste-sudeste do Cráton do São Francisco e também nas faixas móveis Ribeira e Araçuaí do Cinturão Atlântico. Sofreram retrabalhamentos tectono-metamórficos policíclicos, destacando-se um evento de metamorfismo regional dínamo-termal progressivo, de oeste para leste.

São as rochas mais antigas da região, datadas em $\geq 3,4$ Ga (Carneiro, 1992). Trata-se de rochas graníticas, *lato sensu*, hololeucocráticas a leucocráticas, pobres ou isentas de feldspato potássico, ricas em plagioclásio ácido a intermediário e quartzo. Esses terrenos foram as áreas fontes para depósitos quartzíticos da fase final do *greenstone belt* Rio das Velhas, Grupo Maquiné – Supergrupo Rio das Velhas – e somente neste período entraram em evidência como áreas continentais emergentes na evolução crustal arqueana.

Essas rochas são virtualmente estéreis em depósitos minerais metálicos, apenas sendo beneficiados para brita de construção.

4.1.2 Greenstone Belt Rio das Velhas: Suas rochas apresentam ampla distribuição regional, ocorrendo em toda a borda leste-sudeste do Cráton do São Francisco, variavelmente retrabalhadas em fácies xisto verde, anfibolito e até granulito, por eventos metamórficos arqueanos e proterozóicos superimpostos.

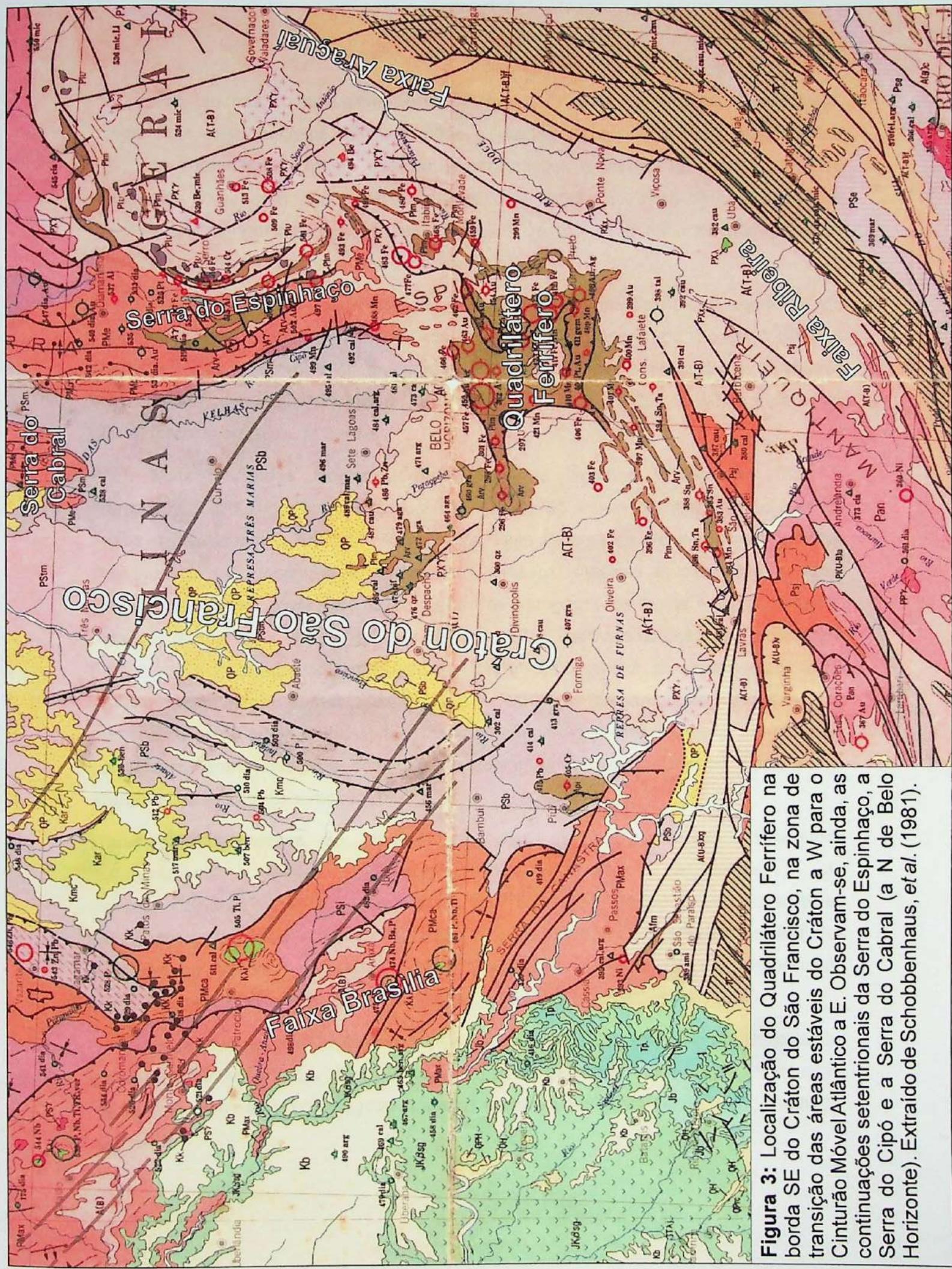


Figura 3: Localização do Quadrilátero Ferrífero na borda SE do Crátion do São Francisco, na zona de transição das áreas estáveis do Crátion a W para o Cinturão Móvel Atlântico a E. Observam-se, ainda, as continuações setentrionais da Serra do Espinhaço, a Serra do Cipó e a Serra do Cabral (a N de Belo Horizonte). Extraído de Schobbenhaus, et al. (1981).

São rochas metavulcâno-sedimentares de suma importância econômica, hospedeiras das principais mineralizações e jazidas de ouro do país, algumas em produção centenária. Também ocorrem mineralizações e jazidas de grande porte de manganês, como às de Conselheiro Lafaiete, hoje esgotadas, além de ocorrências de minerais gema (topázio imperial, esmeraldas) e de rochas e minerais não-metálicos industriais (rocha magnesiana, pedra sabão, talco).

No Quadrilátero Ferrífero, as seqüências metavulcâno-sedimentares do *greenstone belt* Rio das Velhas foram compreendidas no Supergrupo Rio das Velhas. A subdivisão litoestratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas e respectivos ambientes deposicionais, segundo Dorr (1969), Schorscher (1979a, b, 1980a, 1992) e Inda *et al.* (1984) foram resumidas na Tabela 1.

4.1.3 Metagranitóides Borrachudos: Corpos de Granitos Borrachudos (Dorr e Barbosa, A., 1963) formam o segundo maior grupo de rochas graníticas arqueanas na região do Quadrilátero Ferrífero. Petrograficamente trata-se de álcali-feldspato granitos com fluorita, hololeucocráticos, cinza-claros, grossos, maciços a levemente foliados, tipicamente marcados por uma forte lineação de agregados de biotita e outros minerais máficos, de orientação constante, leste-oeste até S70E, na parte nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Os metagranitóides Borrachudos foram formados por processos associados, tectono-metamórficos e metassomáticos, na fase final da orogênese arqueana do *greenstone belt* Rio das Velhas. Na evolução crustal regional précambriana, representam os primeiros granitóides potássicos que apareceram em corpos maiores na crosta siálica arqueana da região (Schorscher, 1992).

Datações de amostras de minerais e rochas de metagranitóides Borrachudos apresentaram idades amplamente variáveis, arqueanas até neoproterozóicas (Herz, 1970; Dussin *et al.*, 1997; Machado G. 1998) Entretanto, análises litoestruturais regionais indicam claramente a existência dos corpos de metagranitóides Borrachudos desde o Arqueano pela influência que exerceram na conformação sedimentar e tectônica dos depósitos paleoproterozóicos (Guimarães, M., 1992).

Sob aspectos metalogenéticos os metagranitóides Borrachudos são importantes pela anomalia geoquímica de berílio e as relações genéticas com jazidas de minerais gema desse elemento, como águas-marinhas e esmeraldas (Schorscher, 1992; Machado, G., 1998).

Tabela 1. Coluna estratigráfica simplificada e litologias principais do Supergrupo Rio das Velhas (Schorscher, 1991).

Super - Grupo	Grupo	Formação	Litologia	Ambiente Depositional	Espessura aprox. em metros
Cinturão de rochas verdes (Greenstone Belt) Rio das Velhas	Maquiné	Casa Forte	Quartzitos maciços e xistosos, sericíticos e cloríticos com níveis intercalações de sericita e clorita, xistos e filitos. Quartzitos, em parte cloríticos e sericíticos com lentes de conglomerados intraformacionais mono e polimíticos (seixos de <i>metachert</i>), BIF, quartzo de veio, quartzo xistos, filitos, metamáficas e metaultramáficas), com piritas detriticas e estratificação cruzada acanalada unidirecional, de porte decimétrico.	Depósitos tipo molassa: leques aluviais e quartzitos parálicos, flúvio-deltaicos.	>600
		Palmital	Sericita - quartzo xistos e filitos com micas verdes (cromíferas) às vezes grafitos e subordinadamente com pirita e magnetita. Lentes de quartzo e grauvacas.		~600 a ausente; ~ 1400 máx.
discordância angular e erosiva.					
Quebra Osso	Nova Lima	Indiviso	Filitos em grande parte cloríticos, clorita xistos, sericita xistos, metapelitos em geral, metagrauvacas máficas, metamáficas de origem vulcânica e subvulcânica , metaultramáficas, intercalações de formações ferríferas (BIF tipo Algoma) de fácies carbonática, sulfetada, oxídica com magnetita e silicática, formações manganesíferas, <i>metachert</i> ferrugínoso, xistos grafitos, dolomitos, quartzitos, raros conglomerados bimodais com seixos blocos de formação ferrífera em matriz metapelítica, estruturas de deformação gravitacional (<i>slumping</i> e <i>sliding</i>).	Predominam condições de águas profundas, depósitos tipo <i>flysch</i> , sedimentos químicos e atividades vulcânica e pós-vulcânica (hidrotermal - exalativa) subaquática.	>4000
		Indiviso	Metaultramáficas (komatiitos peridotíticos) efusivas, maciças e piroclásticas, metamórficas (f. xisto verde médio a anfibolito inferior), com raras intercalações de formações ferríferas (BIF tipo Algoma), <i>metachert</i> e tufos. Ocorrem derrames maciços com disjunção poliedral, guirlandas de <i>spinifex</i> e brechação nas partes basal e de topo; lavas brechadas, lavas almofadadas, <i>spinifex</i> , e rochas ultramáficas piroclásticas e afaníticas (ex-hialinas) e halo-clastitos.	Vulcanismo ultramáfico subaquático de komatiitos peridotíticos.	>600 máx.
Contatos tectônicos, por zonas de cisalhamento de altos ângulos, com migmatitos, gnaisses e metagranitóides TTG (tonalito-trondjemito-granodioríticos) arqueanos, em domos.					

4.1.4 Metalamprófiros Ultrabásicos e Ultrapotássicos: Formam um pequeno enxame de diques cortando metagranitóides TTG do domo de Santa Bárbara, na borda leste-nordeste do Quadrilátero Ferrífero, Schorscher (1992). São rochas raras, tratando-se da primeira ocorrência dessa natureza reconhecida num terreno arqueano TTG e granito-greenstone belt do Brasil. Na evolução geotectônica arqueana, foram atribuídos ao estágio de arco magmático maduro orogênico do greenstone belt Rio das Velhas.

4.1.5 Geocronologia: Datações de gnaisses, migmatitos e metagranitóides dos terrenos TTG e de xistos e anfibolitos do greenstone belt Rio das Velhas com os métodos Rb-Sr e K-Ar em minerais e rochas, mostraram idades neoarqueanas e paleoproterozóicas até Brasilianas (por exemplo, Herz, 1970; Teixeira, 1982, entre outros). Herz (1970) interpretou seus dados como relevantes das orogêneses dos ciclos Rio das Velhas - neoarqueana, Minas - paleoproterozóica superior, e Brasiliano - neoproterozóica superior a eopaleozóica; e as idades mesoproterozóicas, como causadas por reequilibrações isotópicas parciais de rochas mais antigas de terrenos policíclicos – sem significado geotectônico.

Thorpe et al. (1984) determinaram idades modelo Pb-Pb de cerca de 3,0Ga em galenas das mineralizações auríferas do distrito de Nova Lima. Uma integração atualizada das datações recentes das minas de ouro do greenstone belt Rio das Velhas foi elaborada por Abreu (2004), que confirma o predomínio de idades neoarqueanas.

Nos trabalhos de Machado N. et al. (1989a, 1993, 1996a, b), Carneiro (1992) e Carneiro et al. (1993), foram reportadas idades superiores a 3,4Ga em zircões de rochas *lato sensu* graníticas de terrenos TTG e em zircões detriticos em metassedimentos deles derivados.

Dos metagranitóides Borrachudos ainda faltam datações confiáveis. As idades reportadas por diversos autores variam de arqueanas até neoproterozóicas (Herz, 1970; Dussin et al., 1997; Machado, G. 1998). Assim, caracteriza-se para a região do Quadrilátero Ferrífero, uma evolução policíclica, que causou reequilibrações e rejuvenescimentos isotópicos sucessivos, parciais a totais dos principais sistemas isotópicos usados em geocronologia: Rb-Sr, K-Ar, Pb-Pb e Sm-Nd. Foi em consequência dessa evolução, que as datações pioneiras de Hurley (1961) resultaram em idades aparentes mesoproterozóicas a neoproterozóicas de virtualmente todas as rochas TTG e dos metagranitóides Borrachudos, induzindo Dorr e Barbosa (1963) e Dorr (1969) a

considerar as rochas graníticas em geral, como intrusivas ígneas e as rochas précambrianas mais jovens da região do Quadrilátero Ferrífero.

4.2 Paleoproterozóico

As seqüências itabiríticas do Supergrupo Minas já foram identificadas por Harder & Chamberlin (1915) como perfeitamente comparáveis com unidades análogas algonquianas da região canadense do Lago Superior e são hoje em geral aceitas como paleoproterozóicas, típicas, sob todos os aspectos sedimentológicos e geocronológicos, desta era da evolução crustal global. Já as seqüências quartzito-conglomeráticas do Supergrupo Espinhaço e da Série Itacolomí (Guimarães, D., 1931; Dorr, 1969; Costa & Romano, 1976), também designadas na literatura e nos mapeamentos existentes como Formação Quartzito Cambotas do Grupo Tamanduá, Grupo Maquiné, Grupo Caraça e Série (ou Grupo) Itacolomí, continuam controvertidamente interpretadas como arqueanas (Simmons e Maxwell, 1961), paleoproterozóicas (Harder e Chamberlin, 1915; Pflug, 1965, 1968; Dorr, 1969; Schorscher, 1975; Inda *et al.*, 1984; CPRM/COMIG, 2003, entre outros), mesoproterozóicas (Torquato, 1976; Almeida-Abreu, 1993; Schobbenhaus, 1993; Martins-Neto, 1998; Almeida-Abreu & Renger, 1999, 2002, entre outros) e neoproterozóicas (Derby, 1905; Almeida, 1967, 1977; Uhlein, 1991, entre outros).

A recém definida Seqüência da Serra da Boa Vista, anteriormente atribuída ora ao Grupo Caraça (Dorr, 1969), ora ao Grupo Maquiné (Barbosa, 1969; Dorr, 1969; Maxwell, 1972) se destaca das demais pelas numerosas mineralizações de ouro e foi considerada como uma associação de litofácies própria, de idade paleoproterozóica (Luchesi & Schorscher, 1989, 1990; Luchesi, 1991; Schorscher, 1992).

Assim, as seqüências do Supergrupo Espinhaço, do Grupo Itacolomí e da Serra da Boa Vista são problemáticas quanto à idade, posição e correlação estratigráfica. Tanto a diversidade dos nomes em uso, quanto às interpretações antagônicas de ocorrências individuais por autores diferentes, claramente revelam as controvérsias e as polêmicas científicas existentes.

4.2.1 Supergrupo Minas: Dorr *et al.* (1957) e Dorr (1966, 1969) definiram a estratigrafia da Série Minas no Quadrilátero Ferrífero, adotada pelo projeto DNPM-USGS e que foi, por longo tempo, mantida como subdivisão tipo desta Série na Geologia do Brasil. A coluna estratigráfica de Dorr (1969), com as litologias principais, foi reproduzida na Tabela 2 do Grupo Caraça (inferior) até o Grupo Itacolomí (superior), com modificações menores segundo Schorscher (1992).

Tabela 2. Coluna estratigráfica simplificada e litologias principais do Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969) com modificações de Schorscher 1992.

Minas	Super-Grupo	Grupo	Formação	Litologia	Ambiente Depositional	Espessura aprox. em metros
	Itacolomi	Indiviso		Ortoquartzitos, quartzitos, filitos quartzosos, filitos, quartzitos c/ seixos e conglomerados	Molassa parálico	>1000 ?
Discordância angular e erosiva						
	Sabará	Indiviso		Clorita xistos, filitos cloríticos, metatufo, grauvacas, conglomerados, quartzitos e itabiritos	Flysch eugeossinclinal	>3000
Discordância angular e erosiva local e regional						
	Piracicaba	Fecho do Funil	Tabões	Filitos e filitos grafíticos	Sedimentos de cobertura de shelf estável	150 local-tipo
	Cercadinho	Fecho do Funil	Barreiro	Ortoquartzitos	"	125 local-tipo
	Discordância angular e erosiva local					
	Itabira	Gandarela	Cauê	Dolomitos*, calcários, itabiritos, dolomíticos, xistos dolomíticos e itabiritos manganesíferos, filitos, itabiritos e xistos verdes	"	~ 600 máx. a ausente
	Caraça	Batatal		Itabiritos, itabiritos dolomíticos, filitos, dolomitos e xistos verdes	"	~ 500 máx. a < 50 min.
	Moeda			Filitos, filitos grafíticos, <i>metachert</i> e itabiritos	"	~ 250 máx. a ausente
Contato basal tectônico de <i>nappes</i> com litologias dos supergrupos Espinhaço e Rio das Velhas e rochas TTG <i>sensu lato</i> graníticas arqueanas						

* com brechas intraformacionais

** com pirita detritica

Dorr (1969) incluiu, ainda, o Grupo Tamanduá na base da Série Minas, subdividido na Formação Quartzito Cambotas (basal) – de depósitos arenosos e conglomeráticos marinhos costeiros – e Formação Superior (sem nome formal) – de xistos diversos, filitos, formações ferríferas restritas e mica quartzitos. Schorscher (1975, 1980a, 1992), Schorscher & Guimarães (1976) e Schorscher *et al.* (1982) mostraram que a Formação Quartzito Cambotas no local tipo representa quartzitos e metaconglomerados das formações Sopa Brumadinho e Galho do Miguel do Supergrupo Espinhaço. Já a Formação Superior (sem nome formal) do Grupo Tamanduá representa um pacote de milonito-xistos de protólitos diversos do Grupo Nova Lima, arrastados em zona de falha de baixo ângulo sobre as rochas do Supergrupo Espinhaço, no mesmo local tipo (na parte sul da Serra das Cambotas). Schorscher (1975, 1992), Schorscher e Guimarães (1976), Schorscher *et al.* (1982) e Inda *et al.* (1984) excluíram o Grupo Tamanduá, porém, incluíram duas outras unidades na base do Supergrupo Minas, denominadas Seqüência de Paragnáisses e Seqüência de Xistas Verdes, que observaram no Distrito Ferrífero de Itabira (Tabela 3). Também sugeriram a verificação e individualização da Formação Sabará, como Grupo Sabará, tendo em vista suas características petrográficas vulcâno-sedimentares e geotectônicas sinorogênicas e, portanto, drasticamente diferentes e incompatíveis com as demais formações do Grupo Piracicaba de shelf estável em lenta subsidência.

Sob aspectos metalogenéticos destacam-se as unidades:

Grupo Caraça: Abriga na Formação Moeda (inferior), em metaconglomerados monomíticos de tipo *quartz pebble conglomerates*, auríferos, uraníferos e com piritas detriticas, consideráveis reservas de ouro, já lavradas e esgotadas em superfície por garimpos e pequenas minerações. Hoje exigiria lavra subterrânea para sua produção, que ainda não foi viabilizada.

A Formação Batatal (superior) de filitos grafitosos, filitos carbonáticos, carbonatos e *BIF* restritos, formada em ambientes de baixa energia e de elevada produção orgânica, é a unidade hospedeira da mineralização de ouro da mina de Passagem de Mariana (hoje sem produção – turística) em xistos grafitosos turmalinizados e sulfetados (Fleischer, 1971; Fleischer & Routhier, 1973; Vial, 1988).

Grupo Itabira: A Formação Cauê (inferior) de itabiritos (*BIF* tipo Lago Superior) quartzo-hematíticos com teores variáveis de magnetita e dolomita, abriga virtualmente a totalidade

Tabela 3. Coluna estratigráfica simplificada e litologias principais do Supergrupo Minas no Distrito Ferrífero de Itabira (Schorscher, 1975, Schorscher & Guimarães, 1976, Inda *et al.*, 1984).

Super - Grupo	Grupo	Formação	Litologia	Ambiente Depositional	Espessura aprox. em metros
Parte superior da seqüência Minas incompleta devido à erosão.					
Minas	Piracicaba	Cercadinho	Sericita xisto e quartzitos, frequentemente ferruginosos, <i>metachert</i> e itabiritos pobres	<i>shelf</i> em subsidênciâa.	>300
	Itabira	Cauê	Itabiritos pobres a ricos, raramente carbonáticos, hematita rica, intercalações finas de filitos e metatufo (tufitos maficos). Níveis de retrabalhamento sinsedimentar	Antiformal no <i>shelf</i> .	~ 500 máx. a < 50 mín.
	Caraça	Indiviso	Muscovita - quartzo xisto, quartzitos finos e micáceos	<i>shelf</i>	~ 50
	Seq. de Xistos Verdes	Indiviso	Clorita quartzo plagioclásio biotita muscovita carbonato anfibólito xistos; intercalações finas de quartzitos e turmalinitos; sulfetos disseminados. Topo da seq. grafitoso, base mais arenosa	<i>shelf</i> sujeito a intensa atividade vulânica.	< 500
	Seq. de Paragnasses	Indiviso	Metagrauvacas, metarcóseos, paragnasses com intercalações de muscovita quartzo xistos, quartzitos micáceos, clorita e/ou biotita quartzo xistos, calcissilicáticas e <i>white schists</i>	Sedimentos fluviais a lacustrinos de <i>rift</i> ativo.	< 1500
Discordância angular e erosiva regional profunda					
Embasamento Arqueano	Indiviso	Indiviso	Migmatitos, gnaisses metatéticos, granulitos, anfibolitos polimetamórficos e metagranitóides		

das reservas de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero, além de mineralizações e depósitos de manganês nos itabiritos dolomíticos (ex.: mina Conta História) e de ouro paladiado, localmente muito ricos, em jacutingas (ex.: nas minas Gongo Sôco, Cauê e Conceição).

A Formação Gandarela, sobreposta, com contato gradacional à Formação Cauê hospeda as principais mineralizações e jazidas de manganês do Quadrilátero Ferrífero (ex.: mina Miguel Congo na região de Antônio Pereira). Os corpos de carbonatos dolomíticos (predominantes) e calcíticos são lavrados para corretivos de solos, aditivos de siderurgia e mármores ornamentais.

Grupo Piracicaba: Apresenta, excetuando-se a Formação Sabará, principalmente mineralizações de minerais e rochas industriais, como cianita, pirofilita, filito (“superfilito”) e ortoquartzito muito puro para refratários e construção civil.

4.2.2 Supergrupo Espinhaço: Forma a serra quartzítica homônima que se estende continuamente do Quadrilátero Ferrífero para norte, por mais de 1000km, atravessando todo o Estado de Minas Gerais até a Bahia (Eschwege, 1817, 1822, 1832). Em Minas Gerais atinge sua maior expressão na região de Diamantina. O Supergrupo Espinhaço é famoso pelas ricas ocorrências de diamantes nos metaconglomerados polimíticos, da Formação Sopa Brumadinho, da região de Diamantina (MG) e da Série Lavras, na Chapada Diamantina (BA). A estratigrafia do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais é baseada em Pflug e colaboradores (Pflug, 1965; 1968; Pflug & Renger, 1973; Schöll & Fogaça, 1979) (Tabela 4).

Para sul, nas extremidades meridionais da Serra do Cipó e Quadrilátero Ferrífero, o Supergrupo Espinhaço fica mais restrito e descontínuo, reduzido às três formações inferiores e aparece, ainda, uma unidade basal de xistos verdes pouco espessa (métrica a decamétrica) correlacionada por Schorscher (1973, 1992) às litologias semelhantes da Seqüência de Xistos Verdes do Distrito Ferrífero de Itabira (Tabela 5, cf. Tabelas 3 e 4). No Quadrilátero Ferrífero as estruturas quartzito-metaconglomeráticas do Supergrupo Espinhaço de maior expressão são aquelas das serras Cambotas, Caraça, do Pinho e Ouro Branco (Schorscher, 1980a).

Os principais recursos minerais do Supergrupo Espinhaço são os diamantes, que ocorrem com distribuição regional irregular nos conglomerados da Formação Sopa Brumadinho.

Tabela 4. Coluna estratigráfica simplificada e litologias principais do SGr. Espinhaço na região de Diamantina (modificada de Pflug, 1968).

Série	Formação	Litologia	
Minas	Rio Pardo Grande	Filitos em parte ricos em ferro e manganês com bancos de quartzitos e dolomitos.	5000 m
	Córrego Pereira	Semelhante à Fm. Córrego dos Borges. Filitos, siltitos, lentes de quartzitos?	4000 m
	Córrego da Bandeira	Quartzitos puros às vezes micáceos, raras brechas intraformacionais.	
	Córrego dos Borges		
	Santa Rita	Filitos e siltitos intercalados.	3000 m
	Galho do Miguel	Ortoquartzitos de granulação variável; intercalações de filitos são raras. Estratificação cruzada de grande porte (dunas eólicas) muito frequente.	2000 m
	Sopa Brumadinho	Quartzitos, filitos, lentes de conglomerados poli e monomíticos, brechas quartzíticas, filitos hematíticos.	1000 m
	São João da Chapada	Ortoquartzitos com seixos isolados na parte basal; estratificação cruzada de pequeno porte abundante.	
	Indiviso	Migmatitos, gnaisses, granitos intrusivos, anfibolitos, filitos, micaxistas, quartzitos, B/F, de associação TTG e granito-Greenstone Belt, arqueana.	0 m
Pré - Minas			

Tabela 5. Coluna estratigráfica simplificada e litologias principais do Supergrupo Espinhaço das extremidades meridionais da Serra do Espinhaço na Serra do Cipó e no Quadrilátero Ferrífero (Schorscher 1975, 1992).

Super-Grupo	Grupo	Formação	Litologia
As formações superiores do Supergrupo Espinhaço não foram encontradas nas extremidades meridionais da Serra do Espinhaço; faltam devido a não-deposição e/ou erosão.			
Espinhaço		São João da Chapada	Ortoquartzitos puros com mega-estratificações cruzadas (altura até >10m e extensão até >100m), localmente com delgadas lâminas de sericita xistos nos planos de acamamento.
		Sopá Brumadinho	Quartzitos as vezes ferruginosos, grosseiros a finos, micáceos ou não, com níveis de filitos/xistos sericíticos intercalados e lentes de conglomerados localmente diamantíferos oligomíticos (fácies Altamira, com seixos de quartzo de veio e quartzito) e polimíticos (seixos de itabiritos pobres e ricos em ferro, quartzitos, metachert e muito raros seixos de rochas graníticas do embasamento).
	Seqüência de Xistos Verdes	Indiviso	Quartzitos micáceos ou não, às vezes conglomeráticos ou com seixos esparsos na parte basal da sequência (seixos de quartzo de veio, quartzito, filitos/xistos) filitos e filitos hematíticos em níveis intercalados.
Arqueano indiviso			Clorita actnolita albita quartzo, quartzo clorita, quartzo clorita sericita e sericita quartzo xistos/filitos derivados de tufos, tufitos e vulcanitos (?) maficos a ácidos subordinadamente, xistos e filitos metapelíticos grafitosos e xistos metapelíticos com cloritoide.
			Discordância angular e erosiva.
			Embasamento arqueano: terrenos TTG em domos e seqüência meta-vulcanossedimentar do greenstone belt Rio das Velhas.

Há, ainda, nas formações São João da Chapada e Sopa Brumadinho mineralizações de ouro menores em quartzo filitos, xistos e veios de quartzo piritosos, cristais de quartzo (incolor, fumée e ametista) em veios e a própria areia de ortoquartzitos intemperizados da Formação Galho do Miguel é lavrada para formas de fundição. Da Serra das Cambotas foi descrita a ocorrência de diamantes por Gorceix (1885), não sendo conhecidas mineralizações de ouro nos quartzitos e metaconglomerados do Supergrupo Espinhaço no Quadrilátero Ferrífero.

4.2.3 Grupo Itacolomí: A Série, respectivamente, o Grupo Itacolomí foram definidos com base na seção-tipo do pico homônimo, seguindo duas linhas interpretativas. Por Derby (1906), como série própria, mais jovem e sobreposta a Serie Minas com contato por discordância angular e erosiva profunda. Guimarães, D. (1931), Barbosa, O. (1949), Barbosa, A.. (1969) e Dorr (1969) seguiram nessa linha e subdividiram a Série Itacolomí ainda em duas fácies, uma de quartzitos e metaconglomerados sendo o Itacolomí típico e a segunda, predominantemente filítica a xistosa, denominada de fácies Santo Antônio. Em seus mapeamentos regionais Dorr (1969) e Barbosa A. (1969) estenderam esse conceito, além do local tipo, para as serras de quartzitos e metaconglomerados do Pico da Bandeira (na região de Congonhas), do Ribeiro e do Salto (na região de Lavras Novas, a sudoeste de Ouro Preto), assim como do Pico do Frazão e outras estruturas menores na região de Antônio Pereira, a noroeste e norte de Mariana. Diferentemente, Harder e Chamberlin (1915) e seguindo-os, Schorscher (1992), incluíram as rochas do perfil-tipo do Pico Itacolomí como unidade de topo da Série, respectivamente, do Supergrupo Minas, classificando-a na como formação e grupo (Tabela 2). As rochas Itacolomí foram consideradas quanto à tecto-fácies como depósitos orogênicos de tipo molassa derivados de protólitos arenosos e silto-pelíticos depositados em ambiente parálico costeiro (Dorr, 1969).

4.2.4 Seqüência da Serra da Boa Vista: A seqüência quartzito-metaconglomerática aurífera da Serra da Boa Vista foi estudada por Luchesi (1991) por abrigar antigas explorações de ouro, incluindo a histórica mina Quebra Osso (Ferrand, 1892; Moraes e Barbosa, 1939). Garimpos abandonados ou ainda ativos são encontrados desde a região tipo, passando por Catas Altas, Santa Rita Durão, Bento Rodrigues até Camargos, na região de mapeamento 1:25.000 desse Trabalho de Formatura.

A evolução litoestratigráfica, as litologias principais e os ambientes deposicionais no local tipo segundo Luchesi (1991) são apresentados na Tabela 6. Na parte basal ocorrem dois leitos conglomeráticos de continuidade variável, ricos em pirita detritica e de composição praticamente monomítica. Os seixos e grânulos são, com poucas exceções, quartzitos puros de recristalização grossa – *metacherts*. Seixos deste tipo são comuns, tanto nos metaconglomerados Sopa Brumadinho, por exemplo, no Distrito de Florália, nordeste do Quadrilátero Ferrífero, quanto naqueles da parte basal do Grupo Itacolomí, no perfil-tipo do Pico Itacolomí e na Serra de Ouro Branco.

Os metaconglomerados da Seqüência da Serra da Boa Vista apresentam matriz sericítico-quartzítica, localmente fuchsítica, e encaixam um horizonte descontínuo filítico, xistoso a quartzítico, piritoso, localmente grafitoso, fuchsítico e com finas lentes e níveis de formações ferríferas (centimétricas a decimétricas) – da mineralização de ouro. O ouro isento de paládio e com teores de prata bastante variáveis ocorre ainda, porém subordinadamente, na parte basal do nível metaconglomerático superior, caracterizando uma mineralização de tipo *paleoplacer* modificado.

A parte superior da seqüência é constituída por quartzitos finos puros até fracamente micáceos de cor branca. Localmente, ocorrem estratificações cruzadas de portes pequenos (centimétricas), finas camadas filíticas e, ainda, raros leitos ferruginosos pela alteração de piritas.

Luchesi (1991) concluiu que a seqüência quartzito-metaconglomerática da Serra da Boa Vista apresenta uma evolução de fácies de rios entrelaçados na base, a marinha costeira de baixa energia. A seqüência teria sido depositada no Paleoproterozóico, num intervalo de tempo em que as condições do ambiente deposicional já variaram de redutoras com pirita detritica, para oxidantes com a deposição de finas camadas de *B/F* de fácies óxido com hematita. No quadro geológico regional Luchesi interpretou a Seqüência da Serra da Boa Vista – que assim formalmente denominou – no contexto das seqüências paleoproterozóicas principais, dos Supergrupos Minas e Espinhaço, como um membro de fácies transicional entre os mesmos, formada em um ambiente deposicional regionalmente limitado. Quanto aos trabalhos anteriores, cabe destacar que já Moraes & Barbosa (1939), em seu trabalho pioneiro sobre a Mina Quebra Osso, correlacionaram essa seqüência àquela da Serra do Caraça, adjacente imediatamente a oeste, como Série Itacolomí. Nesta mesma área tipo, Simmons (1968) e Dorr (1969) consideraram a seqüência da Serra da Boa Vista como Formação Moeda do Grupo Caraça, Sgr. Minas.

Tabela 6. Coluna estratigráfica simplificada: Litologias principais e ambientes deposicionais da Seqüência da Serra da Boa Vista (Luchesi, 1991)

Unidade	Membro	Litologia	Ambiente Deposicional	Espessura
Seqüência Serra da Boa Vista	Quartzitos Serra da Boa Vista	Quartzitos puros brancos, quartzitos microconglomeráticos por vezes sericíticos, quartzitos ferruginosos, quartzo mica xistos. Níveis com estratificação cruzada decimétrica. Níveis filíticos mais freqüentes na porção sul da Serra da Boa Vista.	Subaquático raso.	~300 m
	Metaconglomerados E / W	Metaconglomerado W em lentes descontínuas com estratificação gradacional normal; metaconglomerado E em nível contínuo. Seixos de <i>metachert</i> em matriz sericita, muscovita quartzítica. Pirita detritica localmente abundante. Minerais pesados: pirita, rutilo e zircão.	<i>Braided alluvium</i>	W: Ausente a 60 m E: 20 a 80m
	Unidade Aurífera da Mina Quebra Osso	Quartzitos micáceos, quartzo - mica xistos, filitos com intercalações centimétricas de <i>metachert</i> e BIF's pobres; presença de pirita abundante em parte oxidada, grafita e fuchsita; unidade descontínua.	Distal, redutor	máximo: 30m
	Metaconglomerado Basal	Metaconglomerado lenticular, descontínuo; seixos de <i>metachert</i> ; matriz sericita quartzítica, localmente com fuchsita. Presença de pirita. Aspecto milonítico.	<i>Fan Aluvial</i>	Ausente a ~10m
	Quartzitos / Filonitos do Contato	Quartzito, quartzito sacaroidal e ferruginoso +/- micáceo; descontínuos no contato W; equivalentes a filonitos no contato E.	Proximal e Distal	0,5 - 8m
Contato tectonizado com Grupo Quebra Osso na porção W e contato tectônico por falha inversa, de alto ângulo, na porção E.				

As continuações regionais da Seqüência da Serra da Boa Vista, nas quadrículas Catas Altas e Santa Rita Durão, foram mapeadas por Dorr (1969) e Maxwell (1972) ora como Formação Moeda, ora como Grupo Maquiné. Na Quadrícula Antônio Pereira, Barbosa, L. (1969) identificou a continuação da seqüência como "Maquiné(?) incerto. Luchesi (1991), e posteriormente como geólogo da Mineração São Bento, verificou a continuidade litoestratigráfica, estrutural e metalogenética da Seqüência da Serra da Boa Vista na Quadrícula Catas Altas; no mapeamento regional 1:25.000 deste trabalho, foi confirmada também nas quadrículas Santa Rita Durão e Antônio Pereira.

4.2.5 Metabasitos e Anfibolitos: São rochas de protólitos basálticos a andesíticos tholeiíticos continentais, subvulcânicos, que cortam na forma de diques e *sills* todos os conjuntos metassedimentares paleoproterozóicos acima descritos, além das rochas do embasamento arqueano. São muito comuns no Supergrupo Espinhaço, como intrusivas intraformacionais, cortando, até inclusive, a Formação Galho do Miguel. Também cortam o Grupo Itacolomí e a Seqüência da Serra da Boa Vista, entre outras, na área de estudo. No Supergrupo Minas são conhecidos em diferentes minas de ferro da CVRD e MBR, por exemplo, nas minas do Cauê e do Pico, entre outras. Nos trabalhos de geologia de mina da CVRD foram mapeados como "intrusivas" e, principalmente quando intemperizados, exigem cuidados especiais na mineração: representam contaminantes dos minérios de ferro e podem causar a instabilidade de taludes.

Geotectonicamente, essas rochas pertencem ao ciclo Minas/Espinhaço, representando seu magmatismo sinorogênico inicial, básico a intermediário, vulcânico e subvulcânico. Sofreram a orogênese final deste ciclo e foram transformadas, adquirindo paragêneses e foliação progressivas, inicialmente em metabasitos e, a partir do grau médio, em anfibolitos típicos de metamorfismo regional dínamo-termal progressivo (Guimarães D. 1933; Guimarães M. 1992; Schorscher, 1992).

4.2.6 Geocronologia: Datações da orogênese do Supergrupo Minas desde Herz (1970), principalmente em minerais e rochas policíclicas granito-gnáissicas e anfibolitos do embasamento arqueano, indicaram 2,2-1,8Ga. Apenas recentemente foram obtidas datações em rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, inicialmente por Babinski *et al.* (1991), em metacarbonatos com estromatólitos da pedreira Cumbe (perto da vila de Cachoeira do Campo) da Formação Gandarela, Grupo Cauê, de aproximadamente 2,4Ga. Essas datações confirmaram plenamente as evidências geológicas quanto à idade paleoproterozóica incontestável do Supergrupo Minas.

Para as seqüências quartzito-metaconglomeráticas do Supergrupo Espinhaço, também atribuídas ao Grupo Tamanduá, como Formação Quartzito Cambotas (Dorr, 1969) ou, ainda, ao Grupo Caraça do Supergrupo Minas e ao Grupo Itacolomí (COMIG/CPRM, 2003), os trabalhos mais recentes de datação de zircões detriticos (Machado, N. et al., 1989a, b; Machado, N. et al., 1993; Machado, N. et al. 1996a; Machado, N. et al., 1996b) assumiram um papel muito importante. Documentaram idades e proveniências idênticas para todas essas seqüências; idênticas, ainda, aos zircões detriticos do Supergrupo Minas. Os zircões detriticos mais antigos apresentaram idades e fontes arqueanas (de até >3Ga), e os mais recentes, idades paleoproterozóicas (~2,15Ga), tanto para a Formação Quartzito Cambotas, o Grupo Itacolomí e os supergrupos Espinhaço e Minas. As datações foram efetuadas em rochas do Pico do Itacolomí, Serra do Caraça, Serra das Cambotas, Serra de Ouro Branco e de todos os grupos do Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero. Essas datações confirmaram, portanto, as estruturas de Quartzito Cambotas como continuações do Supergrupo Espinhaço no Quadrilátero Ferrífero (cf. Moore, 1969) e também a correlação dos supergrupos Minas e Espinhaço como equivalentes laterais de fácies coevais, paleoproterozóicos (cf. Harder e Chamberlin, 1915; Pflug, 1968; Schorscher 1975, 1980c, 1992).

Das rochas da Seqüência da Serra da Boa Vista, ainda não foram publicadas datações específicas, e as datações de diques metabásicos de metamorfismo regional progressivo, intrusivos no Supergrupo Minas e nas seqüências quartzito-metaconglomeráticas em geral (Supergrupo Espinhaço, Grupo Tamanduá, Grupo Itacolomí), ainda são pouco conclusivas, variando de >2.1 até aproximadamente 0,8Ga (Teixeira, 1982; Teixeira et al., 1990).

4.3 Meso e Neoproterozóico

Até o presente, não são conhecidos da região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, depósitos metassedimentares mesoproterozóicos. Interpretações do Supergrupo Espinhaço nesse sentido (Brito Neves et al., 1979; Almeida Abreu & Renger, 2002, entre outros) e/ou até como neoproterozóico (Uhlein, 1982) carecem de confirmações. A luz dos dados geológicos são menos prováveis.

Vestígios metassedimentares neoproterozóicos também faltam na área do Quadrilátero Ferrífero, na zona de transição e do Cinturão Móvel Atlântico, a leste do Cráton do São Francisco. Os mais próximos são os depósitos do Supergrupo São

Francisco, grupos Macaúbas e Bambuí, a oeste e noroeste do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Espinhaço meridional (Figuras 1 e 3).

Porém, ocorrem por toda a extensão do corpo principal e nos terrenos adjacentes a leste da Serra do Espinhaço meridional, incluindo a Serra do Cipó e o Quadrilátero Ferrífero, metabasitos coronitizados termometamórficos derivados de tholeítos continentais em diques e pequenas intrusões, enfileirados em zonas de fraturas regionais reativadas (de direções noroeste, nor-noroeste, norte-sul e leste-oeste). Estes metabasitos apresentam texturas microgálicas ofíticas até subofíticas ígneas bem preservadas e não foram afetados pelos processos metamórficos regionais dinamotermais progressivos da orogênese do Supergrupo Minas. São isentos de qualquer foliação penetrativa, assim, apresentando paragêneses termometamórficas sem deformações orogênicas associadas. As texturas metamórficas são de coronização em zonas de reação seguindo as bordas de grãos entre plagioclásio, olivina, ortopiroxênio e os minerais opacos titanomagnetita e/ou ilmenita. Trata-se de coronas complexas, formadas de anfibólio actinolita, clinozoisita-epidoto, granada cárnea incolor a amarelada e biotita. Os plagioclásios magmáticos adquiriram a típica turbidez (*clouding*) por exsoluções submicroscópicas de coríndon e nos estados mais avançados iniciaram a recristalização poligonal (cf. Spry, 1969).

O magmatismo desses metabasitos foi interpretado como da fase generativa, da instalação e início da subsidência da bacia deposicional intracontinental do Supergrupo São Francisco do Ciclo Brasiliense, mesoproterozóico superior a neoproterozóico, nas partes internas estáveis do Cráton do São Francisco meridional, a oeste da Serra do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero (Figuras 1 e 3). A coronização termometamórfica dos metabasitos sem deformação orogênica compressiva associada seria uma evidência da natureza geotectônica, sem processos colisionais maiores, do evento tectono-termal final do ciclo Brasiliense (Schorscher, 1992).

4.4 Fanerozóico

As rochas fanerozóicas na região do Quadrilátero Ferrífero compreendem basaltos mesozóicos, sedimentos flúvio-lacustres mio-pliocênicos e produtos de intemperismo plio-pleistocênicos (os últimos designados na literatura regional mais antiga como terciários e quaternários). São, em geral, raras e de expressão regional restrita, com exceção das crostas e chapadas de canga, relacionadas e importantes no contexto dos minérios de ferro do Grupo Itabira, Supergrupo Minas.

Os basaltos mesozóicos ocorrem preferencialmente em diques de espessuras métricas até decamétricas, associados às mesmas falhas e fraturas regionais reativadas, de direções noroeste, nor-noroeste, norte-sul e leste-oeste, que também controlaram a intrusão dos metabasitos microgábricos coronitizados (mesoproterozóicos). São basaltos até andesitos de filiação tholeítica continental com texturas intersertais até hialopilíticas, relacionados ao magmatismo da Bacia do Paraná e a abertura do Atlântico Sul. As datações existentes se agrupam na faixa de 80 a 90 Ma (revisões em: Guimarães M., 1992; Schorscher, 1992).

Sedimentos flúvio-lacustres mio-pliocênicos ocorrem em bacias sedimentares continentais restritas, a exemplo das bacias de Fonseca e Gandarela. A primeira, contém sedimentos areno-argilosos, entre esses, folhelhos papiráceos com rico inventário de fósseis de plantas (Sant'Anna & Schorscher, 1997) e a segunda apresenta inclusive depósitos biogênicos de linhito (Lima & Salard-Cheboldaeff, 1981; Pinto & Pares-Regalli, 1991).

Ainda na região leste e sudeste do Quadrilátero Ferrífero encontram-se vastos depósitos de canga, sendo conglomerados ferruginosos de cor marrom escura com seixos, calhaus e blocos subarredondados até angulosos de itabiritos e minérios hematíticos de ferro, quartzito e quartzo em matriz arenosa a argilosa ferruginosa. Dadas as suas formas sedimentares tabulares, extensões e mapeabilidade, Sant'Anna & Schorscher (1997) e Sant'Anna *et al.* (1997) definiram as áreas de maior extensão desses conglomerados como a Formação Chapada de Canga, de idade incerta, terciária a quaternária. Essa formação é representativa de um sistema de leques aluviais associados lateralmente a planícies de rios entrelaçados, sob influência tectônica e condições semi-áridas, tendo como área-fonte as estruturas de rochas ferríferas e carbonáticas do Grupo Itabira do Supergrupo Minas (cf. Mello *et al.*, 2000). Depósitos de cangas têm importância no contexto desse trabalho como coberturas das formações ferríferas e rochas associadas, dificultando os trabalhos de mapeamento geológico e também, como um potencial subgrupo de minérios de ferro.

4.5 Evolução Orogenética Policíclica do Quadrilátero Ferrífero

Essa evolução iniciou-se com a formação das mais antigas rochas encontradas nos terrenos TTG arqueanos, há mais de 3,4 Ga. No entanto, dois eventos orogenéticos foram os mais marcantes: a orogênese Rio das Velhas, neoarqueana, e a orogênese do ciclo Minas-Espinhaço, paleoproterozóica superior. A atuação, nessa região, de uma

orogênese mesoproterozóica Uruaçuana, é duvidosa. A mais recente orogênese foi do final do Ciclo Brasiliano, de idade neoproterozóica a eopaleozóica.

4.5.1 Terrenos TTG Arqueanos: As rochas dos terrenos TTG, as mais antigas da região, apontam, por suas características geológicas e petrográficas, para processos de anatexia regional generalizados, em níveis médios a profundos da crosta arqueana. Embora quantitativamente os mais importantes para a formação da crosta siálica arqueana continuam pouco conhecidos e não podem ser atribuídos a uma orogênese definida. Mundialmente os terrenos de rochas TTG arqueanas formaram-se num vasto intervalo de tempo que se iniciou há mais de 4,0Ga e terminou no Neoarqueano.

4.5.2 Greenstone Belt Rio das Velhas Arqueano: Essa orogênese encerrou os estágios TTG e granito-greenstone belt de evolução crustal arqueana na região leste-sudeste do Cráton do São Francisco, segundo os dados geocronológicos, no Neoarqueano - por volta de 2,9 a 2,7Ga. Deixou seu registro principal na associação das seqüências supracrustais Rio das Velhas com metagranitóides TTG em domos, e com os metagranitóides Borrachudos em zonas de cisalhamento.

O metamorfismo regional deste evento foi de fácies xisto verde inferior a médio, nas regiões centrais e leste do Quadrilátero Ferrífero como também em grande parte dos terrenos TTG associados que apresentam paragêneses retrometamórficas equivalentes. O gradiente metamórfico nas regiões norte-nordeste foi de tipo Barrowiano – indicado por estilpnometelano nos B/F tipo algoma de fácies silicato, por exemplo, na mina São Bento.

A evolução tectônica produziu estruturas típicas, mundialmente verificadas em terrenos análogos, de domos TTG soerguidos em relação às seqüências supracrustais metavulcâno-sedimentares justapostas. Estas, por sua vez, amoldaram-se aos domos TTG, foram comprimidas em quilhas sinclinórias profundas e desenvolveram, em seu interior, dobramentos apertados, freqüentemente isoclinais, com padrões de interferência complexos, resultando em planos axiais irregulares, dobrados e redobrados, predominando cimentos de altos ângulos. Os contatos entre os domos TTG e as seqüências greenstone belt são tectônicos, metamórficos e metassomáticos. As rochas justapostas apresentam-se como milonitos, ultramilonitos e filonitos, freqüentemente com alterações aloquímicas e eventualmente termometamórficas locais. Também podem ocorrer intrusões graníticas e de pegmatóides locais menores tardias, causando metamorfismo de contato restrito nas rochas do greenstone belt.

A formação e associação tectônica dos metagranitóides Borrachudos à seqüência do *greenstone belt* Rio das Velhas, por processos associados tectono-metamórficos e metassomáticos tardi-orogênicos, representa o início dos processos de potassificação da crosta siálica arqueana.

4.5.3 Ciclo Minas/Espinhaço Paleoproterozóico: Segundo Schorscher (1975, 1988, 1992) o Ciclo Minas/Espinhaço ter-se-ia iniciado no Paleoproterozóico Inferior, com a formação de um sistema de *rift* intracontinental com magmatismo diamantífero (diamantes da Formação Sopa Brumadinho, Supergrupo Espinhaço), na crosta siálica preexistente de terrenos TTG e granito-*greenstone belt*, arqueana. Seguir-se-ia um período sedimentar principal, de margem passiva, com deposição proximal ao continente, dos sedimentos do Supergrupo Espinhaço (e Grupo Itacolomi), em parte praiais eólicos (uma parte da Fm. Galho do Miguel) e em áreas mais distais, do Supergrupo Minas (com apenas fraco magmatismo/vulcanismo básico a ácido), além de depósitos de fácies transicionais como a Seqüência da Serra da Boa Vista. A evolução terminaria pela inversão da margem continental passiva para ativa, indicada pela sedimentação distal vulcâno-sedimentar da Formação (ou Grupo) Sabará (unidade superior do Supergrupo Minas), numa orogênese colisional predominantemente ensiálica, de tipo alpino, designada de orogênese do Ciclo Minas/Espinhaço. Esta causou obdução/duplicação crustal, tectônica de *nappes* de cobertura e metamorfismo regional progressivo, de oeste para leste, da fácie xisto verde (nas partes centrais e oeste do Quadrilátero Ferrífero) a anfibolito superior e granulito, na faixa Rio Piracicaba (cf. Herz, 1978), Nova Era, Piçarrão e Santa Maria de Itabira, com continuações para norte, até Sabinópolis e Guanhães e para sul, até Acaiaca e Ponte Nova. O metamorfismo apresentou evolução plurifacial como efeito típico de gradientes P/T variáveis, indicados por paragêneses pré - a sin-tectônicas, de mais alta pressão, e pós-tectônicas, de temperaturas mais elevadas. Os gradientes dessa evolução foram em geral de tipo Barrowiano, porém, nos estágios pré a sin-tectônicos, no seu campo limítrofe de mais elevada pressão, indicado pela associação regional de micas brancas fengíticas com cianita.

A idade de deposição do Supergrupo Minas é tipicamente paleoproterozóica, dada a natureza de seus metassedimentos, que, como no caso dos metaconglomerados auríferos piritosos e fracamente uraníferos, com seixos de quartzo, da Formação Moeda (*quartz pebble conglomerates*, de tipo Witwatersrand) e dos itabiritos da Formação Cauê (formações ferríferas do tipo Lago Superior) são depósitos típicos, constituindo-se em

& Pflug 1994). Na região do Quadrilátero Ferrífero, idades mesoproterozóicas obtidas por Herz (1970) já foram consideradas pelo próprio autor como efeitos de reajustes isotópicos parciais causados pelo Ciclo Brasiliano. Nos trabalhos mais recentes e nesta pesquisa também não foram encontradas evidências da atuação de uma orogênese mesoproterozóica na região da borda leste-sudeste do Cráton do São Francisco.

4.5.5 Ciclo Brasiliano Mesoproterozóico Superior/Neoproterozóico a Eopaleozóico: A orogênese Brasiliana, neoproterozoica superior a eopaleozóica como principal e/ou o mais marcante diastrofismo proterozóico é afirmada por autores como Teixeira (1982), Endo (1997) e outros. Estes baseiam seus trabalhos em dados essencialmente estruturais, seqüênciando deformações que correlacionam com dados geocronológicos K-Ar, Ar-Ar e Rb-Sr, provenientes, em sua maioria absoluta, de rochas e minerais de unidades mais antigas, policíclicas.

Santos (1986), Veneziani (1987) e Schorscher (1976a, b, 1980a, 1992) consideram efeitos essencialmente térmicos regionais variáveis como expressão principal do evento Brasiliano, sobretudo nas porções leste e nordeste do Quadrilátero Ferrífero, onde se registraram as idades K-Ar características desse evento. Processos tectônicos orogênicos compressivos seriam subordinados, de baixa intensidade e restritos às poucas regiões, onde, efetivamente, podem ser observados. Por exemplo, a nordeste de Belo Horizonte, rochas do Supergrupo Espinhaço, da borda oeste da Serra do Cipó, encontram-se empurradas por falhas inversas, de médio-alto ângulo, sobre as rochas do Grupo Bambuí.

4.5.6 Evolução Polimetamórfica: Para a evolução tectono-metamórfica da borda sudeste do Cráton do São Francisco, são de particular interesse alguns dados recentes de datação e geotermobarometria de paragêneses metamórficas. Rettinger (1998) na região compreendida entre Itabira, Santa Bárbara, Mariana, Piçarrão, Nova Era e Ponte Nova, verificou em granadas de xistos e gnaisses metapelíticos de fácies anfibolito inferior até granulito de protólitos arqueanos, a ocorrência de:

- Inclusões de monazita com idades arqueanas ($>2,7 - 3,1\text{ Ga}$), nos núcleos das granadas formados nos estágios fracos de metamorfismo incipiente, indicativas da história termal anterior das monazitas e seus protólitos no Arqueano;

- Inclusões de monazita de idade paleoproterozóica superior, de 1,8-2,2Ga, nas zonas de borda das granadas formadas sob condições do pico termal do principal metamorfismo regional;
- Monazitas livres na textura de fundo das mesmas rochas, com idades variáveis mesoproterozóicas a neoproterozóicas, de 1,4-0,5 Ga, representando monazitas reequilibradas parcial à totalmente, dependendo da intensidade local dos eventos metamórficos posteriores uruaçuano e brasiliiano, ou apenas brasiliano.

Os resultados de Rettlinger (1998) apontam a orogênese do ciclo Minas/Espinhaço paleoproterozóica superior como o principal evento tectono-metamórfico regional. Este imprimiu sua idade por reequilíbrio em monazitas detriticas incluídas, pelo crescimento da granada, nas zonas formadas durante o seu pico termal. A orogênese Minas/Espinhaço seguiu-se à evolução metamórfica arqueana dos terrenos TTG e graníticos como áreas-fonte das monazitas e/ou da reequilíbrio destas, já como grãos detriticos nos metapelitos Rio das Velhas. A evolução arqueana é retratada pelas idades variáveis das monazitas incluídas nos núcleos das granadas formados em baixo grau metamórfico. Ao metamorfismo regional principal paleoproterozóico superior seguiram-se, no final do ciclo brasiliano e/ou, já do ciclo uruaçuano, um ou dois eventos metamórficos, em geral mais fracos, causando reequilíbrios variáveis e regionalmente irregulares das monazitas livres na textura de fundo das rochas metapelíticas.

5 Materiais e Métodos

Os materiais fundamentais utilizados em todo o projeto e os principais métodos de trabalho estão a seguir listados e brevemente descritos. Foram selecionados com base em estudos bibliográficos e fotogeológicos preliminares, levantamentos de reconhecimento de campo e mapeamento geológico inicial com amostragens pontuais incluindo também primeiros estudos petrográficos.

Os materiais fundamentais descritos a seguir foram utilizados nas duas fases principais deste trabalho, ou seja, tanto no que condiz ao mapeamento regional 1:25.000 e ao estudo dos metassedimentos ferríferos do Supergrupo Minas quanto ao mapeamento de detalhe 1:5000 da área da Fazenda Gualaxo local da amostragem de minério de ferro itabirítico para caracterização tecnológica preliminar. Já os métodos utilizados descritos a seguir em maior detalhe referem-se às técnicas realizadas para a primeira fase deste trabalho, porém as descrições dos métodos utilizados para a caracterização tecnológica estão descritos em detalhe no capítulo 7.3.

5.1 Materiais Fundamentais

Base cartográfica

- Folha topográfica da Quadricula de Antônio Pereira 1:25.000 (SF.23-E-II-3-NO) confeccionada por Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. (1954-56), com georreferenciamento atualizado através dos ortofotomaps da CEMIG (1987) e pontos de controle levantados em campo;

Fotografias aéreas, ortofotomaps e imagens de satélite

- Fotografias aéreas (preto e branco, em escala aproximada 1:30.000) da CEMIG;
- Fotografias aéreas da USAF Missão 96 Área 803, coloridas normais e infravermelhas falsa cor, em escala aproximada 1:40.000;
- Ortofotomaps (em escala 1:10.000) em formato digital e impressos da CEMIG;
- Imagens de satélite do programa Landsat 7, ETM+ disponíveis na internet com georreferenciamento atualizado através da base cartográfica da COMIG (2005).

Mapas geológicos de referência

- Barbosa, A.L.M. (1969): Quadriculas 1:25.000 Antônio Pereira, Mariana e Ouro Preto;

- Maxwell, C.H. (1972): Quadrículas 1:25.000 Santa Rita Durão; Capanema;
- Dorr, J.V.N. (1969): Quadrilátero Ferrífero 1:150.000;
- Costa, M.T., & Romano, A.W. (1976): Mapa geológico do Estado de Minas Gerais 1:1.000.000;
- Baltazar e Raposo (1993): Folha Mariana 1:100.000;
- Pinto, C.P. (1996): Projeto Rio das Velhas;
- COMIG/CPRM (2003): Mapa geológico do Estado de Minas Gerais 1:1.000.000;
- COMIG (2005): Geologia do Quadrilátero Ferrífero Escala 1:50.000 (DVD-ROM).

5.2 Métodos Principais

Trabalhos de campo

- Mapeamento geológico de semi-detalhe 1:25.000 com amostragens da área do projeto de cerca de 140km², delimitada pelas coordenadas UTM 23K 656000 - 670000 e 7750000 - 7760000, em conjunto com o aluno Gabriel Rossi e demais membros da equipe de campo e alunos estagiários, realizado com caminhamentos à pé e suporte de veículo de campo;
- Verificação, confirmação, mapeamento detalhado 1:5.000 com amostragens e caracterização de alvos de minérios itabiríticos de ferro, em conjunto com o aluno Gabriel Rossi e demais membros da equipe de campo e alunos estagiários, realizado com caminhamentos à pé e suporte de veículo de campo;
- Levantamentos detalhados, centimétricos a métricos, de perfis de afloramentos selecionados com metassedimentos ferríferos, itabiritos e minérios de ferro das formações Cauê, Gandarela e Cercadinho do Supergrupo Minas e ocorrências análogas do Supergrupo Espinhaço e/ou da Série Itacolomí com amostragens para os estudos específicos petro-metalogenéticos;
- Descrição detalhada dos afloramentos regionais e das amostragens.

Trabalhos Laboratoriais

- Análise macroscópica com documentação fotográfica digital e seleção de amostras para preparações e estudos laboratoriais diversos;

- Análise mineralógica textural com documentação fotográfica digital de amostras selecionadas com lupa binocular;
- Análise mineralógico-petrográfica de montagens de minerais em grãos, lâminas delgadas e seções polidas com microscópios de polarização em luz transmitida e refletida;
- Estudos mineralógicos complementares de amostras / fases finas via difração de raios X (DRX);
- Análises geoquímicas multielementares para elementos maiores e traço via espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) e espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), perda ao fogo (P.F., LOI) por gravimetria e enxofre por infravermelho – LECO;
- Análises para ouro e metais nobres por *fire assay* (fusão e copelação) – AAS.

Caracterização tecnológica preliminar de minérios itabiríticos de ferro

- Separação granulométrica (conforme especificações tecnológicas de minérios de ferro), em: *lump ore-LO*, hematitinha-HE, *sinter feed-SF*, *pellet feed-PF* e rejeitos finos-OF, por peneiramento e hidrociclonagem, e quarteamento das frações para análises mineralógicas e geoquímicas;
- Análises geoquímicas multielementares de alíquotas das amostras globais e de cada fração, para determinação de elementos maiores e traço via FRX e ICP (AES e MS) para a caracterização dos teores de ferro e dos contaminantes químicos;
- Análises estruturais e texturais de partículas representativas de cada fração, macroscópicas e microscópicas;
- Análises mineralógicas microscópicas (em lâminas, montagens de minerais em grãos e seções polidas) e das frações finas por DRX para determinação e caracterização mineralógica e de química mineral dos minerais de minério e das fases contaminantes.

6 Desenvolvimento

Essa pesquisa de Trabalho de Formatura foi iniciada com estudos preliminares bibliográficos, de campo e petrográficos ainda na segunda metade do mês de julho de 2005. Estes estudos preliminares serviram para a definição do tema e a elaboração do Projeto Inicial.

- As principais dificuldades encontradas foram:
- Problemas na compreensão do relator, frente ao escopo do Projeto Inicial, e sua subsequente, substituição pela CTF;
- A recusa pelo laboratório de geoquímica – fluorescência de raios X – do GMG, mediante os seus responsáveis, das amostras desta formanda – mesmo aquelas já preparadas e tentativamente encaminhadas desde o início do ano letivo até hoje não aceitas e muito menos processadas – o que foi justificado com a existência de filas de amostras prioritárias e / ou de outros usuários. Por consequência, o programa de trabalhos geoquímicos deste TF teve que ser reduzido e realizado, na forma ainda possível, em laboratórios comerciais.

Mesmo assim, todas as partes fundamentais do projeto puderam ser realizadas, obedecendo, como sempre na prática, dentro de limites razoáveis o cronograma original.

Cronograma do Trabalho de Formatura para o ano de 2006

Atividade \ Semana	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estudos bibliográficos										
Trabalhos fotogeológicos										
Preparação do Projeto Inicial										
Trabalhos de campo										
Preparação de amostras para laminação e geoquímica										
Preparação de amostras para caracterização tecnológica										
Petrografia fundamental e para caracterização tecnológica										
Geoquímica multi-elementar fundamental e para caracterização tecnológica										
Preparação do relatório de progresso (mapa geológico preliminar)										
Redação da monografia (mapa geológico final)										
XLIII Congresso Brasileiro de Geologia (participação com trabalho)										
Preparação da apresentação e defesa da monografia										
Semana do Trabalho de Formatura (apresentação e defesa da monografia)										

7 Resultados Obtidos

Os principais resultados obtidos neste trabalho são:

- A revisão do mapeamento pré-existente de Barbosa A. (1969) e elaboração de um novo mapa geológico de semi-detalhe (1:25.000) da região de Antônio Pereira, consubstanciando novos conceitos litoestratigráficos e estruturais regionais, em conjunto com o aluno Gabriel Rossi (TF-Nº 24/06), o orientador e demais membros da equipe de campo;
- O detalhamento das principais unidades litoestratigráficas do Supergrupo Minas portadoras de metassedimentos ferríferos, sendo as formações Cauê e Gandarela do Grupo Itabira e a Formação Cercadinho basal do Grupo Piracicaba, para contribuir à sedimentação ferrífera sideriana e à metalogênese dos minérios itabiríticos de ferro;
- A definição e o mapeamento geológico de detalhe (1:5.000) de um novo depósito de grande porte de minérios itabiríticos de ferro localizado na parte centro-leste da região de Antônio Pereira – na área da Fazenda Gualaxo, em conjunto com o aluno Gabriel Rossi (TF-Nº 24/06), o orientador e demais membros da equipe de campo;
- A caracterização tecnológica preliminar de minérios itabiríticos de ferro e seus contaminantes em amostras maiores de afloramentos selecionados do depósito da Fazenda Gualaxo.

7.1 Geologia da Região de Antônio Pereira 1:25.000

O mapeamento geológico de semi-detalhe da região de Antonio Pereira (Anexo 1) foi realizado em escala de trabalho de 1:10.000 para apresentação final em escala 1:25.000 (Anexo 1). Consistiu no reconhecimento e na delimitação das principais unidades litoestratigráficas e estruturais regionais com suas respectivas subdivisões, com base no levantamento de 1222 afloramentos individuais (Anexo 2) e de perfis selecionados, amostragens e estudos petrográficos complementares. O mapeamento de semi-detalhe da região de Antônio Pereira também fundamentou novos conceitos litoestratigráficos e estruturais regionais e mostrou, ainda, o eminentemente diversificado potencial mineral dessa área da borda leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero.

Na região a atividade garimpeira é onipresente. Em toda a extensão da área mapeada, o leito do Rio Gualaxo do Norte foi e continua sendo explorado para ouro. O mesmo ocorre nas serras quartzito-conglomeráticas correlacionadas à Seqüência da

Serra da Boa Vista (Luchesi, 1991). Destaca-se ainda o garimpo de topázio imperial de Antônio Pereira, explorado em argilitos manganesíferos – saprolitos da Formação Gandarela – com veieiros de quartzo. Também há várias minas de minérios de ferro de classe mundial em produção, a exemplo de Timbopeba (a oeste de Antônio Pereira), Alegria e Fábrica Nova (a noroeste e norte da área de mapeamento), a Minas D'el Rey (próxima a Mariana) em fase de reavaliação, assim como a mina de manganês Miguel Congo – hoje esgotada.

Quanto aos resultados litoestratigráficos e estruturais regionais destacam-se:

- A extensão do Grupo Nova Lima, respectivamente dos grupos Quebra Osso e Nova Lima indivisos, de modo a incluir a grande maioria dos xistos metamáficos a metapelíticos freqüentemente grafitosos de protólitos vulcânicosedimentares, em função de suas características estruturais e da associação litológica com anfibolitos, metaultramáficas, e *BIF* de tipo Algoma, drasticamente diferentes daquelas do Supergrupo Minas;
- A restrição da Formação, respectivamente, do Grupo Sabará, apenas aquelas rochas metassedimentares sinorogênicas sobrepostas à Formação Cercadinho que, de fato, contêm e/ou representam produtos de erosão do Supergrupo Minas;
- A identificação e caracterização litoestratigráfica, estrutural e metalogenética da Seqüência da Serra da Boa Vista com mineralizações e depósitos de ouro em duas ocorrências principais, nas partes central e leste da área de mapeamento, anteriormente tidas como do Grupo Maquiné arqueano;
- A caracterização litoestratigráfica e estrutural de unidades anteriormente mapeadas como Grupo Itacolomí contendo metaconglomerados intraformacionais com seixos exclusivamente de itabiritos, *metachert* e quartzitos, que o relacionam ao Supergrupo Espinhaço e como equivalente lateral de fácies ao Supergrupo Minas;
- A revisão da evolução tectônica regional das unidades paleoproterozóicas do Supergrupo Minas, Seqüência da Serra da Boa Vista e Grupo Itacolomí, anteriormente explicada por megadobras sinclíoriais regionais profundas vergentes para oeste (Barbosa, 1969; Dorr, 1969), como de nappes de arraste alóctones e escamas parautóctones de um sistema de imbricamento frontal gerado em ambiente colisional ensiálico.

Neste trabalho serão abordadas em maior detalhe as principais unidades litoestratigráficas do Supergrupo Minas que compreendem metassedimentos ferríferos, sendo estas as formações Cauê e Gandarela do Grupo Itabira e a Formação Cercadinho, unidade basal do Grupo Piracicaba. Subordinadamente ocorrem metassedimentos ferríferos ainda na Seqüência da Serra da Boa Vista e no Grupo Itacolomí. Descrições e considerações detalhadas litoestratigráficas, estruturais e da evolução metamórfica e geotectônica de todas as unidades precambrianas, além de tópicos selecionados da metalogênese regional são o tema do trabalho de formatura do aluno Gabriel Rossi (TF-Nº 24/06).

7.2 Metassedimentos Ferríferos Paleoproterozóicos

7.2.1 Supergrupo Minas: A coluna estratigráfica do Supergrupo Minas segundo Dorr (1969) é mostrada na Tabela 2. A idade paleoproterozóica do Supergrupo Minas e a correlação global de seus metassedimentos ferríferos principais – os itabiritos da Formação Cauê – como depósitos do Sideriano, equivalentes àqueles da região do Lago Superior e Labrador – Canadá, Krivoi Rog – Plataforma Russa e Hamersley Basin – da Austrália Ocidental, entre outros, é, desde Harder e Chamberlin (1915), inconteste e foi também confirmada por alguns dos estudos geocronológicos mais recentes (Babinski et al., 1991; Machado et al., 1996a).

Os metassedimentos ferríferos desse supergrupo encontrados na região de Antônio Pereira pertencem, na seqüência estratigráfica (da base ao topo), às formações Cauê e Gandarela do Grupo Itabira e a Formação Cercadinho, sendo essa a unidade basal do Grupo Piracicaba (Tabela 2 Anexo 1). Dessas unidades além do seu mapeamento regional foram realizados estudos detalhados de afloramentos e perfis selecionados com levantamento de seções colunares.

Formação Cauê

Compreende os principais metassedimentos ferríferos de origem química do Supergrupo Minas, sendo estes, os itabiritos e minérios ricos itabiríticos e hematíticos. Estes representam, sob aspectos econômicos, uma das maiores reservas mundiais de minérios de ferro.

Regionalmente, os depósitos ferríferos da Formovação Cauê são ainda, caracterizados pela associação com outros metais, com destaque para o manganês e o

ouro paladiado. Localmente, ambos atingiram concentrações econômicas e foram lavrados; a exemplo do manganês em itabiritos manganesíferos da mina Miguel Congo (na região deste trabalho - de Antônio Pereira) e do ouro paladiado em jacutingas das minas de Gongo Soco (na região de Barão de Cocais), Cauê e Conceição (do Distrito Ferrífero de Itabira), entre muitas outras ocorrências menores. Em concentrações de anomalias geoquímicas até pequenas mineralizações locais, ocorrem ainda titânio, vanádio, cromo, cobre e até urânia.

Sob aspectos petrogenéticos e metalogenéticos a Formação Cauê é constituída principalmente por diferentes tipos de itabiritos e de minérios ricos de ferro, além de *metachert* ferruginoso até puro (isento de ferro), xistos metapelíticos, rochas carbonáticas, metatufo e metatuftos subordinados. Também ocorrem xistos metaultramáficos em zonas de falhas e metabasitos subvulcânicos intrusivos em diques. Os itabiritos são formações ferríferas bandadas (*banded iron formations-BIF*) metamórficas, de fácies óxido, tipo Lago Superior, paleoproterozóicas, compostas, em proporções variáveis, de hematita, magnetita, quartzo e dolomita como minerais principais. Assim distinguem-se itabiritos quartzo hematíticos com ou sem magnetita e itabiritos dolomíticos com quartzo, dolomita, hematita e/ou magnetita. Subordinadamente ocorrem ainda itabiritos anfibolíticos, observados somente em estado fortemente intemperizado, compostos de quartzo, hematita, magnetita, argilominerais e limonita e/ou goethita pseudomorfos segundo anfibólios fibro-radiados; todos os itabiritos, quando não intemperizados, são rochas duras. Quanto aos teores de ferro (expresso como Fe) variam de 25-65% de peso, sendo divididos em itabiritos pobres com Fe <40%; médios de 40-50% e ricos de >50-65%.

Os minérios ricos de ferro pertencem a dois grupos principais: minérios metamórficos e supergênicos. Os minérios ricos metamórficos variam de hematíticos a hematíticos com porfiroblastos de magnetita até magnetíticos; são virtualmente puros ou com pouquíssimo quartzo como impureza principal. Apresentam-se maciços, xistosos até foliados gnáissicos ou, ainda, pulverulentos em zonas de cisalhamento milonítico (originando o minério, também designado, de "blue dust tipo Itabira" ou "falso blue dust"). Os teores de ferro desses minérios são >65% até a composição ideal da hematita e/ou magnetita (de respectivamente 69,9 e 72,3% em peso de Fe).

Os minérios supergênicos dividem-se em dois subgrupos principais, sendo: minérios itabiríticos e cangas. Ambos são produtos superficiais de intemperismo das

formações ferríferas da Formação Cauê formados no Cenozóico e podem atingir espessuras de dezenas até poucas centenas de metros, assim, formando jazidas de classe mundial ($>100.000.000\text{t}$).

Os minérios supergênicos itabiríticos são produtos de intemperismo *in situ* de itabiritos quartzo – hematíticos e / ou dolomíticos com ou sem magnetita. Nestes, a dissolução parcial até virtualmente total e remoção em solução do quartzo e da dolomita / carbonatos, causaram de maneira associada a redução da dureza do itabirito original por desagregação textural aliada ao enriquecimento dos teores de ferro por concentração residual dos minérios hematita e magnetita. Estes minérios apresentam como impurezas principais: quartzo residual (de dissolução incompleta), micas, argilominerais, óxi-hidróxidos de ferro (limonita, goethita e hematita supergênica) e subordinadamente de manganês (psilomelano e pirolusita), assim como outros constituintes minerais e químicos eventuais, residuais ou neo-formados, pelo intemperismo dos demais litotipos menores intercalados na sucessão de itabiritos da Formação Cauê. Esses minérios representam hoje os principais minérios lavrados em toda a extensão do Quadrilátero Ferrífero; são economicamente viáveis, dependendo das demais propriedades, a partir de teores inferiores a 40% de Fe, necessitam de tratamentos em plantas de concentração e beneficiamento específicas.

Já os minérios de ferro de tipo canga são sedimentos clásticos grossos, conglomerados e brechas, derivados por erosão e intemperismo subaéreo continental da Formação Cauê. Os clastos variam de calhaus até blocos, sendo com predominância quase total de itabiritos (de teores de ferro e estado de intemperismo / dureza variáveis) ou até de minérios metamórficos ricos em ferro, maciços até foliados duros. Muito subordinadamente ocorrem ainda clastos de quartzo de veio, quartzitos e, mais raramente, de xistos diversos. As matrizes são de conglomerados e brechas mais finas até arenosas e argilosas com grânulos e clastos esparsos. Característica é a cimentação das cangas por crostas superficiais duras de óxi-hidróxidos de ferro (limonita, goethita e hematita supergênica) e subordinadamente de manganês (psilomelano e pirolusita) de origens químicas. Essa cimentação ocorre também, ainda que em geral mais fraca como impregnação e em filmes finos nas matrizes das cangas. As cangas ocorrem como crostas recobrindo as encostas das estruturas ferríferas da Formação Cauê, que, sempre, se destacam como altos na morfologia regional, mas também quaisquer outras litologias adjacentes e, principalmente, preenchendo vales e baixadas de extensão regional, por

exemplo, ao longo de toda a borda leste do Quadrilátero Ferrífero, que compreende partes da área desta pesquisa de TF. As cangas da borda leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero foram estudadas por Sant'Anna (1994) e Sant'Anna e Schorscher (1995) e definidas como a Formação Chapada de Canga quaternária. Dependendo dos teores de ferro e demais propriedades e contaminantes, são minérios de ferro eventualmente viáveis, porém, em geral, de qualidade mais baixa até limítrofes.

+ Quanto à distribuição estratigráfica dos diversos litotipos e minérios de ferro na Formação Cauê foi notada de maneira geral para todo o Quadrilátero Ferrífero (Schorscher et al., 1982; Schorscher, 1992) e confirmada nesta pesquisa de TF para a região de Antônio Pereira a ocorrência e concentração preferencial de minérios metamórficos ricos de ferro e de itabiritos ricos na parte basal até a metade inferior da formação. Para o topo seguem-se itabiritos intermediários e pobres em ferro, intercalados com *metacherts* ferruginosos e puros, passando, com maior freqüência e extensão regional, para itabiritos dolomíticos e mais restritamente para itabiritos manganesíferos. Em paralelo, observa-se ainda nas partes intermediárias a superiores da Formação Cauê, o aparecimento e aumento em quantidade de rochas carbonáticas dolomíticas, metamargas e xistos diversos. Enriquecimento supergênico de ferro ocorre na Formação Cauê somente onde esta foi diretamente exposta ao intemperismo cenozóico; onde coberta por metassedimentos das formações Gandarela ou Cercadinho e preservada da ação direta do intemperismo cenozóico, o enriquecimento supergênico não ocorre.

Assim observa-se para a evolução sedimentar e diagenética química pré-metamórfica da base ao topo da Formação Cauê na região de Antônio Pereira:

- O decréscimo dos teores de ferro;
- Aumento dos teores de sílica;
- Deposição de carbonatos dolomíticos substituindo progressivamente a deposição de sílica na parte média a superior da formação, com extensão regional;
- A deposição, ainda que mais restrita - local, nos itabiritos mais pobres em ferro da parte superior da formação, de manganês junto com o ferro até a formação de jazidas de ferro e manganês (a exemplo da mina Miguel Congo de Antônio Pereira).

Essas observações confirmam os resultados anteriores dessa e de outras partes do Quadrilátero Ferrífero, por exemplo, de Dorr (1969), Schorscher (1975), Schorscher et al. (1982).

Na área mapeada ocorrem estruturas itabiríticas da Formação Cauê com depósitos de ferro, em suas partes:

- Sudoeste, na Serra de Ouro Preto com as minas de ferro e ferro-manganês Timbopeba (em fase final de operação) e Miguel Congo (esgotada e em recuperação ambiental), em posição estratigráfica normal, sobre o Grupo Caraça, Formação Moeda, sendo a Formação Batatal pobremente desenvolvida e, em grande parte da região, ausente;
- Centro-sul, com os depósitos de ferro da Minas D'el Rey, em posição estratigráfica invertida, sobreposta à Formação Gandarela e quando esta ausente, diretamente sobre a Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba);
- Central, em uma faixa de direção norte-sul na região da Fazenda Gualaxo, formando o principal alvo de pesquisa mineral deste trabalho, também em posição invertida em contato direto sobre a Formação Cercadinho.

No geral, nessas estruturas predominam itabiritos com teores intermediários de ferro, que em sua totalidade se apresentam intemperizados, em afloramentos naturais de superfície. Minérios ricos de hematita metamórfica são subordinados, nas partes basais da formação (ex.: Mina Timbopeba). Por toda a região ocorrem ainda lentes e níveis de metachert ferruginoso até puro, ocre a branco, de granulação grossa a média, com espessuras centimétricas a decimétricas, com maior freqüência nas partes estratigráficas superiores da formação.

+ De modo geral os principais minérios desta formação são itabiríticos supergênicos, com raras ocorrências de hematita rica compacta metamórfica e de hematitas supergênicas moles a pulverulentas. Mais típicos entre os minérios itabiríticos supergênicos são aqueles de tipo "chapinha", que consistem em pequenas "plquinhas" (i.e. "chapinhas") foliadas e sempre porosas de hematita (com ou sem magnetita porfiroblástica), formadas pela quebra das lâminas / camadas ricas em hematita ainda coesas do intercrescimento metamórfico (foliado e suturado) dos cristais placoidais de hematita do itabirito protolítico, por colapso estrutural deste, após a dissolução das lâminas/camadas de quartzo e/ou carbonato. A espessura das "chapinhas" de hematita com ou sem magnetita porfiroblástica subordinada (itabiritos magnetíticos não formam minérios de tipo "chapinha") varia, de milimétricas até 2-3 centímetros, de acordo com a espessura das lâminas/camadas ricas em hematita dos itabiritos foliados originais. A

quebra e as dimensões das "chapinhas" de hematita são controladas pela foliação principal e sistemas de clivagens entrecortantes. Nesses minérios as impurezas (quartzo residual e óxi-hidróxidos de Fe e Mn) ocorrem presas às superfícies das "chapinhas", de planos de foliação e clivagens lixiviados e em poros. Os minérios de tipo "chapinha" sempre ocorrem associados em proporções variáveis com itabiritos friáveis/moles e pulverulentos, pobres a ricos, formados pela dissolução e lixiviação variável das bandas mais quartzosas e/ou quartzo-carbonáticas.

O forte intemperismo dos itabiritos dolomíticos e dos corpos de carbonatos da parte superior da Formação Cauê originou ainda pequenos depósitos de manganês, pela concentração residual do manganês da dissolução das porções carbonáticas.

Perfil detalhado

O perfil de detalhe da Formação Cauê foi descrito em uma lavra desativada na parte centro-sul da área mapeada (Anexo 1, Afloramento 33; cf. Anexo 2). As rochas presentes são itabiritos e itabiritos dolomíticos típicos, apresentando-se totalmente intemperizados. Nas frentes da lavra foram limpas 17 secções para as descrições detalhadas e amostragens de canal e de amostras de mão conforme necessidade. No Anexo 3 são apresentadas uma planta esquemática do afloramento e das frentes levantadas, as seções colunares individuais e a respectiva legenda litológica.

Com exceção da secção colunar 16, onde ocorre um nível de itabirito compacto (Prancha 1: Foto 4), todo o restante do perfil é constituído por itabiritos friáveis com camadas de *metachert* e argilo-arenosas, limoníticas, de dissolução de carbonato dolomítico (Prancha 1: Fotos 1, 2 e 4). Subordinadamente ocorre ainda nas porções mais ricas do perfil, hematita friável, nas seções colunares 11 e 13 (Anexo 3).

De um modo geral, este afloramento mostra a alternância característica entre bancos de itabiritos quartzo-hematita-magnetíticos e bancos de itabirito dolomítico, foliados por uma Sn principal paralela ao acamamento original; dobras isoclinais apertadas com dobras parasitas vergentes para oeste e dobras isoclinais intrafoliaias com charneiras rompidas. Crenulação somente é visível nos planos hematíticos. Também ocorrem veios de quartzo recristalizado com espelularita centimétrica (Prancha 1: Foto 3), que ora são pseudoconcordantes ora nitidamente discordantes da foliação principal, sendo mais freqüentes nos bancos de itabiritos dolomíticos. As medidas estruturais com a bússola convencional são prejudicadas pelos elevados teores de magnetita coexistente com a hematita em todos os itabiritos.

Prancha fotográfica 1

Foto 1: Intercalações de Itabirito e Itabirito Dolomítico próximas ao topo da seção estratigráfica

(Afloramento GX-33)

Foto 2: Dobras recumbentes dentro de itabirito dolomítico.
Fm. Cauê

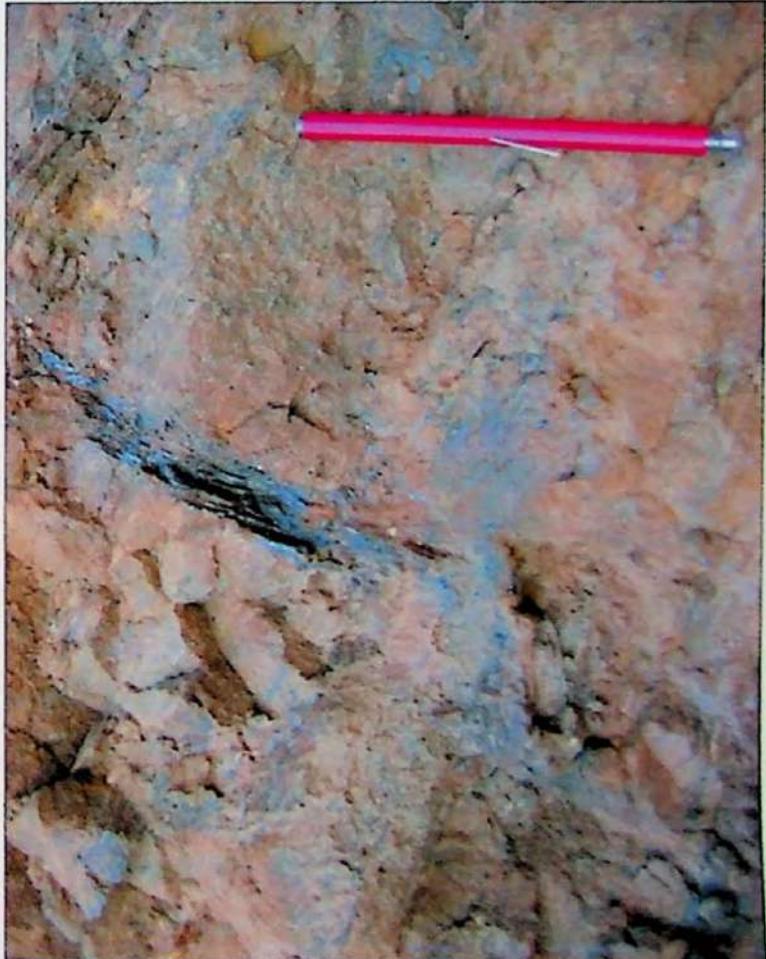
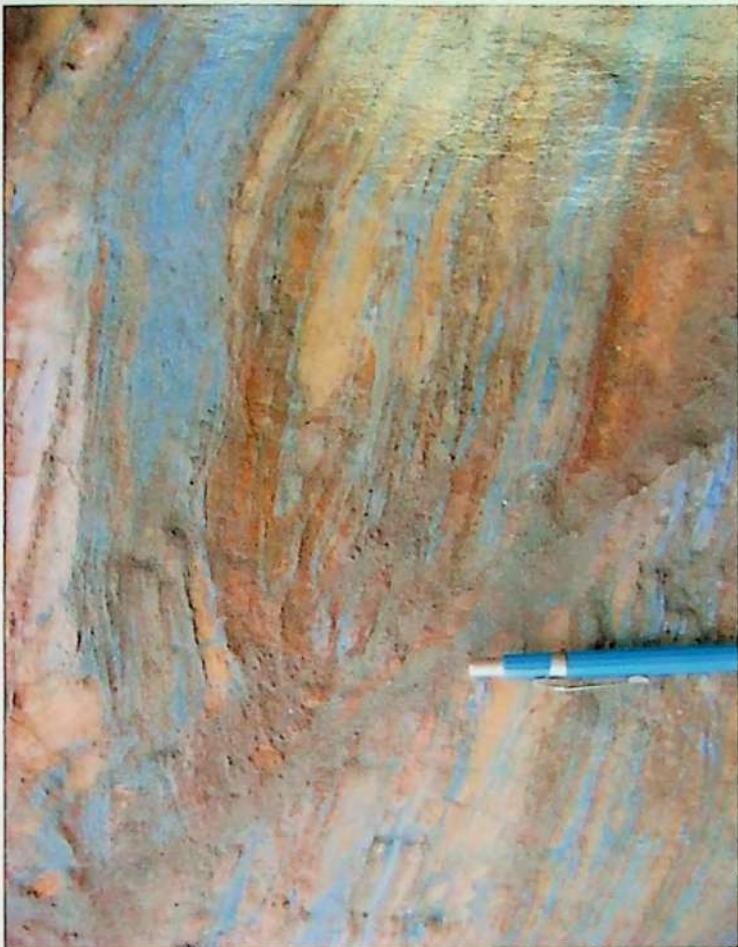
(Afloramento GX-33)

Foto 3: Veio de quartzo e especularita em Itabirito dolomítico da Fm. Cauê

(Afloramento GX-33)

Foto 4: Itabirito rico na base e itabirito dolomítico pobre no topo.
Fm. Cauê

(Afloramento GX-33)



Como possível critério de topo e base observa-se em virtualmente todos os bancos itabiríticos o aumento notável dos teores de minérios de ferro em direção à base e uma maior proporção de itabiritos dolomíticos em direção ao topo da Formação Cauê. Teores de manganês nos itabiritos dolomíticos são caracterizados por argilas residuais marrom escuras de cor "borra de café".

Sob aspectos compositionais e metamórficos são notáveis bancos com porfiroblastos de magnetita idioblásticas, que chegam a até 4mm.

Como resultado dos processos quaternários ocorrem crostas de canga de minério desenvolvidas sobre e recobrindo a formação ferrífera Cauê não apenas nessa lavra mas em grande parte de sua extensão regional.

Formação Gandarela

Sucede-se com contato gradacional à Formação Cauê e apresenta fortes variações regionais, de muito espessa a descontínua, ou mesmo ausente, por motivos sedimentares – de não-deposição ou de erosão subsequente, tectônicos ou de intemperismo. É representada por rochas carbonáticas metamórficas e mármores dolomíticos, calcíticos e subordinadamente rodocrosíticos (manganesíferos), com lentes e bancos centimétricos até decimétricos itabiríticos hematíticos, magnetíticos e mistos hematita-magnetíticos com matrizes carbonáticas, quartzosas e mistas, e bancos de *metachert* brancos puros. Níveis de retrabalhamento sinsedimentares com brechas intraformacionais carbonáticas e/ou itabiríticas são bastante comuns (Prancha 2; Foto 2). Na parte superior, intercalam-se aos carbonatos bancos calciosilicáticos, característicos da transição metassedimentar gradacional para a Formação Cercadinho (Prancha 2; Fotos 3 e 4).

Na área mapeada ocorre principalmente na parte oeste, com grandes espessuras (>300m); na região central é restrita a poucas lentes mapeáveis de, no máximo poucas dezenas de metros de espessura ou mesmo ausente.

As rochas carbonáticas sãs da Formação Gandarela são usadas como material de construção ornamental de revestimento e para pavimentação, ou ainda na agricultura como corretivo de solo. Por intemperismo geram depósitos de argilas residuais frequentemente manganesíferas (Prancha 2; Foto 1), de concentrações variáveis de Mn, por vezes econômicas. Na região de Antônio Pereira ocorrem adicionalmente

Prancha fotográfica 2

Foto 1: Pisolitos de manganês.
Fm Gandarela

(Afloramento GX-730)

Foto 2: Brecha sedimentar com clastos angulosos de formação ferrífera hematítica em matriz carbonática. Formação Gandarela.

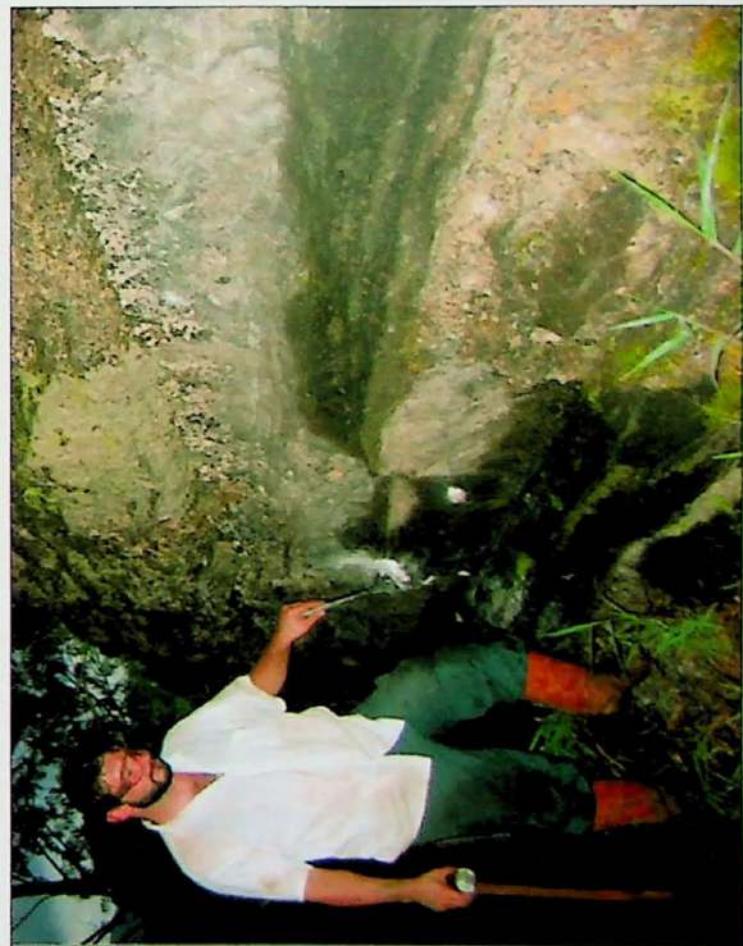
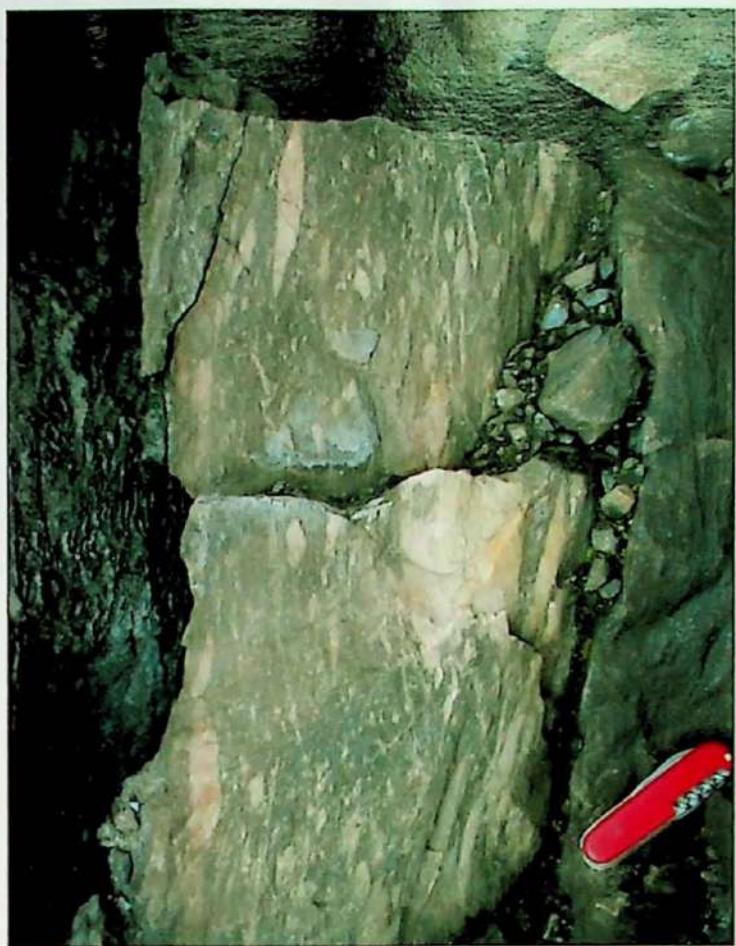
(Afloramento GX-458)

Foto 3: Intercalações decimétricas entre carbonato bege rosado e calciosilicática cinza e finas intercalações com sericitita filito prateado.
Contato gradacional entre a Fm. Gandarela e a Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-685)

Foto 4: Detalhe da calciosilicática cinza com dobras intrafoliais.
Contato gradacional entre a Fm. Gandarela e a Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-685)



mineralizações de topázio imperial explorados em garimpo, em saprolitos manganesíferos dessa formação onde esta foi cortada por veios de quartzo. Na pedreira de Antônio Pereira, fora do perfil detalhado, observa-se ainda a presença de auréolas de dimensões métricas e formas irregulares de piritização com ouro associado – artesanalmente exploradas – provavelmente de origens hidrotermais; um controle estrutural e/ou estratigráfico não pode ser definido.

Quanto à evolução sedimentar química da Formação Gandarela observaram-se inicialmente carbonatos róseos possivelmente rodocrosíticos e/ou com pigmentos de hematita, evoluindo para carbonatos brancos. Dez a vinte metros acima dos carbonatos róseos encontram-se nos carbonatos brancos os primeiros bancos itabiríticos recorrentes em um intervalo de poucas dezenas de metros, associados ou não com bancos de brechas intraformacionais e de carbonatos verdes com clorita de provável origem tufítica. Próximo ao topo, intercalam-se aos carbonatos, níveis calciossilicáticos.

Perfis de detalhe

Os perfis de detalhe da Formação Gandarela foram descritos em lavras, uma desativada e uma ainda em funcionamento, localizadas ambas na parte oeste da área mapeada (Anexo 1, Afloramento 386; cf. Anexo 2). As rochas presentes são carbonatos dolomíticos intercalados com itabiritos quartzo-hematíticos e itabiritos hematítico-magnetíticos em matriz carbonática; apresentando-se, em geral, sãs.

Nas frentes da lavra dos afloramentos 386 e 458 foram realizadas 10 e 18 secções, respectivamente, para as descrições detalhadas e amostragem conforme necessidade. No Anexo 4 são apresentadas as frentes levantadas do afloramento 386 e a respectiva legenda litológica.

De um modo geral, este afloramento mostra a alternância característica entre bancos de carbonatos dolomíticos (Prancha 3: Fotos 1 e 2), itabiritos quartzo-hematita-magnetíticos (Prancha 3: Foto 3), bancos de itabirito dolomítico, bancos de carbonato branco com porfiroblastos de magnetita (Prancha 3: Foto 4), bancos de carbonatos verdes com clorita (Prancha 3: Foto 3) e localmente a ocorrência de pirita em zonas de carbonatos acinzentados. Estes afloramentos em geral apresentam-se deformados por uma fraca foliação principal (S_n) paralela ao acamamento original; presenças de dobras isoclinais deitadas apertadas podem adelgaçar ou espessar as camadas, tornando assim,

Prancha fotográfica 3

Foto 1: Da base para o topo: interdigitação lateral de carbonato róseo, branco e cinza; intercalações de carbonato branco e cinza com magnetita;; itabiritos magnéticos; carbonatos silicosos; e carbonatos cloríticos.

Fm. Gandarela

(Afloramento GX-386)

Foto 2: Banco métrico de carbonato silicoso e carbonato clorítico verde acinzentado.

Fm. Gandarela

(Afloramento GX-386)

Foto 3: Banco de itabirito rico magnético, nota-se empobrecimento em ferro do topo para a base.

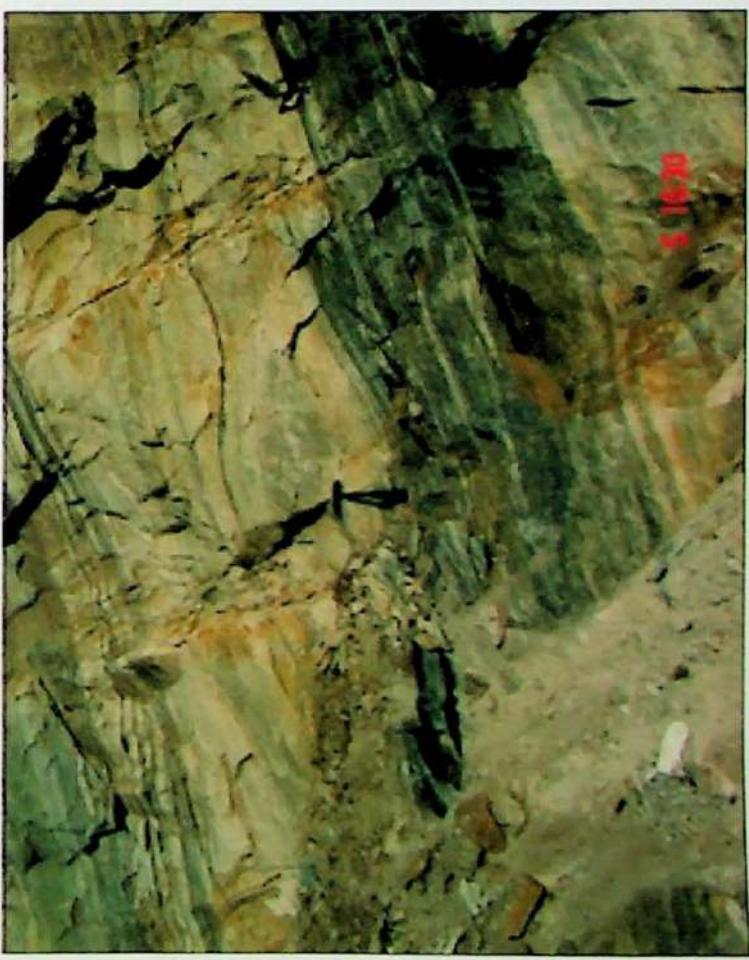
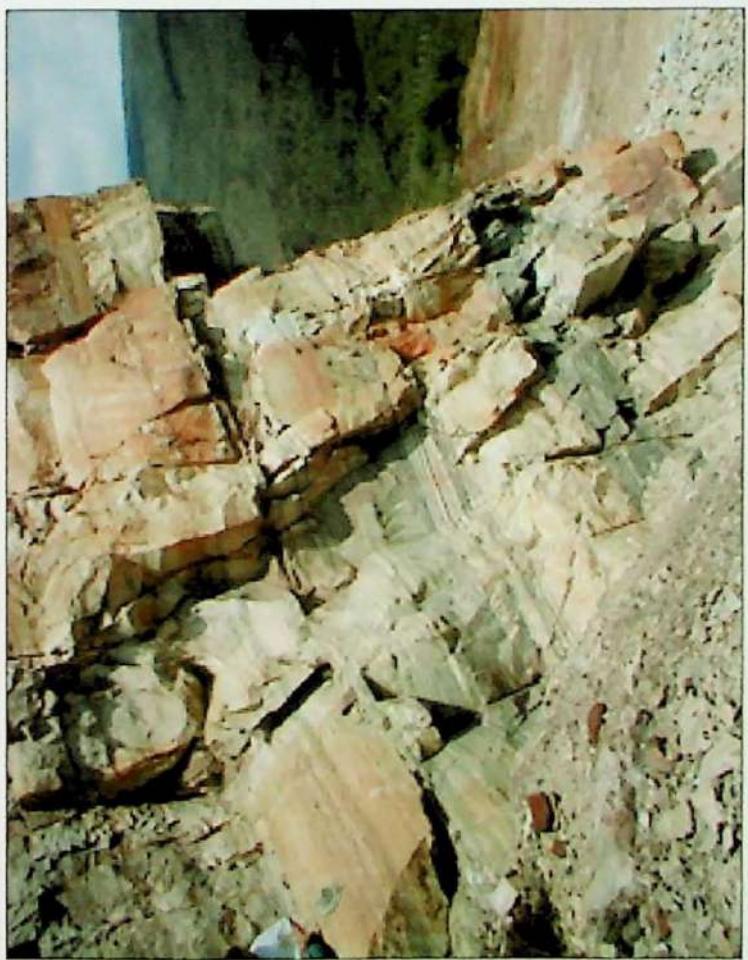
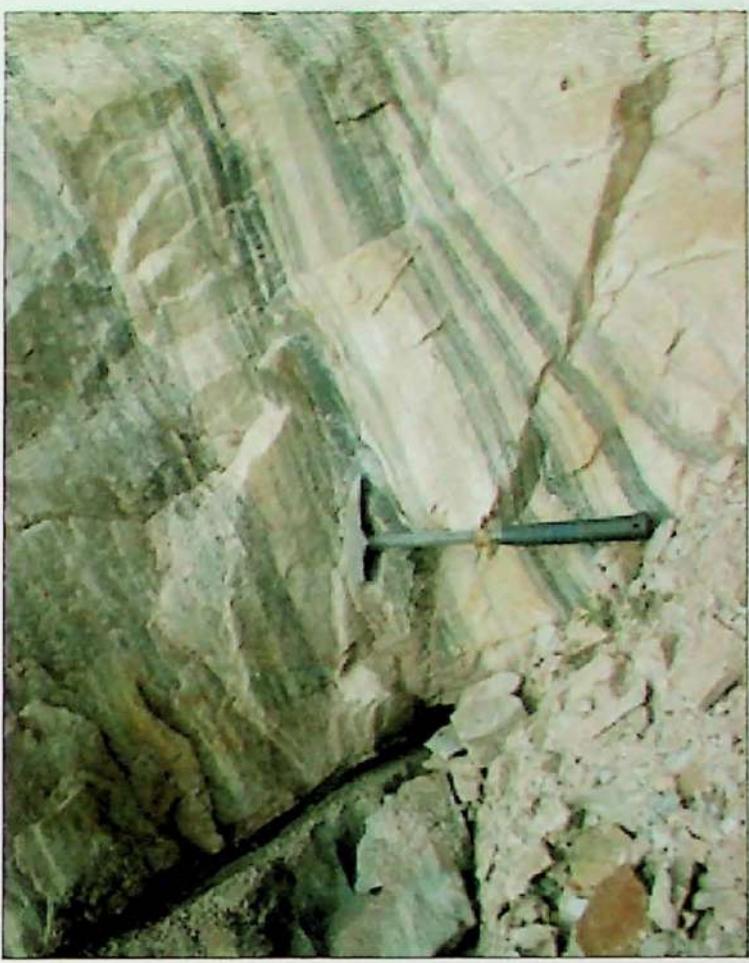
Fm. Gandarela

(Afloramento GX-386)

Foto 4: Intercalações de carbonato branco e cinza, passando para itabirito pobre.

Fm. Gandarela

(Afloramento GX-386)



não confiável as medidas de espessura e ciclicidade das camadas; dobras isoclinais intrafoliaias com charneiras rompidas também estão presentes. Crenulação somente é visível nos planos ricos em hematita. Ocorrem veios de quartzo e calcita e veios de quartzo recristalizado com espécularita, que ora são pseudoconcordantes ora nitidamente discordantes da foliação principal, sendo, os veios com espécularita mais freqüentes nos bancos itabiríticos e os veios de quartzo e carbonato, mais freqüentes nos bancos de carbonato puro. As medidas estruturais com a bússola convencional são prejudicadas pelos elevados teores de magnetita coexistente com a hematita em todos os itabiritos, bem como pela magnetita porfiroblástica presente tanto nas porções itabiríticas quanto nas porções carbonáticas.

Como possível critério de topo e base observa-se em virtualmente todas as seções a ocorrência de itabiritos dolomíticos na base e a diminuição da ocorrência destes em direção ao topo. Também é possível notar que no topo ocorrem porções de carbonatos dolomíticos a calcíticos com níveis de clorita e localmente porfiroblastos de talco.

A base do perfil 386 é composta por uma interdigitação lateral de carbonatos dolomíticos e carbonatos róseos, provavelmente rodocrosíticos.

Sob aspectos compostionais e metamórficos são notáveis bancos com porfiroblastos de magnetita idioblástica, que chegam a até 4mm, ou mais, além da presença de porfiroblastos de talco e clorita.

Formação Cercadinho

Sucede-se com contato gradacional à Formação Gandarela ou, onde está ausente diretamente sobre a Formação Cauê. Nas partes basais, são observados camadas manganesíferas e metaconglomeráticas. Nestas, é possível notar, camadas e leitos de retrabalhamento intraformacionais com seixos intemperizados substituídos por concentrações porosas e friáveis de óxidos de manganês (Prancha 4: Fotos 1, 2 e 4); brechas sedimentares com clastos angulosos de quartzitos hematíticos em matriz quartzo-sericítica também ocorrem.

Regionalmente típica, ocorre em toda a extensão da área de mapeamento (Anexo 1), sendo mais espessa na parte oeste e ocorrendo como estreitas faixas na parte central e sudeste. A Formação Cercadinho é representada por filitos quartzosos prateados com teores variáveis de grafita e/ou hematita e pacotes de quartzitos finos brancos sericíticos e outros ferruginosos e hematíticos, estratificados em bancos de níveis centimétricos a

Prancha fotográfica 4

Foto 1: Quatzito hematítico microconglomerático com nódulos (galhas) de óxido de manganês.
Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-687)

Foto 2: Detalhe de galhas porosas de óxido de manganês em matriz de quartzito hematítico grosso.
Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-687)

Foto 3: Intercalações de sericita filito prateado, metachert branco e argilas manganesíferas cor “borra de café”.
Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-687)

Foto 4: Nodulos milimétricos de óxido de manganês em matriz quartzítica hematítica.
Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-687)



decimétricos, finos níveis de itabiritos hematíticos e quartzitos brancos puros finos e sacaroidais. Ocorrem também bancos carbonáticos ora manganesíferos (sempre intemperizados, como argilas manganesíferas) (Prancha 4: Foto 3), ora não, e ainda, em menores exposições filitos finos de cores vermelhas a verde amareladas, originadas por frente redox, do intemperismo de sulfetos. Ocorre também magnetita, tanto fina, disseminada na rocha, quanto sob a forma de porfiroblastos milimétricos idioblásticos.

Os filitos prateados possuem cor cinza clara e são compostos de sericita, quartzo fino subordinado, hematita fina disseminada e grafita em traços. Comumente apresentam ainda cianita porfiroblástica geralmente pós-cinemática em rosetas. Com o aumento dos teores de grafita e diminuição de quartzo gradam para filitos grafitosos com tons de cinza mais escuros. Esses filitos ocorrem em camadas centimétricas a decimétricas formando pacotes de até 50 metros de espessura.

As rochas da Formação Cercadinho, em geral não apresentam potencial econômico, a não ser por novas pesquisas e investimentos no filito sericítico, usado na indústria como superfilitos.

Quanto à evolução sedimentar da Formação Cercadinho, observa-se da base para o topo a diminuição na ocorrência de: carbonatos (brancos e róseos), calciosilicáticas, bancos centimétricos a decimétricos de metaconglomerados com nódulos de óxido de manganês; e um aumento, também da base para o topo, na ocorrência de: bancos quartzíticos hematíticos com níveis de filitos sericíticos, sendo que, a presença de bancos cada vez mais espessos de filitos se torna mais freqüente. A deposição das rochas da Formação Cercadinho é essencialmente química, caracterizada pela sedimentação de *chert* e pela presença de hematita fina, junto a este, na matriz da rocha; subordinadamente apresenta contribuição clástica fina, dada pela presença dos filitos, originados da deposição de pelitos por decantação. Como já dito, as ocorrências de metaconglomerados de matriz quartzo-hematítica com nódulos de óxido de manganês, são de origem, ainda discutível, porém podem ser originados de prováveis fragmentos de carbonatos rodocrosíticos da Formação Gandarela, mas não se conhece ao certo sua origem e processo sedimentar.

Perfis de detalhe

Os perfis de detalhe da Formação Cercadinho foram descritos em afloramentos, em cortes de estrada, na parte central e oeste da área mapeada (Anexo 1, Afloramentos

57, 687 e 1015; cf. Anexo 2). As rochas presentes são itabiritos quartzo-hematítico pobres a quartzitos hematíticos intercalados com filitos sericíticos típicos, apresentando-se em geral, intemperizados. Nos três cortes foram limpas 4 secções para as descrições detalhadas e amostragens de canal e de amostras de mão conforme necessidade. No Anexo 5 são apresentadas as frentes levantadas no afloramento 57, as seções colunares individuais e a respectiva legenda litológica.

Sem exceção, todos os perfis de detalhe, apresentam-se intemperizados, constituídos por quartzitos friáveis e argilas arenosas manganesíferas (Prancha 5: Fotos 1 e 2) ou dolomíticas, de dissolução de carbonatos; apenas as camadas filíticas com cianita, apresentam-se um pouco melhor preservadas.

De um modo geral, estes afloramentos mostram a alternância característica entre: bancos de quartzitos hematíticos - em níveis variáveis de hematita – itabiritos pobres pulverulentos do tipo "blue dust" (Prancha 5: Foto 1), bancos de *metachert* puro (Prancha 5: Foto 2), bancos de filitos sericíticos prateados (Prancha 5: Foto 3) - com ou sem cianita - bancos carbonáticos manganesíferos e bancos carbonáticos dolomíticos (Prancha 4: Fotos 1, 2, 3 e 4), além de camadas milimétricas de talco e grafita.

São deformados por uma foliação principal (S_n) paralela ao acamamento original (S_0); a crenulação é visível somente nos planos filíticos. Também ocorrem veios de quartzo recristalizado, com porfiroblastos milimétricos de magnetita associados, estes ora são pseudoconcordantes ora nitidamente discordantes da foliação principal, sendo mais freqüentes nos bancos carbonáticos manganesíferos e em menor quantidade nos bancos quartzíticos hematíticos, ocorrem também veios de quartzo *boudinados*.

Como possível critério de topo e base observa-se em virtualmente todos os bancos quartzíticos das seções detalhadas o empobrecimento de ferro da base para o topo, sendo na base a maior ocorrência de carbonatos manganesíferos e carbonatos dolomíticos.

Ocorrência de óxido de manganês sob diversas formas, pode ser observada na base do afloramento 687, onde ocorrem bancos de argila manganesífera (prancha 4: foto 3), bancos quartzíticos hematíticos-manganesíferos com estratificação milimétricas de lentes de óxido de manganês (Prancha 4: Foto 4), filitos sericíticos prateados com níveis e flasers de óxido de manganês e bancos de quartzo hematítico com óxido de manganês estilolitizado. Também apresenta bancos quartzo manganesífero com intraclastos de

Prancha fotográfica 5

Foto 1: Porção de saprolito arenoso anteriormente rico em dolomitos e dolomitos manganesíferos. Topo da coluna estratigráfica.

Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-57)

Foto 2: Intercalação de bancos decimétricos de dolomitos manganesíferos e quartzitos hematíticos ricos.

Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-57)

Foto 3: Parte basal do detalhamento. Nota-se maior ocorrência de saprolitos arenosos de dolomitos e dolomitos manganesíferos.

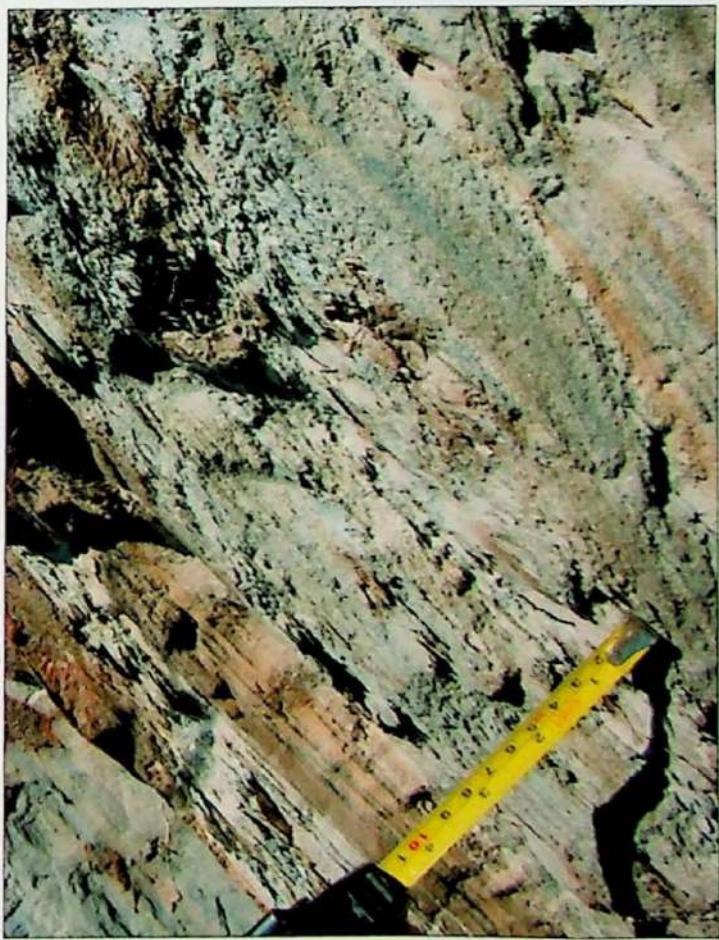
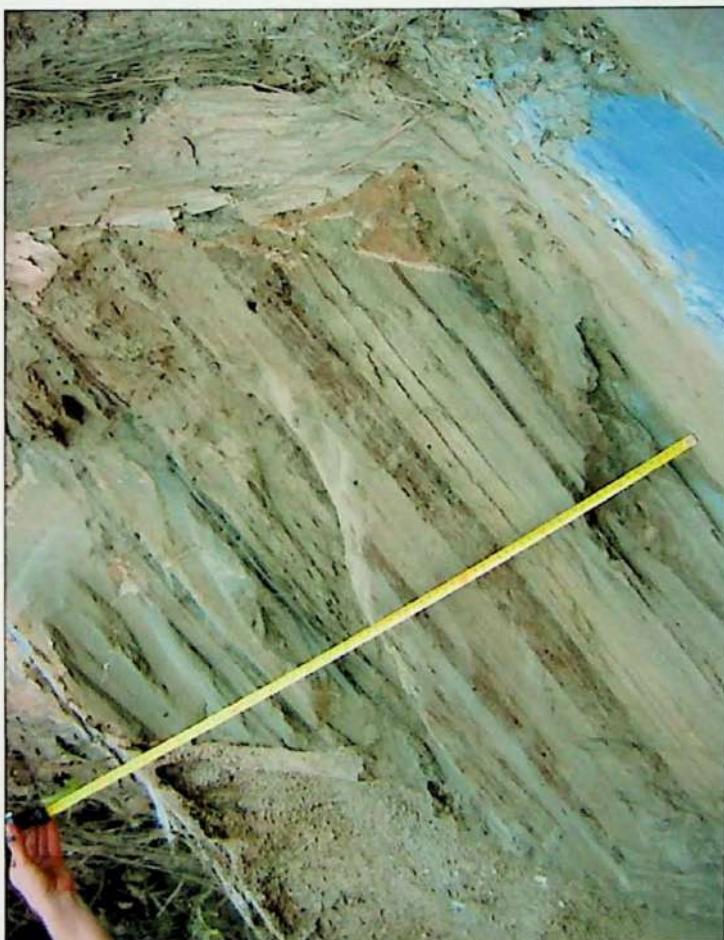
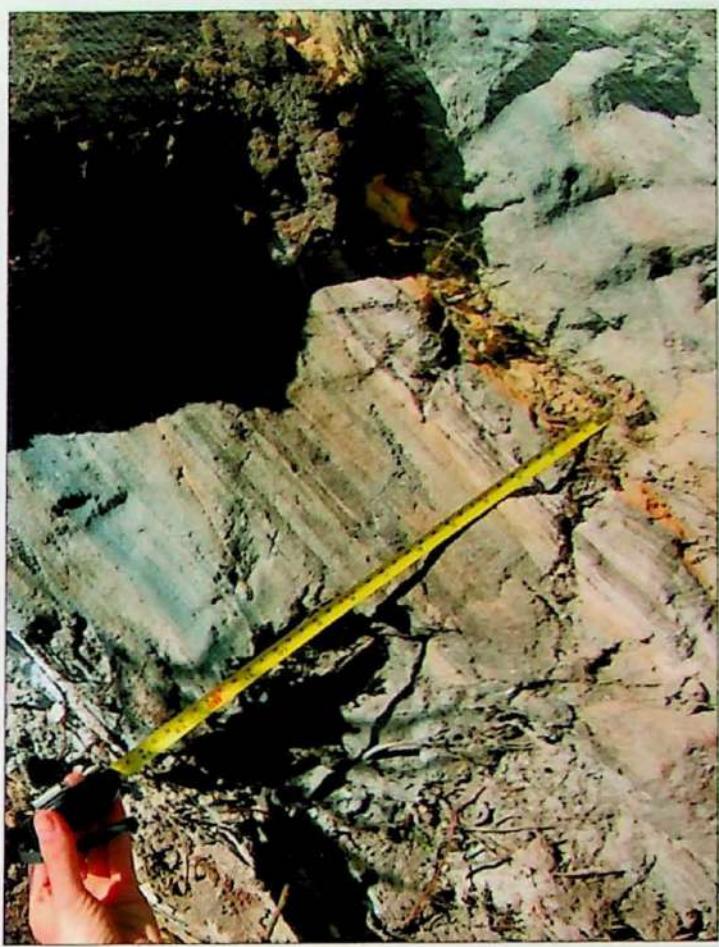
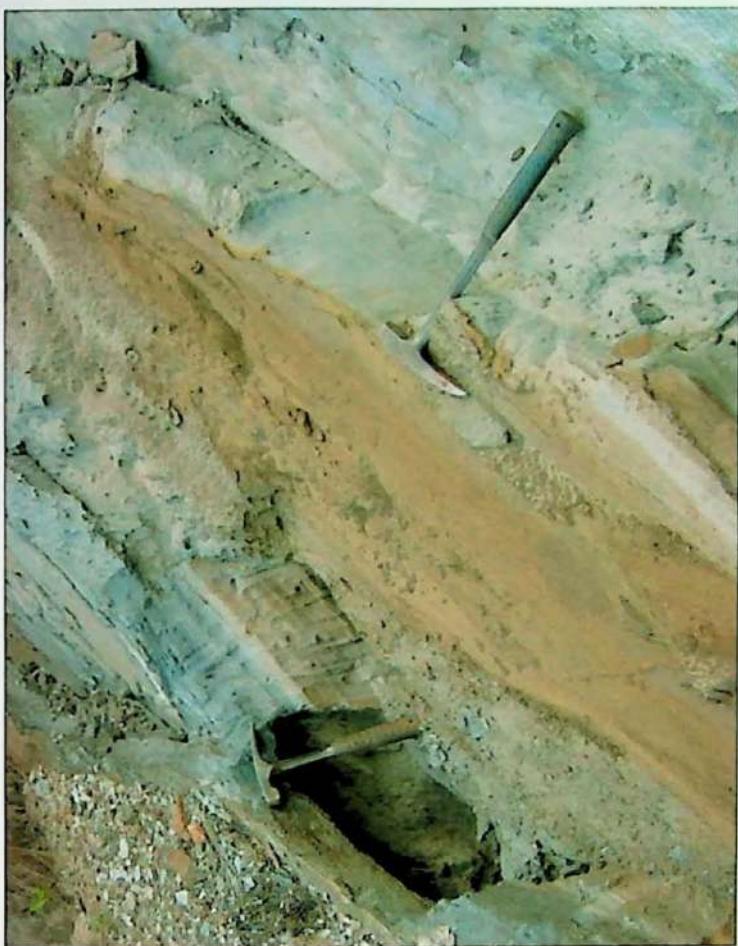
Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-57)

Foto 4: Intercalações de quartzito hematítico, saprolitos arenosos de dolomitos manganesíferos, filitos prateados com cores de frete redox.

Fm. Cercadinho

(Afloramento GX-57)



óxido de manganês (Prancha 4: fotos 1, 2 e 4) e brechas sedimentares com clastos angulosos, variando de grânulos a seixos, de quartzo-hematita e filitos em uma matriz quartzo-hematítica-manganesífera.

Sob aspectos compositionais e metamórficos são notáveis bancos com porfiroblastos de magnetita idioblástica, em geral próximas a veios de quartzo, rosetas de cianita, além de talco e grafita.

7.2.2 Petrografia e Metamorfismo: Para caracterizar os metassedimentos ferríferos do Supergrupo Minas foram confeccionadas 37 seções polidas, 35 seções delgadas, 19 lâminas de grãos e como grande parte das amostras apresentam-se intemperizadas, estas foram observadas em lupa binocular. A localização dos afloramentos que possuem análises pode ser encontrada no Anexo 6.

Formação Cauê

A formação ferrífera Cauê é representada por itabiritos quartzo-hematita-magnéticos e itabiritos dolomíticos, em geral, muito intemperizados e limonitizados.

Devido ao forte intemperismo, os minérios de ferro, apresentam-se muito porosos, onde grande parte destes poros é preenchida por óxi-hidróxidos de ferro. As rochas desta formação são em sua maioria deformadas, possuindo foliação S_n paralela ao acamamento S_0 e crenulação; localmente apresentam foliação milonítica.

Em lupa foi possível observar que grande parte dos poros é preenchida por goethita botrioidal e com menos freqüência por chert grosso; a cimentação é em geral, dada por limonita fina (Prancha 6: Foto 1).

Cerca de 90% das amostras de itabirito apresentam magnetita porfiroblástica cortando a foliação principal, além de hematita espacial, tanto em meio aos cristais de hematita e magnetita como em veios de quartzo recristalizado.

Os minérios de ferro possuem assembléias minerais, em geral, parecidas, sendo compostos em maioria, por magnetita (50 a 80%), hematita (5 a 15%), espacialita (10 a 30%), goethita (10 a 40%), quartzo (10 a 30%); apatita ocorre localmente como mineral traço.

Prancha fotográfica 6

Foto 1: Goetita botrioidal, quartzo e limonita em fragmento de minério de ferro

(Afloramento GX-112)

Foto 2: Itabirito duro, compacto, pouco intemperizado. Fratura com espécularita.

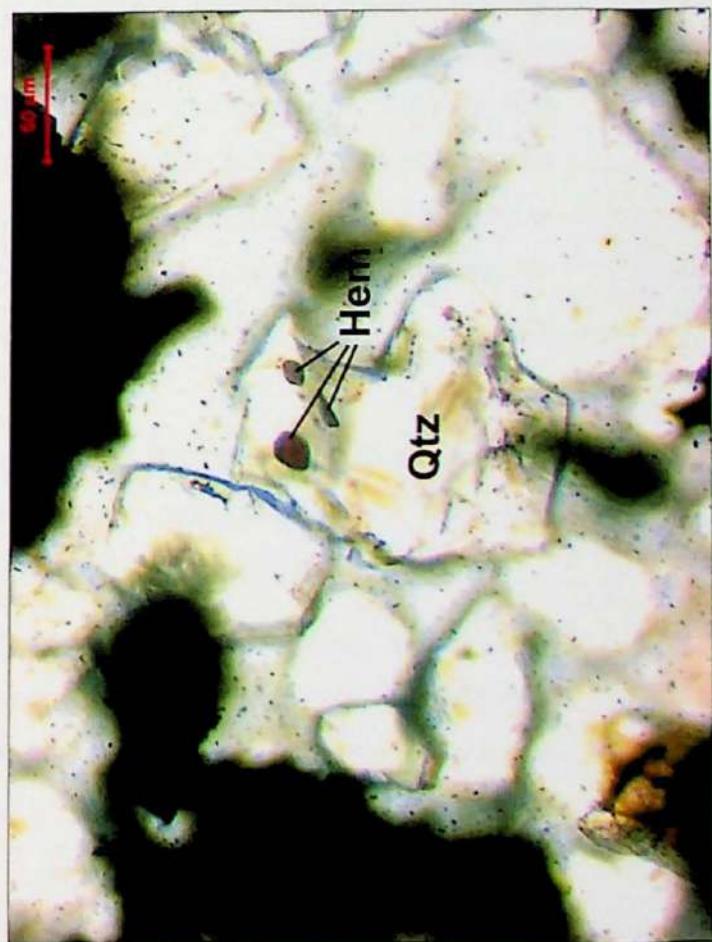
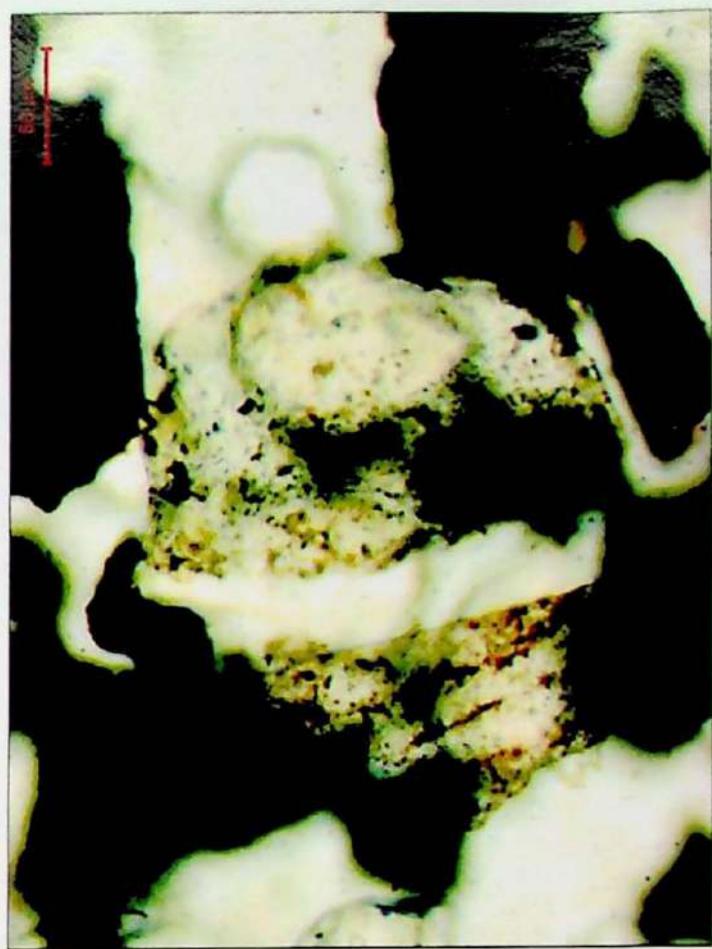
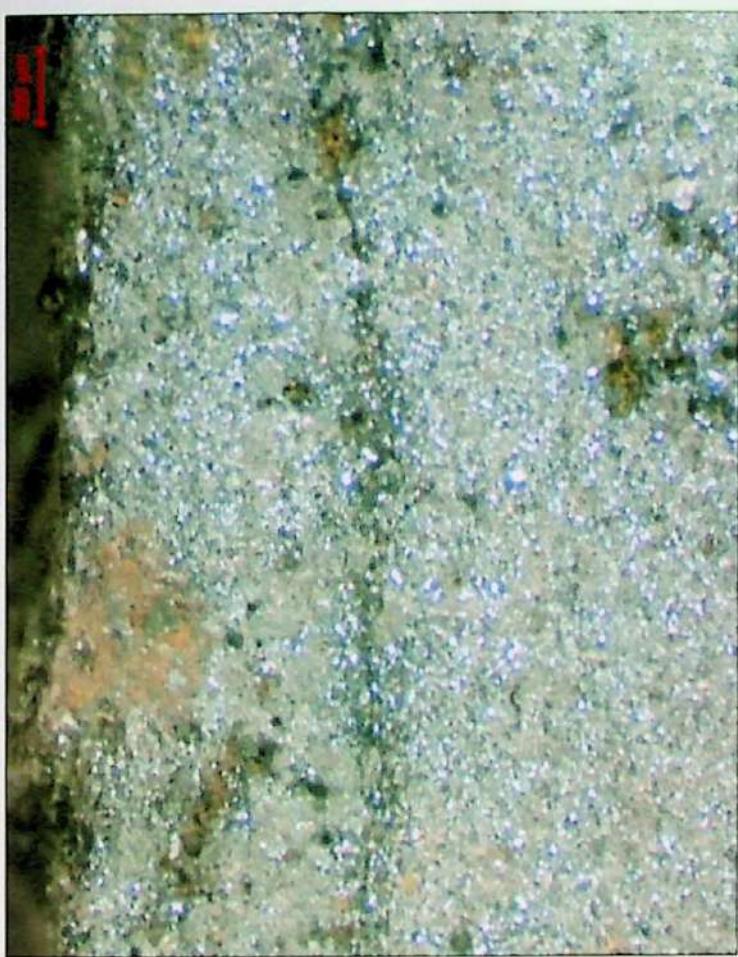
(Afloramento GX-77)

Foto 3: Quartzo com inclusões de hematita

(Afloramento GX-86)

Foto 4: Agregados de cristobalita em minério de ferro itabirítico.

(Afloramento GX-86)



O quartzo se apresenta em cristais irregulares, de granulação fina, com inclusões de carbonato e/ou hematita, (Prancha 6: Foto 3). Localmente apresenta-se substituído para cristobalita criptocristalina supergênica (Prancha 6: Foto 4). O quartzo ocorre principalmente nas amostras com hematita e subordinadamente nas amostras magnetíticas (preenchendo poros).

A magnetita raramente está bem preservada, sob a forma de cristais euedrais octaédricos bem formados; mais comumente apresenta variado grau de alteração – martitização. Quando muito alterada, têm-se somente fantasmas de magnetita, já totalmente alterada para hematita. Na maioria das seções observadas, a magnetita apresenta médio grau de alteração, mostrando lamelas de hematita (Prancha 7: Foto 1) que crescem da borda para o centro em retículos triangulares, segundo seus planos octaédricos.

Nas amostras que possuem cerca de 80% de magnetita a textura é em geral granoblástica, tanto porfiroblástica, quanto em agregados irregulares, relativamente mais finos. (Prancha 7: Foto 4).

A hematita existe sob duas formas: a mais comum, como cristais lamelares dentro de cristais octaédricos de magnetita (martitização) e em menor quantidade como cristais tabulares substituídos por magnetita. Este segundo tipo de ocorrência mostra que a magnetita é secundária e se forma a partir da hematita (primária) (Prancha 7: Foto 4). Em algumas seções ricas em hematita pode-se observar forte foliação e crenulação (Prancha 7: Foto 2), apresentando hematita pré-tectônica, com lamelas dobradas por crenulação e esta quebrada por foliação de trasposição. Especularita ocorre em geral junto a cristais de magnetita, quartzo e comumente junto à goethita, preenchendo poros (Prancha 7 – foto 3).

A goethita ocorre em geral junto a grãos de magnetita, cimentando-os ou, em maior parte, preenchendo poros, sendo quase inexistente nas partes mais ricas em hematita. Apatita ocorre como traço, mostrando-se em geral em cortes hexagonais.

A principal paragênese nos itabiritos é dada por magnetita+hematita, sendo vista sob duas formas distintas: uma mostrando a magnetita se formando a partir de hematita primária e a outra, mais comum, mostrando a magnetita metamórfica sendo substituída por hematita.

Prancha fotográfica 7

Foto 1: Magnetita martitizada.
Seção Polida
Polarizadores cruzados

(Afloramento GX-Z-39)

Foto 2: Hematita compacta, foliada e crenulada.
Seção polida.
Polarizadores cruzados.

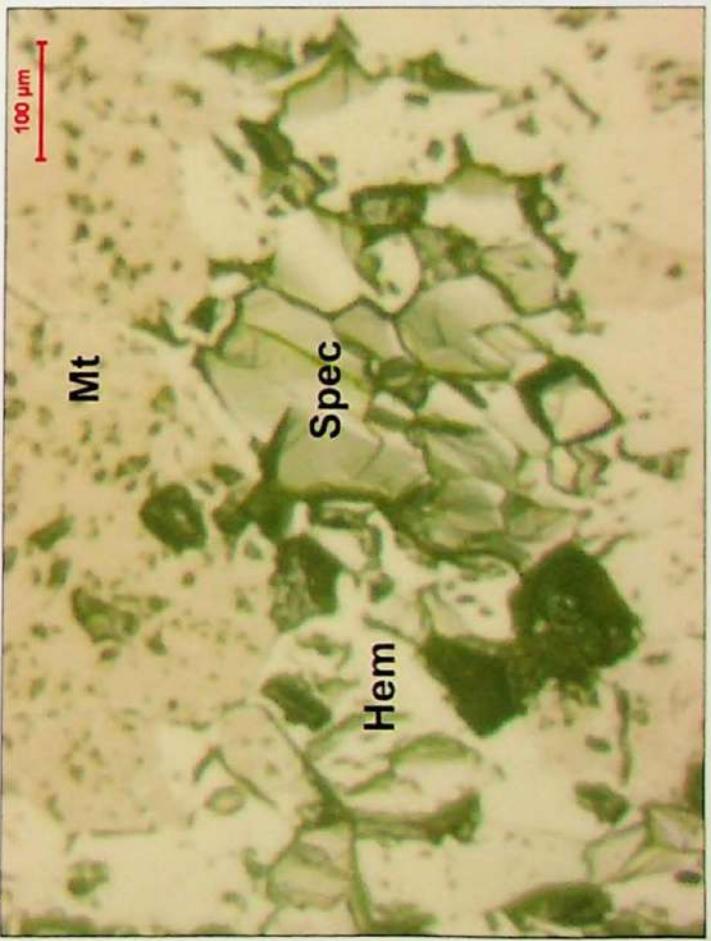
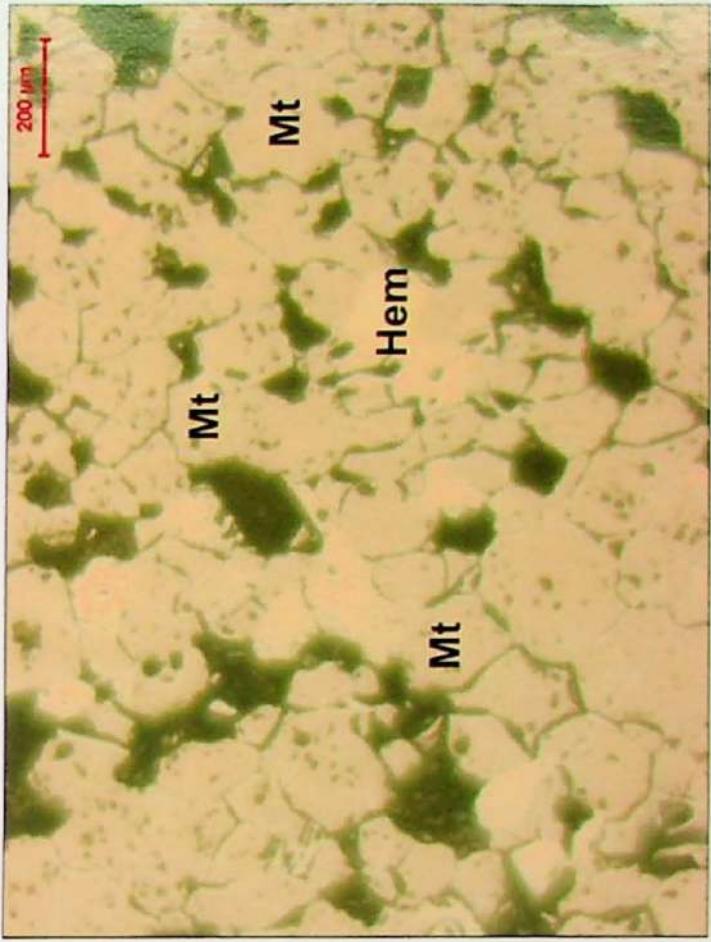
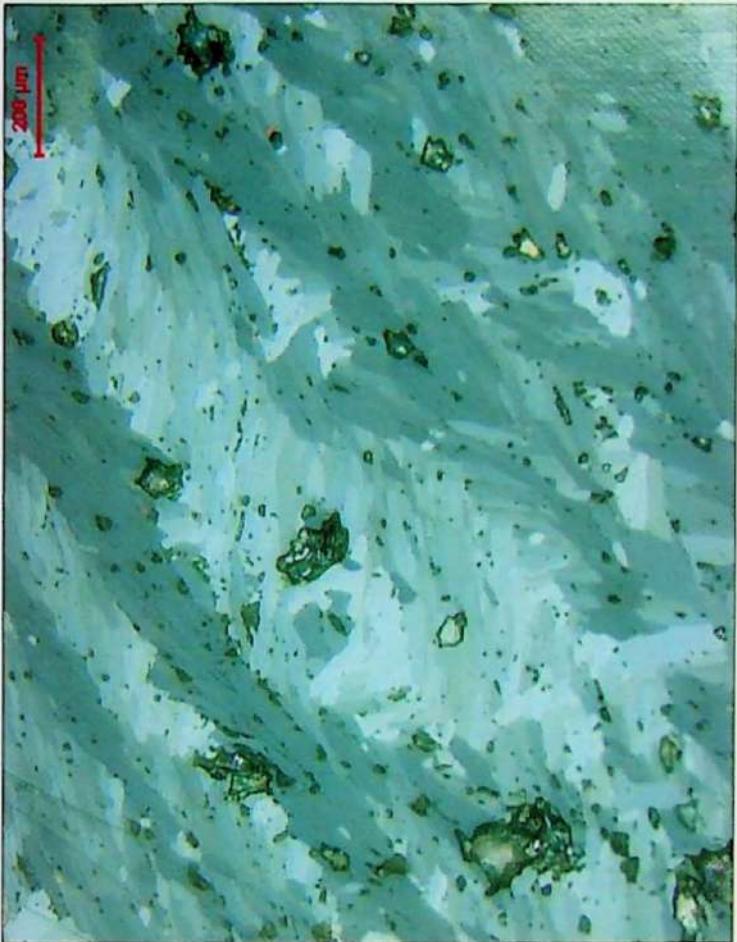
(Afloramento GX-Z-42)

Foto 3: Hematita, magnetita e especlarita em paragênesis. Seção polida. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-111)

Foto 4: Magnetita compacta com restos de hematita primária. Seção polida. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-111)



Formação Gandarela

A Formação Gandarela é representada por carbonatos e mármores dolomíticos e calcíticos, itabiritos quartzo-hematíticos, itabiritos quartzo-dolomita-magnetíticos, bancos de *metachert* e bancos calciosilicáticos.

Apresenta-se em geral deformada, com a S_n paralela a S_o , geralmente crenulada, o que somente é visível nos planos ricos em espécularita e, em geral nas porções impuras, heterogêneas. Ocorrem ainda veios de quartzo e calcita deformados, sendo provavelmente pré-tectônicos (Prancha 8: Foto 4). Cristais de talco, clorita, porfiroblastos de magnetita e alguns veios tanto de quartzo quanto de carbonato mostram-se pós-tectônicos, pois, cortam a foliação principal

Em lupa, observa-se ainda a presença de rochas quartzo-carbonáticas ricas em hematita espelhada, com cavernas de dissolução em veios de calcita. A pirita ocorre eventualmente nas partes carbonáticas (Prancha 8 – foto 3), magnetita porfiroblástica (Prancha 8 – foto 1) também são observadas. Também se observa em itabiritos carbonáticos (dolomíticos) a presença de clorita.

Os itabiritos da Formação Gandarela apresentam assembléia mineral composta por: quartzo (20 a 50%), carbonatos, entre eles, dolomita e calcita (30 a 80%), hematita (10 a 60%), magnetita (5 a 30%), clorita (5 a 25%), talco (2 a 15%), tremolita-actinolita (5 a 25%). Fantasmas de possível granada ocorrem em apenas uma lâmina, sendo totalmente substituído por quartzo e limonita.

A magnetita apresenta-se sob a forma de porfiroblastos, no geral, em matriz composta por maior quantidade de carbonato e menor quantidade de quartzo e raramente ocorre junto à hematita espelhada. Em geral os porfiroblastos de magnetita se apresentam pouco martitizados. A hematita apresenta-se sob duas formas distintas, designadas hematita 1 e hematita 2 : Hematita 1 ocorre como hematita tabular primária, em geral, entre os cristais de magnetita já hematita 2 ocorre sob a forma de lamelas de hematita dentro de cristais octaédricos de magnetita sendo, portanto, hematita de martitização.

Quartzo ocorre tanto em pequenos cristais junto ao carbonato quanto em veios com cristais de quartzo grosso irregulares. Todos os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante e inclusões de carbonato e hematita.

Prancha fotográfica 8

Foto 1: Porfiroblástos de magnetita em quartzo e carbonato.

(Afloramento GX-386)

Foto 2: Leitos de hematita espacular alternados com leitos de quartzo.

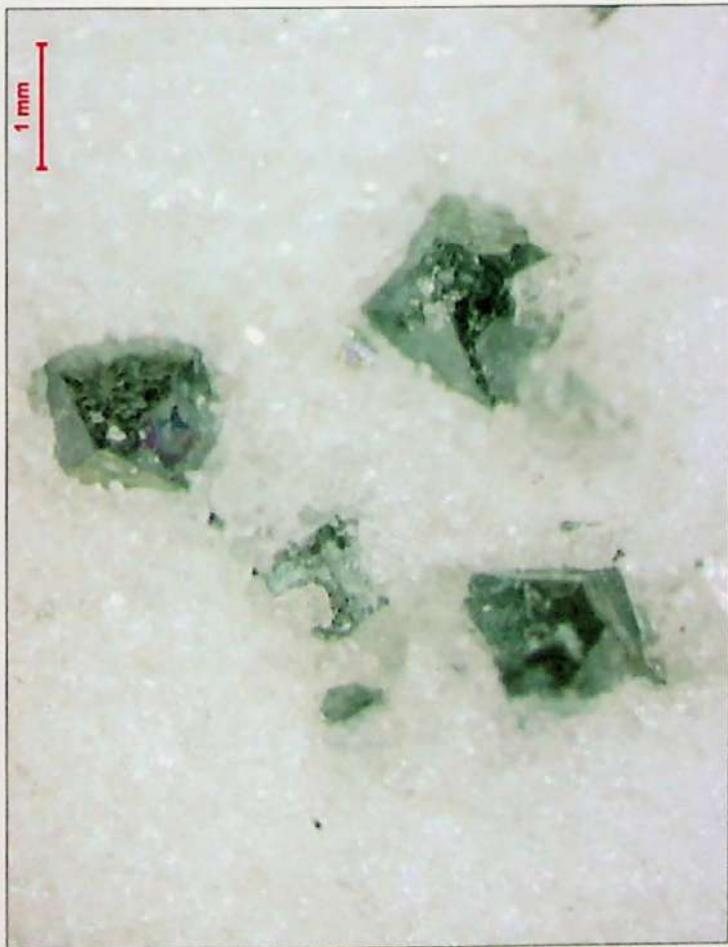
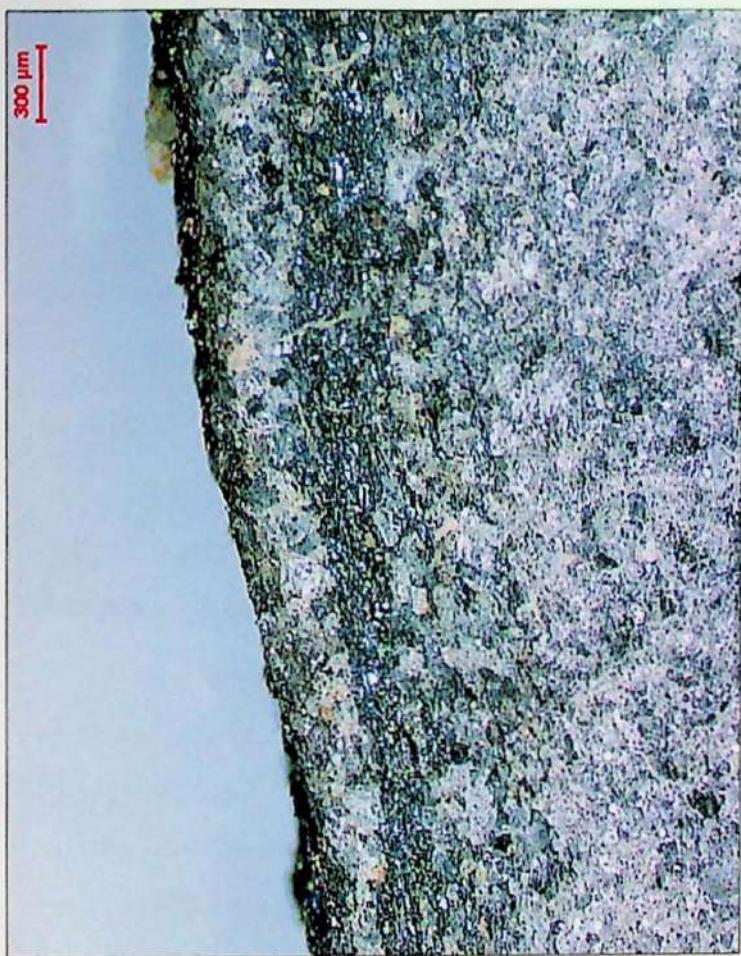
(Afloramento GX-458)

Foto 3: Piritita e hematita em carbonatos.

(Afloramento GX-458)

Foto 4: Veio de quartzo irregular dentro de porção itabirítica.

(Afloramento GX-458)



Os carbonatos predominantes são dolomita e calcita, e apresentam-se tanto como cristais grossos, quanto perfazendo a matriz da rocha junto com cristais de quartzo.

A clorita ocorre associada à hematita e, por vezes, também como inclusões em cristais maiores de hematita. Ocorre também junto ao carbonato e ao quartzo em palhetas finas ou ainda em contato com talco e tremolita-actinolita.

Talco apresenta-se como palhetas finas, truncando a foliação principal e em geral, ao lado de cristais de clorita ou de tremolita.

Tremolita-actinolita ocorre em maior quantidade junto à hematita, onde a tremolita-actinolita parece consumir a hematita; ocorre também porém em menor quantidade junto a cristais de clorita e subordinadamente a cristais de talco.

A assembléia mineral que caracteriza as ocorrências de rochas calciosilicáticas é: quartzo (até 20%), dolomita e calcita (40 a 70%), (Prancha 9: Foto 1); clorita (5 a 30%), hematita (5 a 20%), muscovita (até 10%), talco (até 10%) e tremolita-actinolita (5 a 15%); localmente ocorrem ainda estaurolita (até 5%), clinozoisita/epídoto (até 2%) e cianita (menos de 1%). Como minerais em traço tem-se turmalina azul, zircão, rutilo e pirita.

O quartzo ocorre em maioria, com granulação fina, principalmente quando em leitos quartzo-carbonáticos (Prancha 9: Foto 2). Apresenta inclusões de carbonato (Prancha 9: Foto 7) e hematita.

Os carbonatos alternam entre proporções maiores de calcita ou dolomita; ocorrem em vários tamanhos, geralmente granoblásticos grossos em leitos puros, e mais finos em leitos quartzosos ou hematíticos.

Muscovita ocorre em palhetas finas, geralmente em leitos quartzo-muscovíticos com hematita espelcular, transicionais para leitos metapelíticos, ou seja, indica contribuição clástica fina.

Prancha fotográfica 9

Foto 1: Carbonato, com finos leitos de quartzo e de hematitas tabulares. Polarizadores paralelos.
(GX-386)

Foto 2: Leitos finos de hematita, quartzo e carbonato, em porções variadas. Polarizadores paralelos.
(GX-386)

Foto 3: Porfiroblasto de estaurolita poiquiloblástico a idiooblástico em paragênese com muscovita, quartzo e opacos. Polarizadores cruzados.
(GX-684)

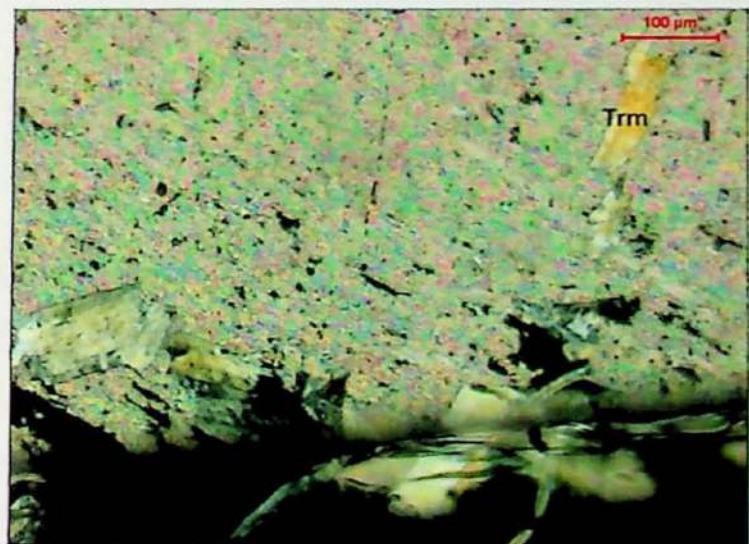
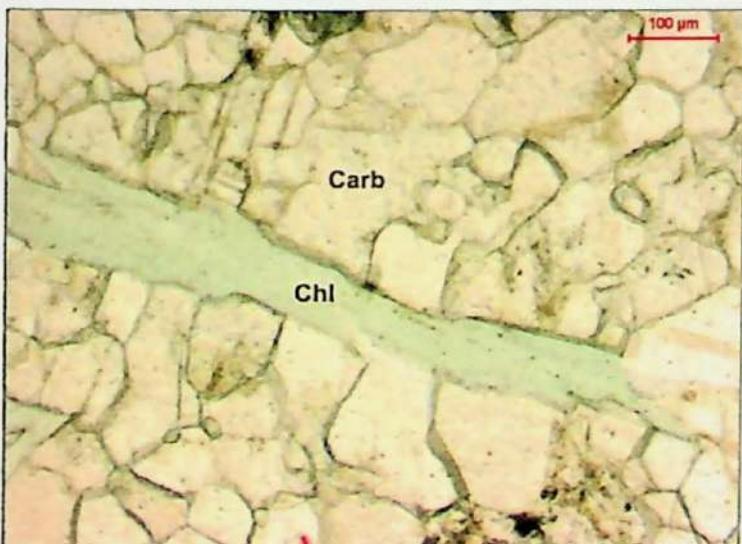
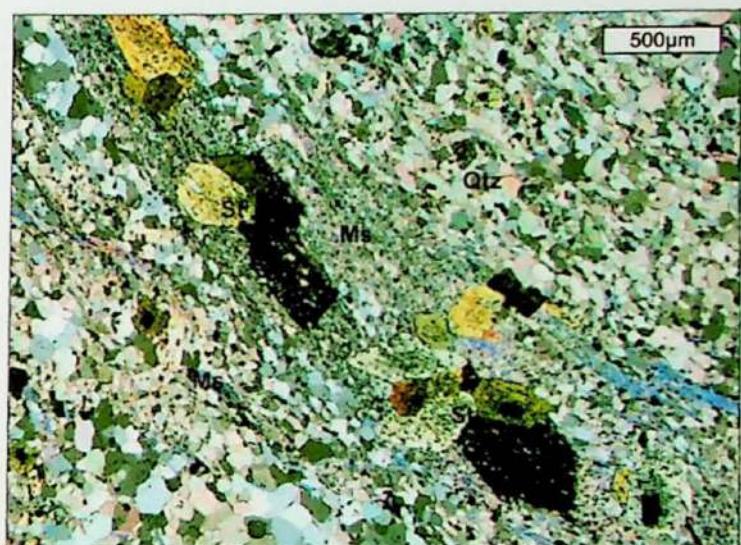
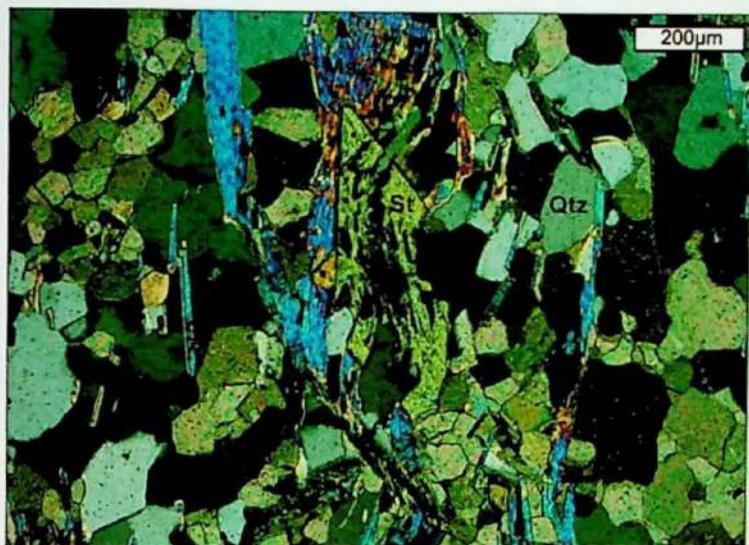
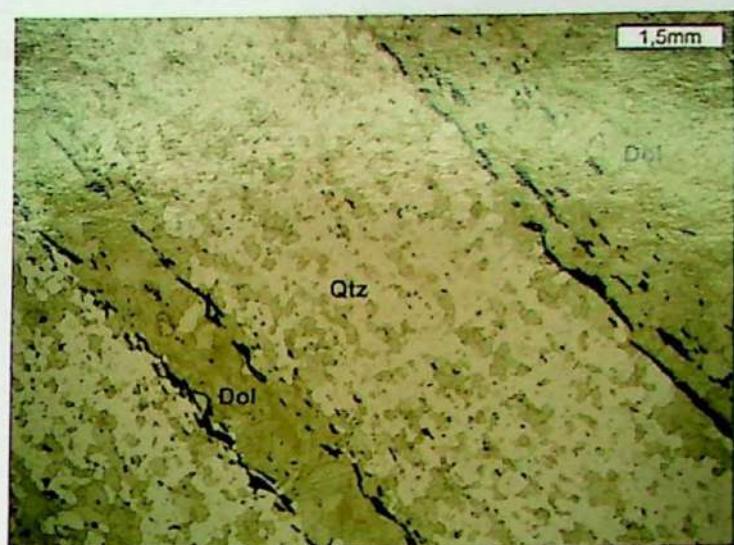
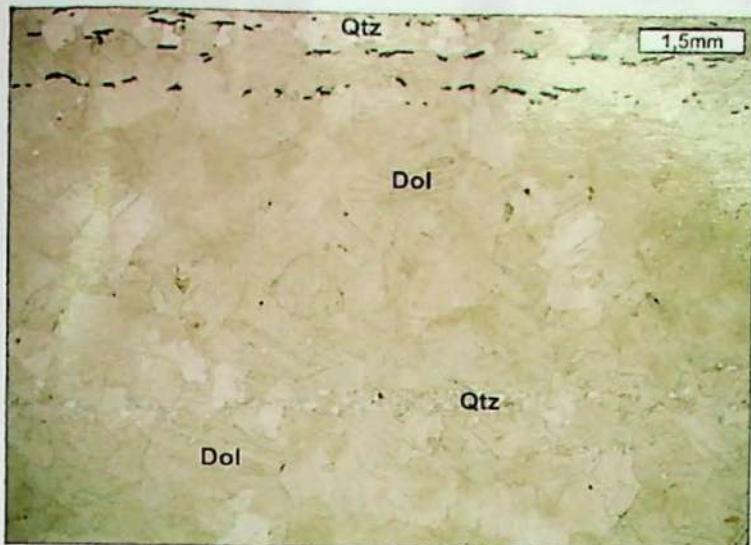
Foto 4: Porfiroblastos de estaurolita idiooblásticos e poiquiloblásticos em leito metapelítico. Polarizadores cruzados.
(GX-684)

Foto 5: Cristais de clorita em veio de carbonato. Polarizadores paralelos.
(GX-458)

Foto 6: Tremolita porfiroblástica pós-tectônica em talco xisto com clorita subordinada e opacos. Polarizadores cruzados.
(GX-366)

Foto 7: Inclusões de carbonato em quartzo. Polarizadores paralelos.
(GX-386)

Foto 8: Carbonato graboblástico grosso com inclusões de quartzo. Polarizadores cruzados.
(GX-386)



Talco está presente, em geral, com granulação fina e disseminado na matriz carbonática ou em rochas calciosilicáticas formando níveis delgados de talco xisto (Prancha 9: foto 6). Estaurolita possui textura poiquiloblástica idioblástica com inclusões de quartzo, apresentando-se sempre em contato com muscovita e hematita fina, em leitos metapelíticos, (Prancha 9: Fotos 3 e 4). Os cristais de cianita também apresentam textura poiquiloblástica e inclusões de quartzo; assim como a estaurolita, também, ocorre somente nos níveis metapelíticos.

Clinozoisita e epidoto apresentam textura poiquiloblástica, ocorrendo nos níveis ricos em quartzo e carbonatos.

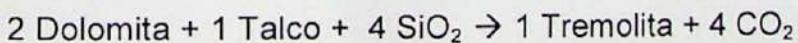
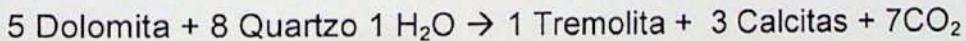
Quanto à tremolita, sua ocorrência é variável nas amostras de calciosilicáticas, ocorrendo em menos de 1% nas amostras com alta contribuição clástica fina, e até 15% nas amostras ricas em quartzo e carbonato.

Os cristais de zircão são em geral, arredondados, sendo que, alguns cristais apresentam-se alongados. Cristais de rutilo são idioblásticos e pouco alterados. Pirlita pode ser observada em alguns afloramentos, sendo em geral, idioblástica cúbica, bem formada, ocorrendo principalmente nas porções carbonáticas mais puras.

As principais paragêneses que puderam ser observadas foram: estaurolita-muscovita-quartzo (Figura 4: A); tremolita-carbonato-quartzo (Figura 4: B); muscovita-carbonato-quartzo e cianita-muscovita-quartzo (Figura 4: C).

Segundo os estudos de difração de raios X de 9 amostras de carbonato da Formação Gandarela realizados (Anexo 7) os carbonatos são: dolomita e calcita, aparecendo também, subordinadamente, quartzo e talco (Figura 5). Sendo assim a paragênese, citada acima, pode ser representada por: tremolita-dolomita-quartzo (Figura 4: B)

A alta pressão parcial de CO₂ pode ter contribuído para que a calcita seja estável com a cianita, mesmo em fácies anfibolito, impedindo a reação:



As assembléias minerais são sugestivas de metamorfismo em fácies xisto verde alto a anfibolito baixo.

Prancha fotográfica 10

Foto 1: Crenulações em filito com hematita pré a sin tectônica e turmalina pós-tectônica. Seção delgada. Polarizadores cruzados.

(Afloramento GX-217)

Foto 2: Cianita acicular. Montagem de grãos em glicerina, em lupa binocular. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-736)

Foto 3: Cristais de cloritoide e hematita. Montagem de grãos em glicerina, em lupa binocular. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-1015)

Foto 4: Cloritoide em matriz sericítica com hematita. Seção delgada. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-217)

Foto 5: Inclusões de carbonato em grão de quartzo. Montagem de grãos em glicerina, em lupa binocular. Polarizadores cruzados.

(Afloramento GX-1015)

Foto 6: Inclusões de hematita em grãos de quartzo. Montagem de grãos em glicerina, em lupa binocular. Polarizadores cruzados.

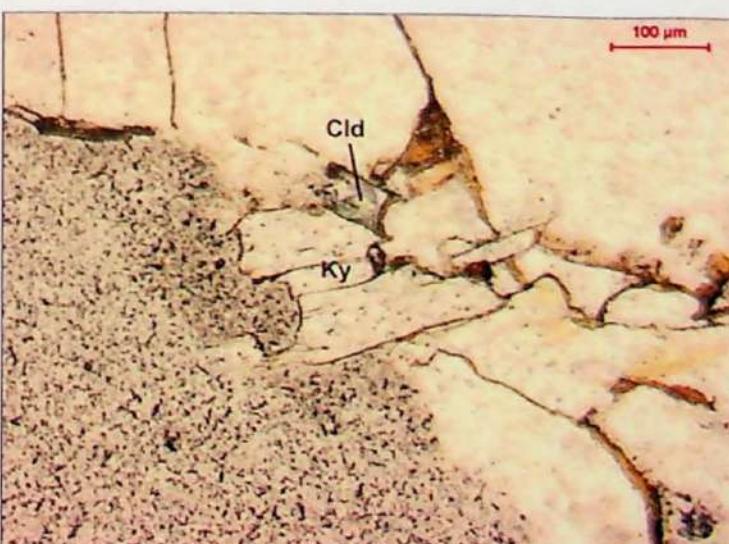
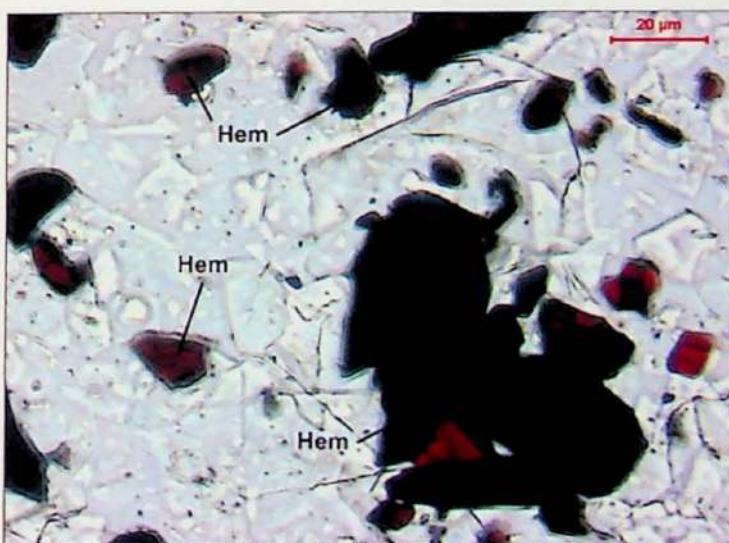
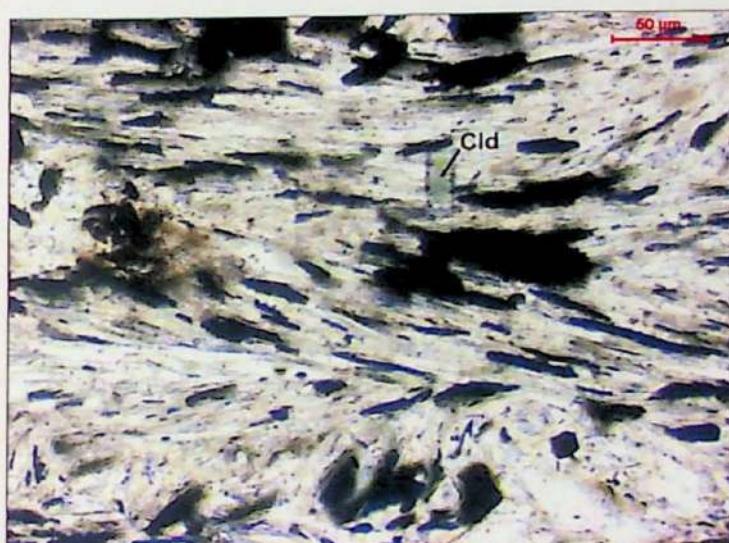
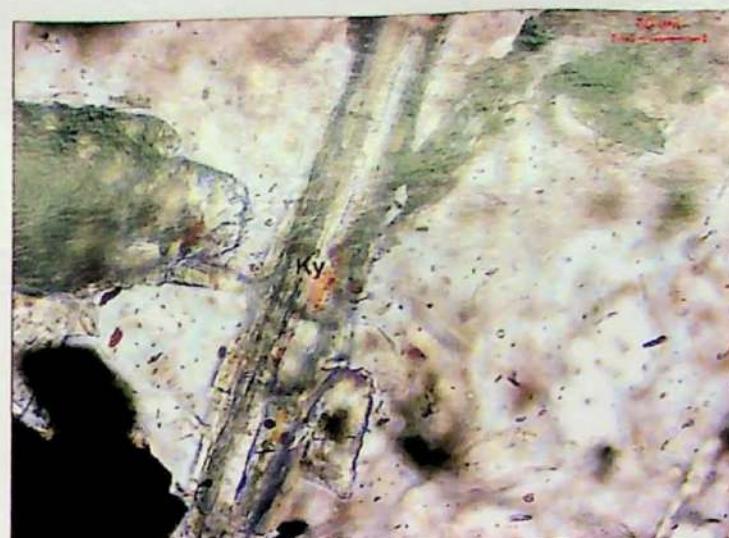
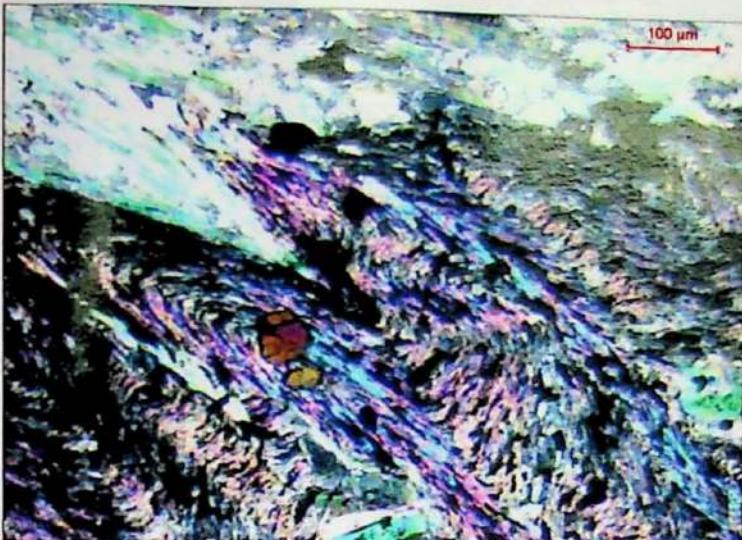
(Afloramento GX-1015)

Foto 7: Cloritoide e talco ou serecita em quartzito. Seção Delgada. Polarizadores cruzados.

(Afloramento GX-215)

Foto 8: Cloritoide, quartzo e cianita em paragênese. Seção delgada. Polarizadores paralelos.

(Afloramento GX-215)



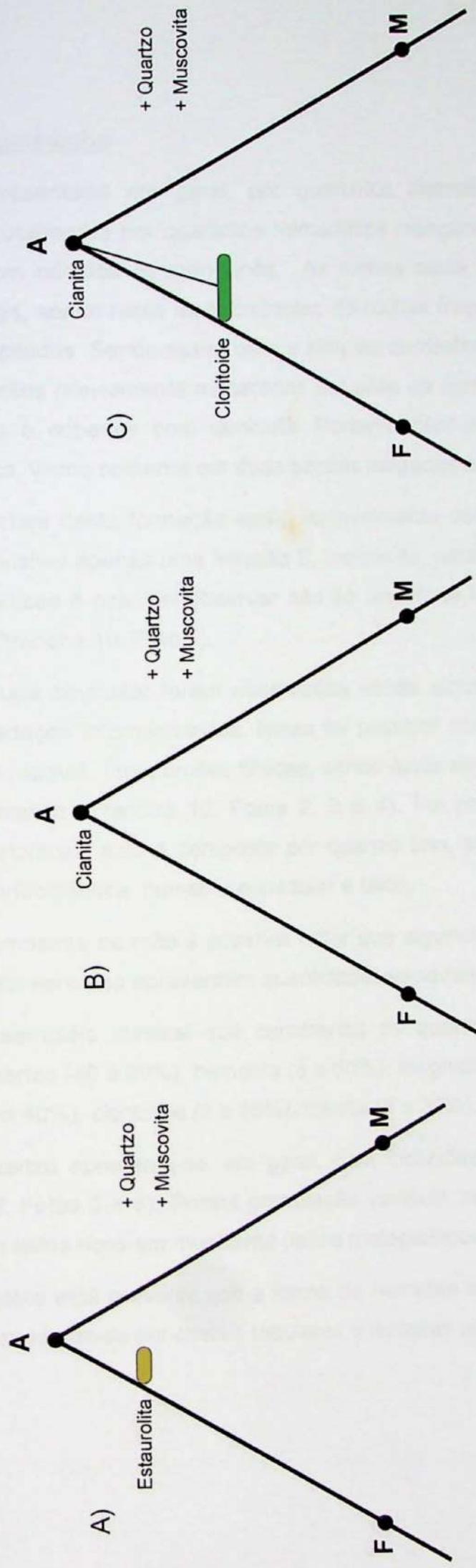


Figura 4: Paragêneses observadas em: calciosilicáticas com lentes metapelíticas (Diagramas AFM e CMS); A) estaurolita-muscovita-hematita; B) cianita-muscovita-quartzo e C)cianita-cloritoide.

Formação Cercadinho

É representada em geral, por quartzitos hematíticos intercalados com filitos sericíticos e localmente por quartzitos hematíticos manganesíferos e quartzitos de matriz hematítica com nódulos de manganês. As rochas desta formação encontram-se muito intemperisadas, sendo raras as ocorrências de rochas frescas para confecção de seções delgadas ou polidas. Sendo assim para a simples conferência da mineralogia foram feitas lâminas de grãos previamente macerados em pilão de cerâmica, colocados sobre lâmina com glicerina e cobertos com lamínula. Portanto, têm-se poucos dados de textura e microtectônica, vistos somente em duas seções delgadas e três seções polidas.

As rochas desta formação estão variavelmente deformadas, sendo que na parte quartzítica é visível apenas uma foliação S_n incipiente, paralela ao acamamento S_0 , porém nas partes filíticas é possível observar não só uma forte foliação, como também notável crenulação (Prancha 10: Foto 1).

Em lupa binocular foram observadas várias amostras, tanto em pó quanto em pequenos pedaços intemperizados. Nas foi possível observar a presença de minerais em forma de rosetas, nas porções filíticas, sendo estes em maioria clorítóide e em menor quantidade cianita (Prancha 10: Fotos 2, 3 e 4). Foi possível notar também que nas porções quartzíticas, esta é composta por quartzo fino, sacaroidal, micas brancas finas, magnetita porfiroblástica, hematita especular e talco.

Em amostras de mão é possível notar que algumas, tanto de quartzito hematítico quanto de filito sericítico apresentam quantidades variáveis de grafita.

A assembléia mineral que caracteriza os quartzitos hematíticos com porções filíticas é: quartzo (40 a 90%), hematita (5 a 50%), magnetita (1 a 10%), muscovita/sericitita ou talco (10 a 40%), clorítóide (5 a 35%), cianita (5 a 30%).

O quartzo apresenta-se, em geral, com inclusões de carbonato e hematita fina (Prancha 10: Fotos 5 e 6). Possui granulação variável, sendo grosso em alguns leitos e mais fino em leitos ricos em muscovita (leitos metapelíticos).

Hematita está presente sob a forma de hematita especular em níveis (fitas) ricos, raramente apresenta-se em cristais tabulares e isoladas na matriz da rocha.

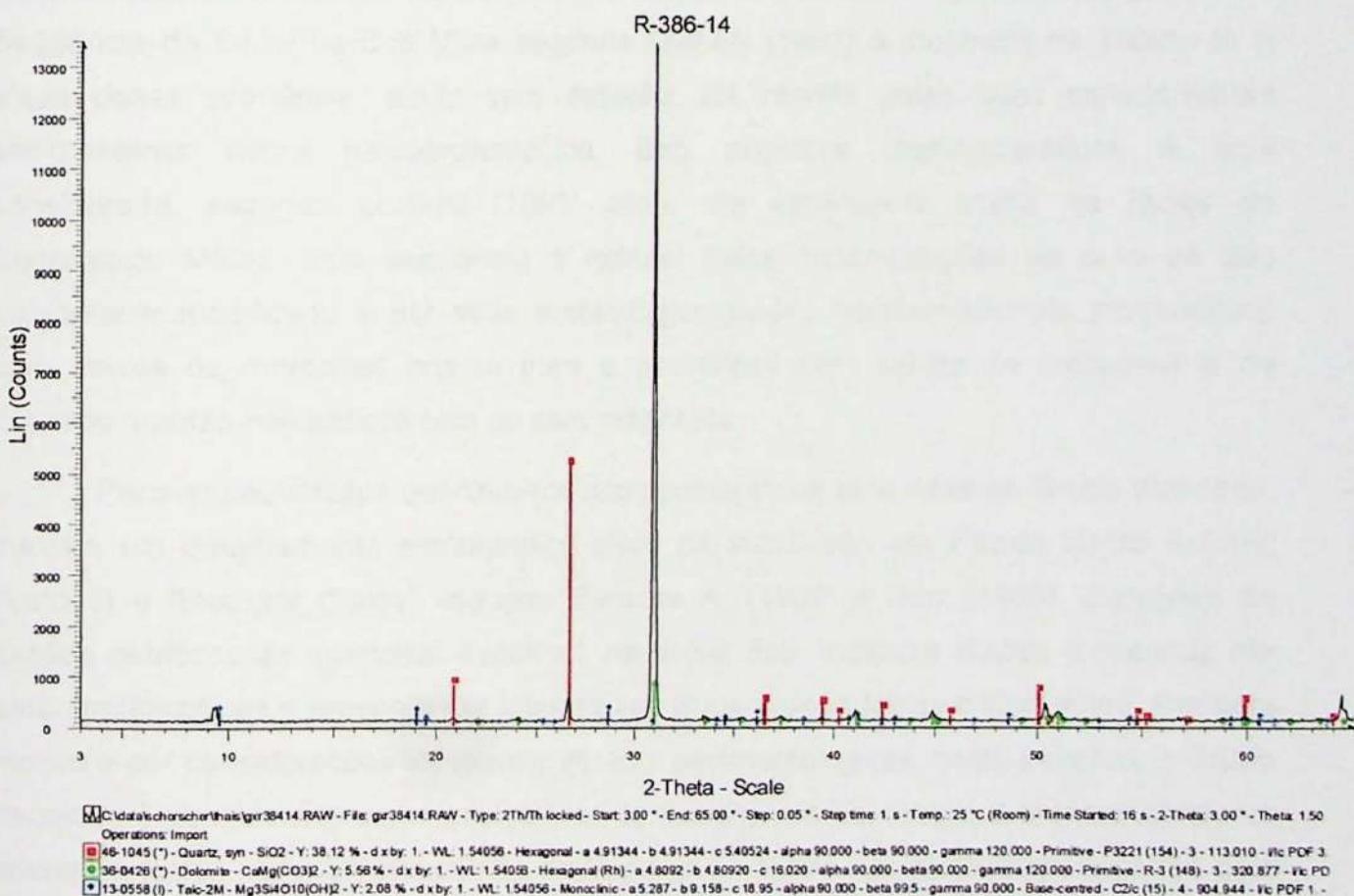
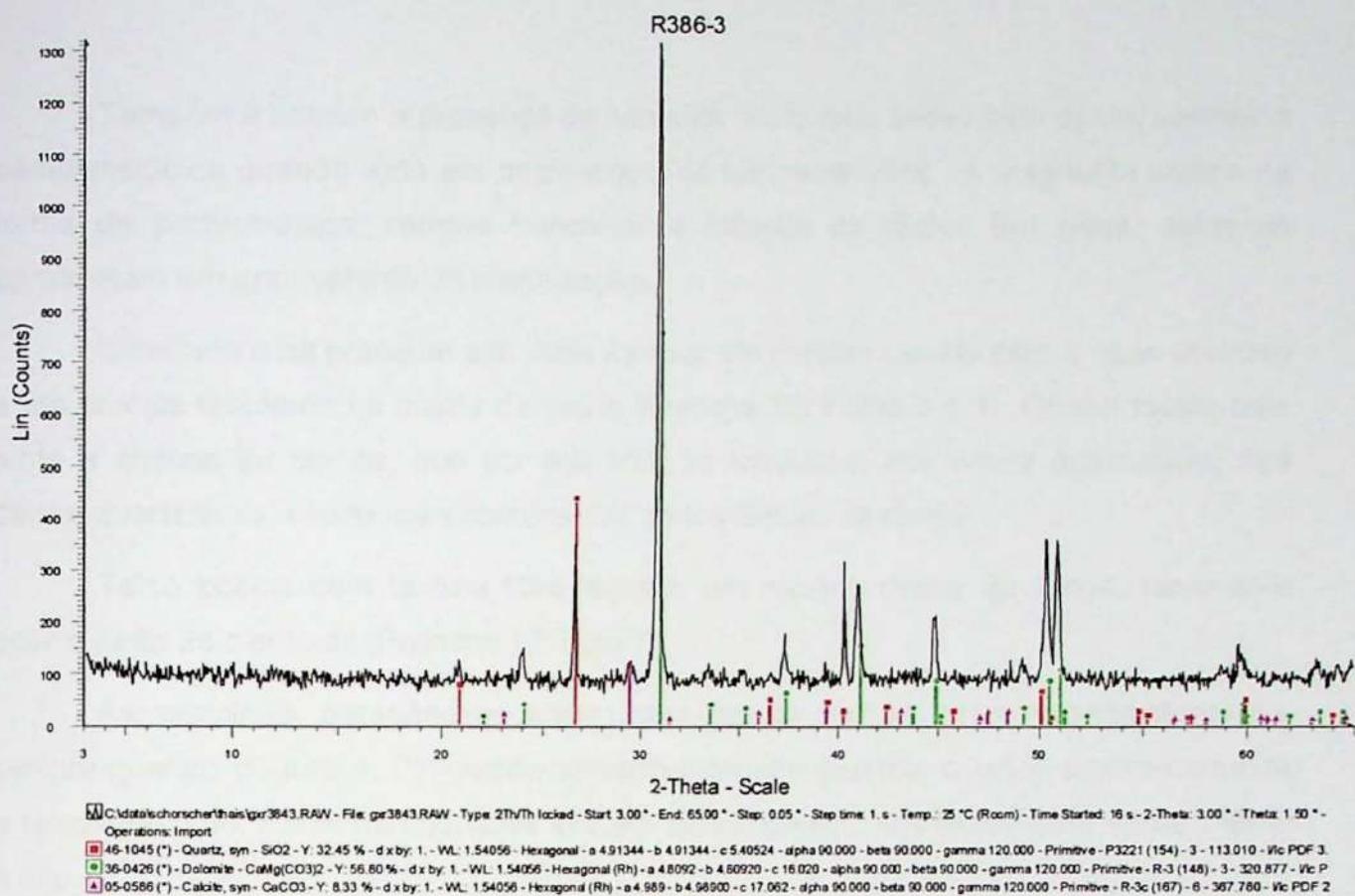


Figura 5: Difratogramas de carbonatos da Formação Gandarela

Também é comum a presença de hematita muito fina, sendo esta de cor vermelha semitranslúcida quando vista em microscópio de luz transmitida. A magnetita ocorre na forma de porfiroblastos, sempre truncando a foliação da rocha. Em geral, estes se apresentam em grau variado de martitização.

Clorítóide está presente sob duas formas: em rosetas (sendo esta a mais comum) e em cristais tabulares na matriz da rocha (Prancha 10: Fotos 3 e 4). Ocorre localmente junto a cristais de cianita, que por sua vez, se localizam, em menor quantidade, nas partes quartzíticas, sendo mais comuns nas partes filíticas da rocha.

Talco ocorre com textura fibro-radiada, em meio a matriz da rocha, raramente ocorre junto ao clorítóide (Prancha 10: Foto 7).

As principais paragêneses observadas nestas rochas foram: cianita-clorítóide-sericita-quartzo (Figura 4: D); cianita-hematita-clorítóide-quartzo; quartzo-cianita-hematita e talco-clorítóide. Estas paragêneses indicam metamorfismo em fácies xisto verde médio a alto.

7.2.3 Seqüência da Serra da Boa Vista e Grupo Itacolomí: A coluna estratigráfica da Seqüência da Serra da Boa Vista segundo Luchesi (1991) é mostrada na Tabela 6. A idade dessa seqüência, ainda sem datação, foi inferida pelas suas características sedimentares como paleoproterozóica. Sob aspectos litoestratigráficos é aqui considerada, segundo Luchesi (1991) como um equivalente lateral de fácies do Supergrupo Minas. Esta seqüência é notável pelas mineralizações de ouro de tipo *paleoplacer* modificado e por seus metaconglomerados intraformacionais monomíticos com seixos de *metachert* branco puro e polimíticos com seixos de *metachert* e de itabiritos quartzo-hematíticos com ou sem magnetita.

Para as seqüências quartito-metaconglomeráticas atribuídas ao Grupo Itacolomí, inexiste um detalhamento estratigráfico além da subdivisão em Fácies Santo Antônio (xistosa) e Itacolomi (típico) segundo Barbosa A. (1969) e Dorr (1969). Datações de zircões detriticos de quartzitos Itacolomí, na seção tipo, mostram idades arqueanas até paleoproterozóicas e proveniência idêntica aos Supergrupos Minas e Espinhaço. Por este motivo e por considerações litoestratigráficas e sedimentológicas, neste trabalho, o Grupo Itacolomí é considerado como equivalente ao Supergrupo Espinhaço e como equivalente lateral de fácies penecontemporâneo do Supergrupo Minas. Os metaconglomerados com seixos de *metachert* e de itabiritos quartzo-hematíticos, com ou sem magnetita,

equivalente aqueles da Seqüência da Serra da Boa Vista foram correlacionados à Formação Sopa Brumadinho do Supergrupo Espinhaço (cf. Schorscher, 1980b; 1992).

Estudos petrográficos por Rossi (TF-24/06) confirmaram a origem química dos seixos de *metachert* e a analogia dos seixos de itabiritos com tipos equivalentes da Formação Cauê dos metaconglomerados, tanto da Seqüência da Serra da Boa Vista quanto do Grupo Itacolomí. Nesse trabalho, algumas amostras de quartzitos e metaconglomerados de ambas as unidades foram analisadas para ouro e elementos associados para fins de comparação entre si e com os metassedimentos ferríferos do Supergrupo Minas.

7.2.4 Análises Mineralógicas e Geoquímicas Complementares: Foram realizadas análises por difração de raios X em amostras de carbonatos e calciosilicáticas da formação Gandarela, sendo os respectivos difratogramas apresentados no (Anexo 7). Todas as amostras apresentam dolomita como carbonato principal com calcita e eventualmente calcita magnesiana, além de quartzo associado em proporções subordinadas variáveis. Adicionalmente foram identificados: muscovita em duas amostras, grafita – ocorrendo na mesma amostra com frondelita (fosfato de manganês e ferro) e calcita magnesiana – talco, e nas partes itabiríticas hematita, magnetita, pirolusita e provavelmente rocherita (fosfato de Ca, Mn e Be).

As amostras de carbonato com minerais de manganês em sua composição, sustentam os critérios de topo e base sugeridos anteriormente e mostram a existência de manganês em conjunto com o ferro, desde o topo da Formação ferrífera Cauê, bem como, da transição deste para a Formação Gandarela até a Formação Cercadinho. A solubilidade e o equilíbrio deste elemento no sistema variam em função do pH e Eh. Sendo que, a deposição do manganês indica a transição de ambientes oxidantes para ambientes mais redutores.

Também foram realizadas análises geoquímicas de 11 amostras de *B/F* arqueanas do Grupo Nova Lima, 10 amostras de canga terrosa e limonítica com fragmentos de itabirito de teores variáveis e hematitas ricas, 2 amostras de veios de quartzo – um do garimpo de Topázio nos saprolitos da Formação Gandarela e outro cortando um *B/F* arqueano, 1 amostra de quartzito hematítico-manganesífero e outra de itabirito dolomítico manganesífero, sendo que estas duas foram agrupadas, para fins de comparação; 7 amostras de itabirito de teores variáveis de ferro, 1 amostra de quartzito hematítico, 9 amostras de quartzitos e metaconglomerados com seixos de *metachert* e itabiritos da

Seqüência Serra da Boa Vista e 3 amostras (2 de quartzitos micáceos com cianita e 1 de metaconglomerado com seixos de *metachert* e itabirito) da Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí.

Foram analisados nestas amostras os teores de metais nobres (ouro, platina e paládio) em ppb, elementos traço (prata, arsênio, bário, berílio, bismuto, cádmio, cobalto, crômio, cobre, lantânia, lítio, molibdênio, níquel, chumbo, antimônio, escândio, estrôncio, vanádio, tungstênio, ítrio, zinco e zircônio) em ppm; enxofre tanto em ppm quanto em porcentagem de peso, e elementos maiores (alumínio, cálcio, ferro, potássio, magnésio, manganês, sódio, fósforo e titânio) em porcentagem de peso. Os resultados destas análises estão apresentadas no Anexo 8.

Estas análises foram realizadas em um grupo de amostras variadas que tem em comum serem potencialmente portadoras de ouro. Foram analisadas num pacote analítico para ouro e elementos traço e maiores associados, com uma combinação de métodos incluindo fusão-copelação-AAS, ICP-AES e MS e infravermelho - Leco (para Enxofre), pelo laboratório SGS-Geosol, Belo Horizonte. Assim, por motivos analíticos e compostionais, vários elementos apresentaram teores abaixo dos respectivos limites de quantificação (inferiores) indicados nas tabelas com o símbolo de "<..." (menor que...) e o ferro, principalmente nas amostras de *B/F*, cangas e itabiritos, teores acima do limite de quantificação superior (de 15%) indicados por ">15%". Os dados de metais nobres e de elementos traço foram comparados a valores de abundância de elementos na litosfera, segundo Clarke e revistos por outros autores, sendo que neste trabalho foram utilizados os valores de Vinogradov (1962), (Tabela 7).

Tabela 7: Abundância dos elementos na litosfera, por Clarke em ppm. Extraída de Rösler e Lange (1976).

Symbol	CLARKE und WASHINGTON (1924)	FERSMAN (1933 bis 1939)	GOLDSCHMIDT (1937)	VINOGRADOV			TAYLOR (1964)	Symbol	CLARKE und WASHINGTON (1924)	FERSMAN (1933 bis 1939)	GOLDSCHMIDT (1937)	VINOGRADOV (1949)	(1962)	(1962)	TAYLOR (1964)
				(1949)	(1962)	(1962)									
Ac	-	-	-	$x \cdot 10^{-10}$	-	-	N	300	400	-	100	19	20	-	23.600
Ag	0,0X	0,1	0,02	0,1	0,07	0,07	Na	26400	24.000	28.300	26.400	19	20	-	20
Al	75.100	74.500	81.300	88.000	80.500	82.300	Nb	-	0,32	20	10	25.000	25.000	-	20
Ar	-	4	-	-	-	-	Nd	-	17	23,9	25	37	37	-	28
As	X	5	5	5	1,7	1,8	Ne	-	0,005	-	-	-	-	-	-
Au	0,00X	0,005	0,001	0,005	0,0043	0,004	Ni	180	200	100	80	58	75	-	-
B	10	50	10	3	12	10	O	495.200	491.300	466.000	470.000	470.000	464.000	-	-
Ba	470	500	430	500	650	425	Os	$x \cdot 10^{-4}$	0,05	-	0,05	-	-	-	-
Be	10	4	6	6	3,8	2,8	P	1200	1200	1200	1200	800	930	930	1.050
Bi	0,0X	0,1	0,2	0,2	0,09	0,17	Pn	-	7 \cdot 10 $^{-7}$	-	10 $^{+6}$	-	-	-	-
Br	X	10	2,5	1,6	2,1	2,5	Pb	20	16	16	16	16	16	16	12,5
C	870	3.500	320	1.000	230	200	Pd	$x \cdot 10^{-5}$	0,05	0,010	0,010	0,013	-	-	-
Ca	33.900	32.500	36.300	38.000	29.600	41.500	Po	-	0,05	-	2 \cdot 10 $^{-10}$	-	-	-	-
Cd	0,X	5	0,18	5	0,13	0,2	Pr	-	4,5	5,53	7	9	8,2	-	-
Ce	-	29	41,6	45	70	60	Pt	0,00X	0,2	0,005	0,005	-	-	-	-
Cl	1.900	2.000	480	450	170	130	Ra	$x \cdot 10^{-6}$	2 \cdot 10 $^{-6}$	-	10 $^{-6}$	-	-	-	-
Co	100	20	40	30	18	25	Rb	X	80	280	300	150	90	-	-
Cr	330	300	200	200	83	100	Re	-	0,001	0,001	0,001	7 \cdot 10 $^{-4}$	-	-	-
Cs	0,00X	10	3,2	7	3,7	3	Rh	$x \cdot 10^{-6}$	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Cu	100	100	70	100	47	55	Rn	-	? ?	7 \cdot 10 $^{-12}$	-	-	-	-	-
Dy	-	7,5	4,47	4,5	5	3,0	Ru	$x \cdot 10^{-5}$	0,05	-	0,005	-	-	-	-
Er	-	6,5	2,47	4	3,3	2,8	S	480	1.000	520	500	470	260	-	-
Eu	-	0,2	1,06	1,2	1,3	1,2	Sb	0,X	0,5	(1)	0,4	0,5	0,2	-	-
F	270	800	800	270	660	625	Sc	0,X	6	5	6	10	22	-	-
Fe	47.000	42.000	50.000	51.000	46.500	56.300	Se	0,0X	0,8	0,09	0,6	0,05	0,05	281.500	-
Ga	$x \cdot 10^{-5}$	1	15	15	19	15	Sm	-	7	6,47	7	8	6,0	-	-
Gd	-	7,5	6,36	10	8	5,4	Sn	X	80	40	40	2,5	2	-	-
Ge	$x \cdot 10^{-5}$	4	7	7	1,4	1,5	Sr	170	350	150	400	340	375	-	-
H	8.800	10.000	-	1.500	-	-	Ta	-	0,24	2,1	2	2,5	2	-	-
He	-	0,01	-	-	-	-	Tb	-	1	0,91	1,5	4,3	0,9	-	-
Hf	30	4	4,5	3,2	1	3	Tc	-	0,001	-	-	-	-	-	-
Hg	0,X	0,05	0,5	0,07	0,083	0,08	Te	0,00X	0,01	(0,0018)?	0,01	0,001	-	-	-
Ho	-	1	1,15	1,3	1,7	1,2	Th	20	10	11,5	8	13	9,6	-	-
In	$x \cdot 10^{-5}$	0,1	0,1	0,1	0,25	0,1	Ti	5.800	6.100	4.400	6.000	4.500	5.700	-	-
Ir	$x \cdot 10^{-4}$	0,01	0,001	0,001	-	-	Tm	-	1	0,20	0,8	1	0,45	-	-
J	0,X	10	0,3	0,5	0,4	0,5	U	80	4	4	3	2,5	2,7	-	-
K	24.000	23.500	25.900	26.000	25.000	20.900	V	160	200	150	150	90	135	-	-
Kr	-	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	W	50	70	1	1	1,3	1,5	-	-
La	-	6,5	18,3	18	29	30	Xe	-	$3 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	-	-
Li	40	50	65	65	0,5	0,50	Y	-	50	28,1	28	29	33	-	-
Lu	-	1,7	0,75	1	0,8	0,50	Yb	-	8	2,66	3	3,0	0,33	-	-
Mg	19.400	23.500	20.900	21.000	18.700	23.300	Zn	40	200	80	50	83	70	-	-
Mn	800	1.000	900	1.000	950	-	Zr	230	250	220	200	170	165	-	-

Elementos Maiores (Anexo 9)

Os Gráficos comparativos das análises, separadas por grupos de amostras, são apresentados no anexo 9.

Quatro das 11 amostras de *BIF* arqueanas, mostram teores de ferro dentro dos limites de quantificação, variando de: 12,3 a 14,5%, de ferro. As restantes apresentam concentrações de ferro, iguais ou maiores, ao limite de quantificação máximo (de 15% de Fe) imposto pelo método analítico adotado. Em relação a todos os outros elementos, o único que se apresenta um pouco mais elevado é o alumínio, onde todas as amostras apresentaram teores que variaram de 1 a 7%. Enxofre também ocorre, porém em muito baixa concentração (Anexo 9-1). Assim os *Bifs Arqueanos* são confirmados como de fácies óxido com magnetita impuros com adição de fácies silicato e / ou de Fe, Mg, Mn – Al silicatos, por exemplo, clorita de origens de tufos e ou tufitos.

As amostras de canga apresentam teores significativos apenas de ferro, sendo todos os resultados iguais ou acima do limite máximo de quantificação. Apresenta também teores de alumínio, variando de 1 a 2,6%, significativos quanto aos teores de argilominerais e gibsita e em sua relação com os principais contaminantes Mn, P e Ti (Anexo 9-2).

As amostras de Itabirito também apresentam teores de ferro iguais ou acima do limite máximo de quantificação. Também neste caso o único outro elemento que apresenta com maior freqüência teores acima de 1% é o alumínio, que varia até no máximo 3,5%, correlacionando-se com teores mais elevados de Mg e P. Em uma única amostra de minério tipo chapinha de itabirito manganésífero foram verificados ainda teores de > 4% de Mn, (amostra GX 86, anexo 9-6).

No caso de quartzitos manganésíferos (Anexo 9-6) e quartzito hematítico, (Anexo 9-6), ambos os grupos demonstram teores de ferro altos, variando de 10,1 no quartzito hematítico a maior que o limite máximo de quantificação para o itabirito dolomítico manganésífero e teor de 12,9 na amostra de quartzito manganésífero. Para esta ultima amostra tem-se ainda teores de 9,3% de manganês e 4,3% de alumínio, comprovando assim sua denominação macroscópica e mineralógica de campo, formada basicamente por quartzo, hematita, óxidos de manganês, argilominerais e gibsita.

Observando-se os valores de alumínio, ferro, fósforo e manganês, percebe-se a semelhança entre o quartzito hematítico sem manganês (Anexo 9-7) e o quartzito

manganesífero com hematita (Anexo 9-6), onde apenas o aumento de teor de manganês na amostra de quartzito manganesífero o diferencia do quartzito hematítico puro. Esta semelhança se deve ao fato das duas rochas serem da mesma formação e amostradas no mesmo perfil, onde ocorrem a intercalação de bancos quartzíticos hematíticos com bancos quartzo-hematíticos manganesíferos.

As amostras de quartzitos e metaconglomerados da Seqüência Serra da Boa Vista (anexo 9-3) possuem altos teores de ferro, variando de 1,9% a 15%; potássio ocorre com teores de 0,67 a 3,3% e por fim possuem também relativamente altos teores de alumínio, que variam de 1,7 a 5,8%. Os altos teores de ferro demonstram a natureza dos metaconglomerados, pois estes são compostos de seixos de itabirito – originando o alto teor em ferro – já potássio e alumínio são os principais elementos formadores de micas brancas, que perfazem a matriz do conglomerado junto do quartzo.

As amostras de quartzito e metaconglomerados pertencentes à Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí (Anexo 9-4) possuem valores altos de ferro somente na amostra de metaconglomerado com seixos de itabirito, já nas amostras de quartzito com cianita estes valores, são mais baixos, porém ainda com clara contribuição de material rico em ferro, já que quartzitos não costumam ter ferro nesta quantidade. Outros elementos como alumínio e potássio (constituintes de cianita e micas) não possuem teores muito elevados, como seria de se esperar, já que se trata de minerais subordinados.

De um modo geral os quartzitos e metaconglomerados da Seqüência Serra da Boa Vista e Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí (Anexos 9-3 e 9-4) são muito similares entre si quanto aos elementos significativos Al, Ca, Fe, K e Mn, entretanto, aparecem diferentes quanto a Na e Ti, mais elevados e P mais baixo nas amostras da Seqüência Serra da Boa Vista ao contrário do que ocorre nas amostras da Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí.

As amostras de veios de quartzo não apresentam nenhum elemento que mereça atenção, somente o ferro apresenta um teor um pouco maior chegando a no máximo 2,1% e alumínio chegando a 0,46%, estes valores devem-se provavelmente a contaminação pelas rochas encaixantes.

Elementos Traço (Anexo 10)

Os Gráficos comparativos das análises, por grupos de amostras, são apresentados no anexo 10.

Nas amostras de *BIF* arqueanas, (Anexo 10-1) ocorrem anomalias positivas em: antimônio, bismuto, cádmio, chumbo, cobre e crômio. Sendo que, em relação aos teores de referencia na litosfera, crômio apresenta anomalia máxima de 5,6 vezes; bismuto, muito raro na litosfera, está presente em apenas 4 das 11 amostras, e apresenta uma anomalia máxima de 3 mil vezes; cádmio apresenta uma anomalia máxima de 84 vezes; antimônio apresenta-se anômalos em até 66 vezes o valor de referencia; cobre com valores anômalos, em apenas uma amostra, possui um teor máximo de quase 10 vezes o valor de referencia e chumbo com anomalias de no máximo 5 vezes, Os elementos lantânia, níquel, escândio, cobalto, vanádio, ítrio e zinco apresentam valores anômalos positivos, porém, poucas vezes maiores que os valores litosféricos de referencia para. Ocorrem anomalias negativas para os elementos: bário, estrôncio, enxofre, lítio e zircônio.

As análises para as duas amostras de veio de quartzo (não representadas em gráficos) apresentam anomalias negativas em bário, crômio, cobre, níquel, chumbo, estrôncio, zinco e zircônio e valores abaixo do limite de quantificação para os demais elementos. Anomalia positiva só ocorre para o antimônio com teor de 12 ppm, quando a média de antimônio na litosfera é de 0,5 ppm, sendo assim, o valor de antimônio para esta amostra é 24 vezes maior que o valor de referencia.

Na amostra de quartzito ferruginoso (Anexo 10-7) é possível observar que ocorre uma pequena anomalia positiva para o elemento crômio, sendo apenas duas vezes maior que o valor de referencia. Anomalias negativas ocorrem em cobre, níquel, vanádio, zinco e zircônio. Os elementos não citados apresentam-se abaixo do nível de quantificação.

Para as amostras de canga (Anexo 10-2) ocorrem anomalias negativas de enxofre, bário, crômio, níquel, vanádio (excetuando-se apenas uma amostra que está acima do valor de referencia), ítrio e zircônio. Anomalias positivas máximas ocorrem para: bismuto – cerca de 5 mil vezes; cádmio - aproximadamente 146 vezes; cobre em apenas uma amostra, com teor de 8 vezes; zinco que possui uma anomalia positiva, muito pequena de apenas 1,62 vezes o valor de referencia. Os elementos não citados são os que ficaram abaixo do limite de quantificação.

Na amostra de quartzito manganesífero (Anexo 10-6) notam-se anomalias positivas máximas de: bário, 13 vezes o valor de referencia; cobalto, 60 vezes; cobre aproximadamente 30 vezes; lítio 26 vezes; molibdênio 129 vezes; níquel 48 vezes; chumbo com apenas 2,5 vezes; antimônio com cerca de, 34 vezes; ítrio pouco mais de 1,5 vezes; e por fim zinco com cerca de 6 vezes o valor litosférico. Esta amostra apresenta anomalias negativas apenas de estrôncio, vanádio e zircônio. Os elementos: enxofre, prata, arsênio, bismuto, cádmio, lantânio, escândio, estanho e tungstênio apresentam valores abaixo do limite quantificação.

Na amostra de itabirito dolomítico manganesífero observam-se anomalias máximas de bismuto cerca de 5000 vezes o valor de referencia, assim como de cádmio 46 vezes; Teores abaixo dos litosféricos ocorrem para bário, crômio, níquel, vanádio, ítrio e zircônio. Cobalto, cobre e zinco variam em torno dos valores de referencia. Prata, arsênio, berílio, lítio, molibdênio, chumbo, antimônio, escândio, estanho, estrôncio, e tungstênio apresentam-se abaixo do nível de quantificação.

Para os quartzitos e metaconglomerados da Seqüência Serra da Boa Vista (Anexo 10-3) observam-se anomalias positivas de bário e cobalto, variando até 2,4 vezes os valores de referencia para a litosfera. Essas amostras apresentam ainda anomalias variáveis de negativas até positivas para o elemento crômio, quando positivas no máximo 2,8 vezes o teor de referencia; cobre apenas em uma amostra, sendo de 3,3 vezes o teor de referencia para a litosfera; lantânio no máximo 2,8 vezes; chumbo de até 3,8 vezes; antimônio apresenta uma anomalia de 74 vezes o valor de referencia; vanádio mostra-se praticamente constante, evidenciando uma anomalia positiva de pouco mais de 1,4 vezes o valor de referencia. Anomalias negativas podem ser observadas para enxofre em apenas uma amostra, nas restantes, ficou abaixo do limite de quantificação. Lítio, molibdênio, níquel, escândio, estrôncio, zinco e zircônio. Prata, arsênio, berílio, cádmio, estanho e tungstênio possuem teores abaixo do nível de quantificação.

As análises de quartzitos e metaconglomerados da formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomi (Anexo 10-4) mostram anomalias negativas para: bário, crômio, cobre, lantânio, lítio, níquel, estrôncio, zinco e zircônio. Anomalias positivas são vistas em bismuto, cádmio, chumbo, antimônio, vanádio e ítrio. Enxofre, prata, arsênio, berílio, cobalto, molibdênio, escândio e estanho possuem valores abaixo do limite de quantificação.

As amostras de itabiritos mostram anomalias positivas altas em bismuto, cádmio e molibdênio; anomalias positivas mais baixas são observadas para zinco e chumbo. Anomalias negativas observam-se para zircônio, vanádio, níquel, lítio, cobre, crômio e bário. Os outros elementos ficaram abaixo do nível de quantificação.

Os elementos traço aqui observados em anomalias positivas mostram-se em todas as amostras com minerais ricos em ferro, em geral os mesmos, sendo: crômio, cobre, bismuto, cádmio, vanádio, zinco, bário, cobalto, molibdênio, chumbo, níquel e antimônio. Crômio é comumente associado ao ferro, pois ocorre na composição do crômio-espinélio e da magnetita (por solução sólida). Em solução na água do mar é adsorvido por óxi-hidróxidos de ferro e ferro-manganês e só se deposita em ambientes redutores, tendendo a diminuir em depósitos de ambientes oxidantes. Também é muito comum em concreções lateríticas de ferro, assim como o zinco, também muito comum nestas zonas indicando alteração supergênica. Cobre ocorre na maioria das vezes associado à óxi-hidróxidos de ferro, mas também ocorre adsorvido por sílica amorfa em soluções com pH maior que aproximadamente 7, ou seja, em ambientes de pH neutro a alcalino, possivelmente na forma original de crisocola. Bismuto é solúvel em águas quentes e rasas, geralmente associado à fácies carbonato de deposição de formações ferríferas, também possui grande afinidade com hidróxidos de ferro. Cádmio ocorre em solução na água do mar, sendo mais comum na superfície da água, sua deposição é controlada pelo pH e Eh da água, ocorrendo com freqüência associado à carbonatos. Vanádio em formações ferríferas ocorre ligado a clara coexistência deste com magnetita e hematita e em geral, indica processos sedimentares relacionados a atividades vulcânicas. Produtos de intemperismo também podem incorporar vanádio, em ambientes oxidantes. Bário é controlado pela fugacidade de CO₂ na água do mar. É absorvido por óxi-hidróxidos de ferro e manganês em água com concentrações maiores que 3,5% de sal (NaCl) e por sílica gel em soluções acidadas. Carbonatos manganesíferos podem ser ricos em bário, porém para isso é necessária a contribuição de material clástico fino. Em geral, bário ocorre como barita indicando a presença de enxofre na água do mar e, portanto, ambientes redutores. Cobalto é associado sempre a manganês, e a nódulos de manganês formado em mar profundo, em ambientes oxidantes, indicado também pela deposição de ferro e manganês, em fase óxido é sempre associado ao ferro. Molibdênio ocorre na maioria das vezes associado a nódulos de manganês, assim como níquel, porém este também ocorre em associação com óxidos e hidróxidos de ferro e manganês. Chumbo e antimônio são normalmente associados, pois, a maior ocorrência de antimônio

na litosfera ocorre sempre associada à mineralizações de chumbo. Quando em sedimentos como formações ferríferas, indica contribuição clástica, porém observa-se que as anomalias ligadas ao chumbo são pequenas e praticamente insignificantes.

Metais Nobres (Anexo 11)

Os Gráficos comparativos das análises, por grupos de amostras, são apresentados no anexo 11.

As amostras de *BIF* arqueanas (Anexo 11-1) mostram baixos teores de ouro, platina e paládio – elementos siderófilos. Este tipo de formação ferrífera apresenta historicamente um alto potencial de ouro, é de se estranhar que rochas assim possuam valores máximos de concentração de ouro de 34ppb, ou seja, uma anomalia de apenas oito vezes a mais que o valor de abundância na litosfera, tabela 7. Sendo que para serem consideradas de interesse econômico deveriam conter no mínimo uma concentração de 500ppb. As análises da amostra referente ao veio de quartzo que corta a formação ferrífera (*BIF* arqueana), também não apresentam anomalias significativas em ouro, nem em seus principais metais associados. O mais alto teor de ouro ocorreu para uma amostra de *BIF* de fácies carbonato.

No grupo de amostras de cangas (Anexo 11-2) com fragmentos de itabirito de teores de ferro variável, pode-se notar que todas apresentaram teores variáveis, entre: 10 a 26 ppb de paládio. Nenhuma apresentou teores acima do limite de detecção de platina e para ouro apenas 5 amostras apresentaram teores, ainda que baixos, variando de 5 a 28ppb.

As amostras de itabirito (Anexo 11-5) apresentaram valores abaixo do limite de detecção, tanto para ouro como para platina, apenas paládio apresentou-se acima destes limites, porém ainda em baixa concentração.

A amostra de Itabirito dolomítico manganesífero apresentou valores no limite de quantificação para ouro e platina e cerca de 2 vezes mais que o valor de Clarke para paládio. Já a amostra de quartzito hematítico-manganesífero apresentou baixos teores de ouro e paládio, porém não detectou teores de platina acima do teor limite de quantificação.

Os metaconglomerados da Seqüência Serra da Boa Vista (Anexo 11-3) possuem anomalias de no máximo 77ppb, ou seja, 17 vezes o valor de ouro na litosfera. Todas as amostras, deste grupo, acusaram uma leve anomalia positiva nos valores de paládio,

porém apenas 5 destas apresentaram pequenas anomalias positivas nos teores de ouro e apenas uma no teor de platina.

O grupo de amostras de quartzitos e metaconglomerado da Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí (Anexo 11-4) não apresentaram valores acima do limite de detecção para ouro e platina nas amostras de quartzito, já a amostra de conglomerado apresentou uma anomalia positiva para ouro (47ppb) e paládio, ficando abaixo do limite de detecção para platina. Paládio também apresentou anomalias positivas baixas nas amostras de quartzito.

Anomalias positivas em ouro são observadas tanto nas amostras de quartzito quanto nas amostras de metaconglomerado da Seqüência Serra da Boa Vista, ambos, piritosos, portanto, tanto o ouro quanto o paládio, estão provavelmente presentes nestas rochas, devido a sua afinidade por enxofre e ferro. Comparando-se estas, com as amostras da Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí, pode-se observar a incidência de teores de ouro e paládio, somente na amostra de metaconglomerado de matriz hematítica da Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomí, isto se deve talvez a presença de quantidades razoáveis de ferro na amostra, já que não foi observada nesta amostra a presença de pirita.

A amostra de veio de quartzo que corta o garimpo de topázio imperial de Antonio Pereira apresenta anomalias positivas para ouro e paládio, sendo ambas, muito baixas, praticamente insignificantes. Já para platina, esta apresenta teor abaixo do limite de quantificação.

A amostra de quartzito hematítico também apresenta teores de ouro e paládio, sendo o teor de paládio aproximadamente quatro vezes maior que o de ouro. Já platina apresenta teor abaixo do limite de quantificação.

7.2.5 Evolução Sedimentar dos Metassedimentos do Supergrupo Minas

Com o detalhamento realizado nos metassedimentos ferríferos do Supergrupo Minas pode-se observar a ciclicidade dos bandamentos ferríferos tanto em micro quanto em macro-escala. Pois, observa-se o enriquecimento de ferro na base e o empobrecimento e aparecimento de itabiritos dolomíticos no topo, tanto em escala de bancos milimétricos, quanto em escala de afloramento e regional. O bandamento dos itabiritos se dá pela saturação alternada e repetida e consequente deposição ora de chert

e ora de óxi-hidróxidos de ferro hematita (Fe_2O_3), ocorrendo a deposição de *chert* em ambiente ácidos e de ferro devido mudança de ácida para neutra a alcalina na composição da água do mar e com um gradiente de óxi-redução (Eh) principalmente no campo oxidante (Figura 6). A ocorrência de cobre nas análises geoquímicas corrobora com a deposição em águas que variam de neutras a alcalinas, assim como a presença de vanádio que ocorre em ambientes com ciclos de atividade vulcanogênica, fator que provavelmente ajudou na mudança da água de ácida (ocorrência de mistura de águas) com a deposição de *chert* para neutra a alcalina (sem a ocorrência de atividade vulcânica) depositando hematita. A ocorrência de hematita rica na base das formações ferríferas se deve à dissolução do *chert* depositado anteriormente em águas ácidas, pela presença de flúidos alcalinos diagenéticos que concentraram a hematita formando assim as camadas de hematita rica comuns na base da Formação Cauê. (Schorscher, 1992 e comunicação oral).

O topo da Formação Cauê bem como sua transição para a Formação Gandarela se dá pela presença cada vez maior de itabiritos manganesíferos, itabiritos dolomíticos e a ocorrência de camadas de carbonatos dolomíticos, calcíticos ou manganesíferos. A entrada de carbonatos no sistema indica o aparecimento ou o aumento na quantidade de dióxido de carbono, dada provavelmente pela atividade microbiana no ambiente deposicional. A periodicidade nas deposições de sílica, ferro e carbonato podem ser explicadas pela variação da P_{CO_2} , como resultado de processos complexos de oxidação de metano e fugacidade de carbono livre dada pela atividade dos primeiros organismos. As anomalias em crômio apontam para uma diminuição no gradiente de óxi-redução, pois este elemento deposita-se junto a ferro, manganês e subordinadamente níquel em ambientes medianamente redutores, representando assim o topo da formação Cauê com grandes quantidades de manganês. A presença de barita em carbonato dolomítico da Formação Gandarela (Anexo 7: Amostra MS-46) e as anomalias em bário presentes em algumas amostras analisadas, assim como as anomalias em bismuto e cádmio indicam a mudança no ambiente deposicional de oxidante para levemente redutor, inclusive com a formação de barita e pirita (Figura 7). A presença de bário também é indicativa de contribuição pelítica e o surgimento de clorita é indicativo de pequenas ocorrências de atividade vulcânica, como tufos, pois estes metamorfizados geram clorita do grupo peninita-clinocloro. A ocorrência de quartzo em todas as amostras de carbonato da Formação Gandarela, assim como a ocorrência, ainda que restrita, de itabiritos com

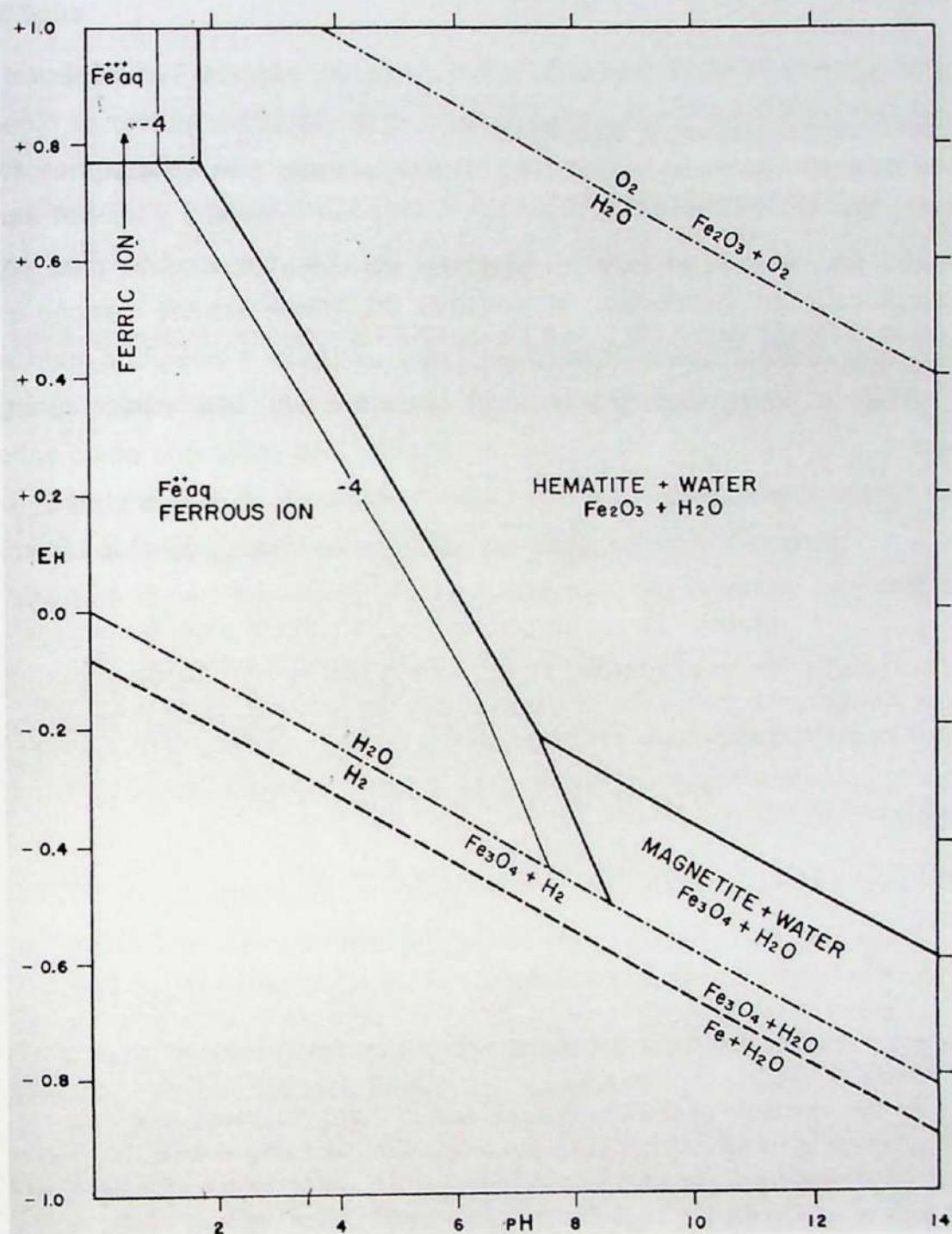


Figura 6: Diagrama Eh x pH da estabilidade da hematita e da magnetita na água a 25°C e 1atm. Extraído de Garrels & Christ (1965).

quartzo-hematita-magnetita (esta última metamórfica) indicam que ainda ocorriam períodos com maior deposição de sílica, dada provavelmente pela atividade vulcânica que acidifica a água.

A transição da Formação Gandarela para a Formação Cercadinho é marcada pelo aparecimento de rochas calciosilicáticas intercaladas com cada vez menos camadas de carbonatos comparadas pelo aparecimento de intercalações de rochas calciosilicáticas com rochas filíticas e quartzitos hematíticos ora manganesíferos ora não, ou quartzitos hematíticos com nódulos de óxido de manganês. Anomalias positivas em cobalto e molibdênio ocorrem sempre associadas a nódulos de óxido de manganês formados em ambientes mais profundos e redutores. Estes quartzitos manganesíferos ou com nódulos de manganês ainda são desconhecidos em estudos detalhados, e foram aqui considerados como originados pela alteração de carbonatos manganesíferos. O topo da Formação Gandarela e a Formação Cercadinho são considerados como sendo essencialmente químicos, porém com contribuição clástica pelítica crescente.

7.3 Caracterização Tecnológica dos Minérios Itabiríticos de Ferro

7.3.1 Generalidades

A área escolhida, rica em ocorrências de minérios de ferro itabiríticos, localiza-se à Fazenda Gualaxo, na parte central da área de mapeamento 1:25.000 (anexos 12 e 18; cf. anexo 1), e é de propriedade da empresa de reflorestamento CAF Santa Bárbara Ltda..

A caracterização tecnológica de minérios, segundo Tassinari & Kahn (1996), consiste no estudo de propriedades físicas, químicas e físico-químicas, em relação ao processo de beneficiamento ou uso final. Sendo assim, caracterizar um minério significa determinar seus componentes mineralógicos, composições químicas e formas de associações – de modo a obter estimativas de recuperação – e avaliar a qualidade dos produtos finais gerados após o beneficiamento. Além de facilitar e aperfeiçoar processos de beneficiamento, já existentes e/ou sugerir novas alternativas.

No caso específico de minérios de ferro, a caracterização consiste essencialmente na determinação da granulometria, da composição química e da concentração de contaminantes, parâmetros estes imprescindíveis para sua utilização na siderurgia (Tassinari & Kahn, 1996).

O beneficiamento do minério de ferro é intrinsecamente ligado a sua granulometria. As frações comercializáveis sem a necessidade de beneficiamento são: *Lump Ore (LO)* ou bitolado e hematitinha ou granulado. As frações *Sinter Feed (SF)* e *Pellet Feed (PF)* necessitam de beneficiamento para serem comercializadas, sendo assim, é realizada, respectivamente, a sinterização e a pelotização.

Os fragmentos gerados no ato da lavra passam por peneiramento e a fração maior que *LO* passa por britagem até chegar a tamanhos correspondentes, no máximo, à fração *LO* que em seguida são separados sucessivamente por peneiramento nas frações menores.

7.3.2 Potencial Mineral da Área (Anexo 18)

Através de mapeamento em escala 1:5.000 (Anexo 18), pode-se observar que os itabiritos da Formação Cauê estão presentes em cerca de 60% da área, havendo porções com largura aflorante de até 1.200 m, confirmando, positivamente, o potencial de minério de Ferro da área.

O estilo de dobramento isoclinal apertado em geral existente nos itabiritos da Formação Cauê, e mais pronunciado na parte sul da área, aumenta a espessura da formação ferrífera, além de favorecer a concentração e recristalização dos minerais de minério (hematita e magnetita). Os perfis geológicos da área mostram que as espessuras verticais podem chegar até 100 m de profundidade (Anexo 18).

Com as informações, obtidas pelo mapeamento de detalhe, tem-se uma largura média, em superfície, de 600 m de itabiritos na direção leste-oeste, estendendo-se por 3.400 m na direção norte-sul. Com uma estimativa de espessura média, na vertical, da ordem de 100m, chega-se a uma massa de recursos potenciais de minério de ferro da ordem de aproximadamente 280.000.000t, de itabirito, usando-se uma densidade de 2,7 t/m³.

7.3.3 Caracterização Geral do Minério de Ferro

Os minérios de ferro podem ser classificados segundo sua tipologia, seu grau de intemperismo, pelo tipo de fragmento que este gera e pelo seu grau de liberação, sendo:

Quanto à tipologia:

- Hematita: minério de ferro com teor de: >50-65%.
- Canga: cobertura laterítica e/ou detritica;
- Canga Laterítica: crosta formada por processo de intemperismo químico em clima quente e úmido, incluindo: lixiviação de SiO₂ e íons (Ca, Mg, álcalis e etc.) + fixação de íons imóveis (Al, Ti, P, Mn, Cr, entre outros) e concentração de óxidos de Fe³⁺;
- Canga Detritica: fragmentos de hematita e/ou itabiritos cimentados por goethita e/ou limonita;
- Itabirito: rocha (minério) bandada, constituída por leitos alternados (perfeitamente e ou imperfeitamente segregados) de hematita (com proporções variáveis de (magnetita/martita) e sílica (*chert* ou quartzo) com teor de Fe entre 35 e 65%.

Quanto à intemperização:

- Itabirito Duro: rocha sã, extremamente compacta, que não se desagrega ao toque do martelo e, normalmente, não apresenta alteração dos minerais de Fe e/ou acessórios;
- Itabirito Friável: rocha (minério) intemperizada, pouco consistente, que se desagrega ao toque do martelo e, normalmente, não apresenta alterações dos minerais de Fe.

Quanto aos fragmentos gerados:

- Itabirito Chapinha: minério com aptidão de gerar predominantemente fragmentos de granulometria $> \frac{1}{4}''$ (6,34 mm);
- Itabirito Mole: minério com aptidão de gerar predominantemente fragmentos na faixa granulométrica entre $\frac{1}{4}''$ e 100# (6,34 mm e 0,149 mm);
- Itabirito Pulverulento: minério com aptidão de gerar predominantemente fragmentos com granulometria $< 100\#$ (0,149 mm).

Quanto à liberação:

- Itabirito liberado: após separação por líquido denso, o minério apresenta teor de Fe $> 65\%$;
- Itabirito semi-liberado: após separação por líquido denso, o minério apresenta enriquecimento em Fe relevante, mas o teor de Fe não atinge 65%;
- Itabirito não-liberado: após separação por líquido denso, a rocha não apresenta enriquecimento em Fe relevante;

7.3.4 Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica dos minérios de ferro itabiríticos, na região mapeada em detalhe, consistiu em amostragem volumétrica dos minérios em alguns afloramentos representativos artificiais e naturais escolhidos, separação granulométrica, descrição textural e morfológica das partículas de cada fração, além de análises geoquímicas, global e das frações granulométricas.

Esta área já constou com projeto de pesquisa realizada a cerca de 30 anos, inclusive com poços e furos de sondagem. E foi abandonada por não conter hematita dura. Neste trabalho tivemos acesso apenas á alguns poços de pesquisa abandonados.

Amostragem

A amostragem foi realizada em poços de pesquisa abandonados e em afloramentos naturais e apropriados. Para que a caracterização pudesse fornecer uma maior quantidade de dados iniciais e com maior precisão. foram coletados ao todo sete tambores de amostras com peso variando entre 50 e 70kg de minério cada. Os minérios amostrados são minérios itabiríticos intemperizados de superfície, coletados abaixo das

coberturas de canga, usando picareta, enxadas e pás, sempre quando possível, na forma de amostras de canal, perpendiculares a Sn.

Os pontos amostrados podem ser localizados no mapa de afloramentos (Anexo 13) e são identificados a seguir:

- Tambor 1 - Afloramento GX-Z42;
- Tambor 5 - Afloramento GX-110;
- Tambor 7 - Afloramento GX-111;
- Tambor 9 - Afloramento GX-112;
- Tambor 10 - Afloramento GX-86;
- Tambor 11 - Afloramento GX-Z39;
- Tambor 12 - Afloramento GX-208.

Separação Granulométrica

Os estudos granulométricos foram realizados nas amostras naturais – sem britagem – e estudadas todas as frações obtidas, ou seja, além das frações granulométricas padrões – utilizadas pelas grandes empresas mineradoras para a comercialização do minério de ferro, segundo o site da mineração SAMARCO – também foram estudadas as frações: maior que *lump ore* ($>LO$) – correspondente à parte dos minerais que deverá ser britado/rebritado, e a fração correspondente ao rejeito fino *over flow* (OF) do hidrociclone da separação da fração mais fina comercializável *pellet feed* (PF). Sendo assim os intervalos granulométricos tratados aqui são:

- Maior que *Lump Ore* ($>LO$): $>38\text{mm}$;
- *Lump Ore* (LO) ou bitulado: 38 mm até 12mm;
- Hematitinha ou granulado: 12 mm a 6,3 mm;
- *Sinter Feed* (SF): 6,3 mm a 0,106 mm;
- *Pellet Feed* (PF): 0,106 mm a 0,015 mm;
- *Over Flow* (OF): $<0,015\text{mm}$.

Quarteamento em lona foi realizado nas amostras globais de todos os tambores até a separação de uma alíquota com cerca de 5Kg cada, representativa do todo, para

análises globais de geoquímica. Para então com o restante da amostra ser realizada a fase de separação granulométrica.

A separação granulométrica consistiu primeiramente no peneiramento da fração maior que *lump ore* ($>LO$) feito a seco em peneira manual; peneiramentos das frações *lump ore* (*LO*) à *sinter feed* (*SF*) realizadas a úmido em peneiras elétricas vibratórias⁽¹⁾ com deslamagem, e os finos foram separadas por hidrociclone² em *pellet feed* (*PF*) e rejeitos finos finais em *over flow* (*OF*) e *under flow* sendo este último descartado.

Após a separação granulométrica cada fração foi quarteada em quarteadores Jones em alíquotas representativas e encaminhadas para geoquímica.

No anexo 13 são apresentados os dados de granulometria e geoquímica por amostra e frações granulométricas. Nota-se que as amostras dos tambores 1 e 12 são as que fornecem mais minério na fração *lump ore* ou bitolado; já as amostras dos tambores 9, 10 e 11 geram maiores quantidades na fração *sinter feed*, mas em geral não atingem teores de ferro de minério. A amostra do tambor 7 gera quantidades similares de minério *lump*, hematitinha e *sinter feed* e quantidade insignificante de *pellet feed* de baixo teor. Excetua-se ainda quanto à produção de frações finas a amostra do tambor 12, sendo responsável por apenas 6% de *pellet feed* e gerando quantidades próximas de hematitinha e *sinter feed*. A amostra do tambor 5 de itabirito manganesífero é o maior gerador de fração *pellet feed* e consequentemente um dos maiores geradores de rejeito (*over flow*). Essas variações na quantidade de frações granulométricas separadas podem ser vistas no gráfico de variações granulométricas da Figura 7.

Sendo assim, é possível separar estas amostras em:

- Itabirito mole – Tambores 9, 10 e 11;
- Itabirito "Chapinha" – Tambores 1, 7 e 12;
- Itabirito pulverulento manganesífero – Tambor 5.

Descrição Mineral, Textural e Morfológica

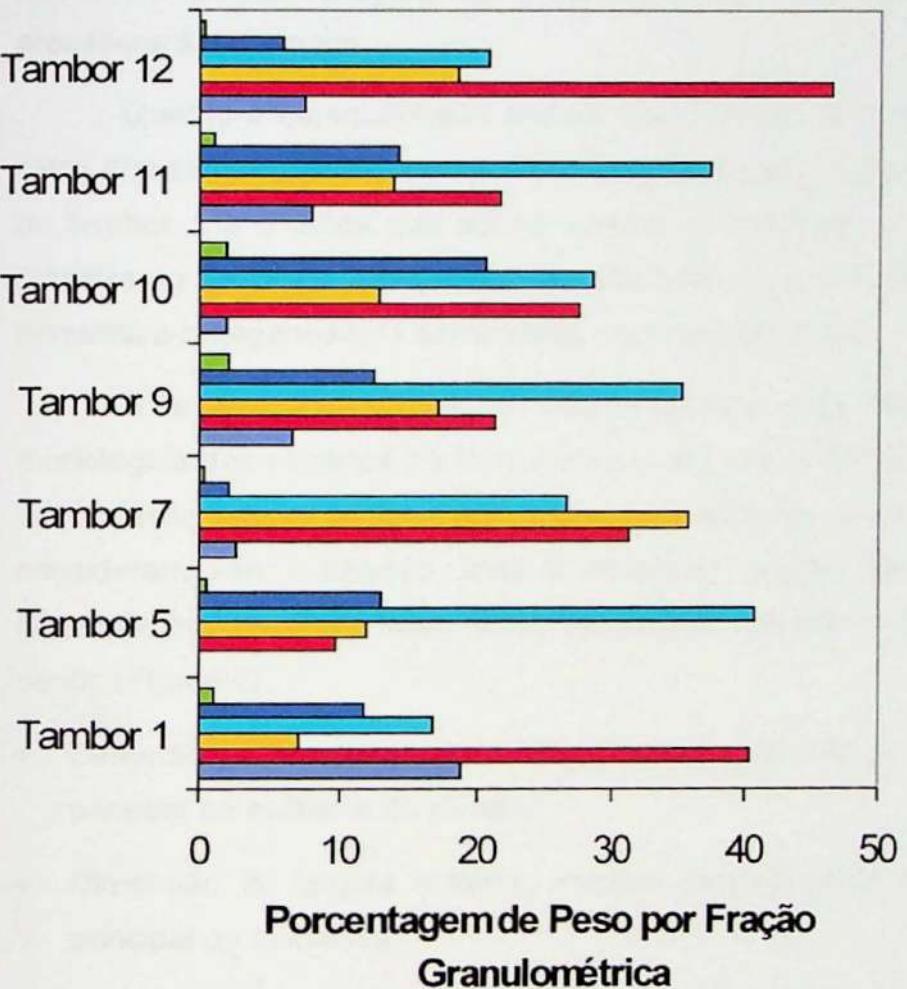
As descrições mineralógicas, texturais e morfológicas foram realizadas em todas as amostras nas frações granulométricas, de $>$ que *LO* até a porção mais grossa do *SF*

¹ Peneirador Vibratório Produtest $\frac{1}{2}$ HP;

² Hidrociclone: Krebs cyclone N1; fundo cônico, diâmetro 1'' (*in*=*inch*=polegada); motor: 220V, 1720 RPM e 3 CV; bomba: Denver SRC 1 $\frac{1}{4}$ X1; pressão com água limpa: 10 lb / *in*²; pressão com água "suja": 20 – 22 lb / *in*²; diâmetro: vortex – 10 mm; apex – 5 mm.

Análise Granulométrica

Tambores de Amostras de Minério



Fração - OF (<0,015mm) (%)

Fração - PF (0,015 - 0,1065mm) (%)

Fração - SF (6,3 - 0,106 mm) (%)

Fração - Hem (12 - 6,3mm) (%)

Fração - LO (38 - 12mm) (%)

Fração - >LO (>38mm) (%)

Figura 7: Gráfico com os resultados das análises granulométricas.

em 20 fragmentos por fração. Para algumas amostras, na fração >LO foram analisados todos os fragmentos, pois, em geral, todas as amostras possuem poucos fragmentos nesta granulometria.

Alguns fragmentos foram observados com lupa para análise de porosidade e textura. Os dados principais da análise textural, morfológica e mineralógica dos fragmentos de minério de ferro de maior que LO até SF são apresentados nas tabelas do anexo 14. Essas variáveis são importantes para o comportamento dos minérios nos processos siderúrgicos.

Quanto à caracterização textural dos minérios de ferro, foi possível observar que cinco das sete amostras possuem textura granoblástica a pouco lepidoblástica, a amostra do tambor 1 é a única que possui textura lepidoblástica a localmente granoblástica; a amostra do tambor 5 não possui trama textural, pois, trata-se de uma amostra de argila hematítica-manganesífera consolidada por crosta limonítica.

A textura da rocha é um dos parâmetros mais importantes na caracterização morfológica dos minérios de ferro, pois condicionam o tamanho e a forma do fragmento. Sendo assim, as medidas tomadas para dimensionar os fragmentos foram escolhidas considerando-se a foliação, forte a incipiente, textura lepidoblástica ou granoblástica, respectivamente. Com base neste parâmetro, designaram-se as dimensões medidas, sendo (Figura 8):

- Dimensão A: comprimento máximo, medido paralelo ou obliquamente a foliação ou paralela ao estiramento mineral;
- Dimensão B: largura máxima, medida paralelamente ou obliquamente a foliação principal ou milonítica;
- Dimensão C: espessura máxima, medida perpendicularmente a foliação principal.

Os dados com as dimensões de cada fragmento estão listados nas tabelas do anexo 14 e histogramas com as medidas das dimensões pela freqüência para cada amostra e suas respectivas frações granulométricas no Anexo 15.

Estes histogramas mostram que a freqüência das dimensões dos fragmentos são proporcionais entre as frações granulométricas para cada amostra.

O ângulo de fraturamento preferencial dos fragmentos foi medido nos vértices do polígono formado no plano AB, correspondente a face do fragmento. Este ângulo de

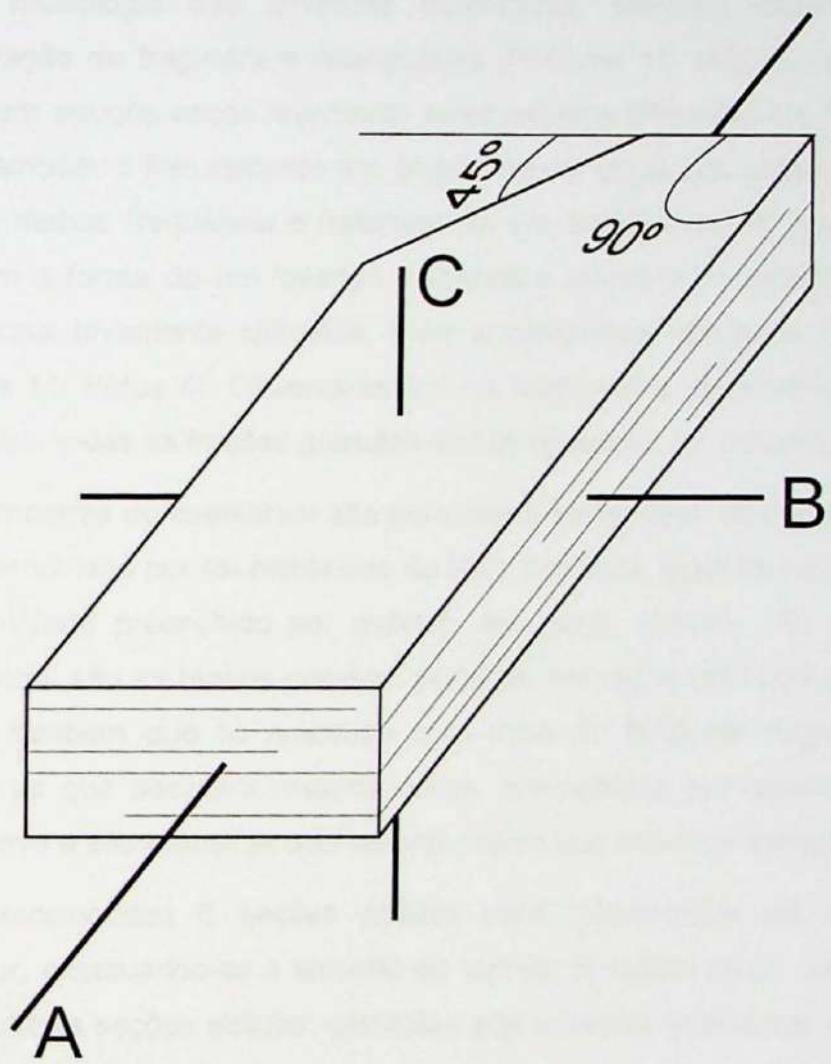


Figura 8: Esquema dos eixos e ângulos medidos nos fragmentos de minério de ferro.

fraturamento é em geral, limitado também pela foliação, porém em alguns fragmentos pode-se notar que as fraturas ocorrem de modo aleatório. Os ângulos de fraturamento estão listados na tabela do anexo 14.

Quanto à morfologia das amostras observadas, pode-se notar uma maior freqüência em geração de fragmentos retangulares (Prancha 11: Foto 1), ora regulares ora irregulares, e em poucos casos levemente arredondados (Prancha 11: Fotos 2 e 3), sendo freqüente também o fraturamento em ângulo de 45 graus em uma das bases do retângulo, ou com menos freqüência o fraturamento em ângulos de 45 graus nas duas bases, tendo assim a forma de um losango. Apenas a amostra do tambor 1 forneceu fragmentos em forma levemente cilíndrica, finos e compridos, devido a forte foliação milonítica (Prancha 11: Fotos 4). Observa-se que os fragmentos de minério têm formas bastante similares em todas as frações granulométricas (Prancha 11: Fotos 5, 6, 7 e 8).

Todas as amostras apresentaram alta porosidade sendo que, os poros em maioria apresentam-se preenchidos por óxi-hidróxidos de ferro (limonita, goethita ou lepdocrocita) e em menor quantidade preenchido por quartzo, em geral, grosso. As amostras de minério, tipo chapinha, são as menos porosas, portanto, menos suscetíveis a geração de finos. Observa-se também que as amostras com mais de 80% de magnetita, fina e porfiroblástica são as que possuem maiores poros, preenchidos por quartzo grosso ou óxi-hidróxidos de ferro e são amostras que correspondem aos minérios moles.

Foram confeccionadas 6 seções polidas para microscopia de minério, das amostras de tambor, excetuando-se a amostra do tambor 5, assim como, também foram analisadas várias outras seções polidas referentes aos minérios itabiríticos da Formação Cauê.

As descrições destas seções já foram discutidas em detalhe no item 7.2.2 Petrografia e Metamorfismo, porém em geral observa-se quanto à mineralogia (excetuando-se a amostra de tambor 5) que todas as amostras são compostas por magnetita, hematita e goethita. Variando apenas a proporção relativa entre estes. Em todas as amostras a magnetita é euedral a sub-euedral formando agregados, ora regulares, ora irregulares, com exceção da amostra do tambor 9, a magnetita apresenta-se alterada, em grau variado, para martita, onde lamelas de hematita ocorrem tanto nas bordas das magnetitas quanto em seus planos octaédricos (formando retículos

Prancha fotográfica 11

Foto 1: Fração > Lump Ore.
Fragmentos em placas de comprimento um pouco maior que a largura.

(Tambor 7)

Foto 2: Fração Lump Ore.
Fragmentos em placas de comprimento aproximadamente igual a largura.

(Tambor 12)

Foto 3: Fração Lump Ore.
Fragmentos de itabirito dolomítico.

(Tambor 5)

Foto 4: Fração Lump Ore.
Fragmentos placoides, losangulares a levemente cilíndricos de comprimento muito maior que a largura.

(Tambor 11)

Foto 5: Fração >Lump Ore.

(Tambor 1)

Foto 6: Fração Lump Ore.

(Tambor 1)

Foto 7: Fração hematitinha.

(Tambor 1)

Foto 8: Fração Sinter Feed.

(Tambor 1)



triangulares). Hematita primária com forma tabular, em geral pouco preservada, ocorre em todas as amostras, variando apenas a quantidade com que são observadas. Na amostra do tambor 9 o minério apresenta 90% de magnetita muito bem preservada, com raras ocorrências de martita com finíssimas lamelas de hematita, que ocorrem no núcleo dos cristais de magnetita. A goethita ocorre em maioria nos poros das rochas, porém localmente também ocorre entre cristais de magnetita e/ou hematita cimentando-as.

Análises Mineralógicas e Geoquímicas

Antes de realizada a separação granulométrica, supracitada, foi retirada de cada amostra de tambor, por quarteamento, uma amostra global em alíquota representativa. Estas alíquotas globais e as alíquotas das frações também obtidas por quarteamento, foram encaminhadas aos laboratórios da SGS-Geosol, Belo Horizonte, para análises químicas dos óxidos principais via fluorescência de raios X (em pastilhas fundidas); P.F. (perda ao fogo) por calcinação a 1.000 C° até peso constante; enxofre por infravermelho (LECO), e os demais elementos por digestão multiácida – ICP. Os resultados de geoquímica, tanto para alíquotas globais quanto para as frações granulométricas, estão apresentados no anexo 13.

Pode-se observar que todas as amostras globais – excetuando-se a amostra do tambor 5 - apresentam teores de Fe_2O_3 total variáveis para minérios de ferro itabiríticos que necessitam de concentração. As amostras de itabirito mole apresentam teores, em média, de 70%, enquanto que as amostras de itabirito tipo chapinha possuem teores médios de 90% de Fe_2O_3 total. Já a amostra de itabirito manganesífero possui teor de 40% de Fe_2O_3 total.

Nas frações finas *pellet feed* e *over flow*, para os minérios do tipo chapinha, percebe-se a diminuição brusca no teor de Fe_2O_3 total. Enquanto que no minério do tipo mole ocorre o enriquecimento em ferro na fração *over flow*, variando o teor de óxido de Fe_2O_3 total de 64% a 82%.

Os teores de Fe_2O_3 total, mais altos concentram-se nas frações *lump ore* e hematitinha, ocorrendo em alguns casos também na fração *sinter feed*. Esta concentração ocorre para os itabiritos do tipo chapinha e para os itabiritos do tipo mole. No caso do minério itabirítico manganesífero o teor de Fe_2O_3 total apresenta teores similares nas frações *lump ore* até *sinter feed*, apresentando um pequeno enriquecimento nas frações *pellet feed* e *over flow*.

Como se trata de um minério de enriquecimento supergênico ocorre o aumento nos teores dos contaminantes. Os principais óxidos que atuam como contaminantes dos minérios de ferro aqui estudados são SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , Na_2O , P_2O_5 .

Os teores de SiO_2 , representado por quartzo, de todas as amostras globais apresentam valores médios de 11% nos casos dos itabiritos tipo chapinha, cerca de 27% para os itabiritos mole, enquanto que para o minério itabirítico manganesífero o teor de SiO_2 sobe para 43,6%. Nota-se que tanto no caso dos itabiritos chapinha quanto para os minérios de itabirito mole, o teor de SiO_2 é inversamente proporcional ao tamanho das frações granulométricas, sendo que o teor de sílica aumenta conforme se diminui o tamanho das frações, ocorrendo em todas as amostras uma leve diminuição no teor de SiO_2 , na fração hematitinha, voltando a crescer nas frações *sinter feed* e *pellet feed*, sendo brusco o aumento nesta última. Já na fração over flow observa-se novamente a diminuição brusca na quantidade de quartzo presente.

O teor de TiO_2 , nas amostras globais, é sempre baixo, chegando no máximo a 0,14% na amostra de itabirito manganesífero. Quanto às granulometrias pode-se observar que não há uma variação significativa, somente na fração over flow é que se concentra o teor mais alto de TiO_2 , para todas as amostras, sendo, o maior teor na amostra de minério tipo "chapinha" do tambor 12.

Para os itabiritos do tipo chapinha o teor de Al_2O_3 , nas amostras globais, está na faixa de 0,4%, enquanto que para as amostras de itabirito mole, este valor sobe para em média 2%, dentre estes se excetua a amostra do tambor 11, que apesar de pertencer ao tipo itabirito mole, possui apenas 0,37% de Al_2O_3 . A amostra de itabirito manganesífero apresenta o maior teor de alumina, contendo 4,7%. Para as frações granulométricas, nas amostras de itabirito chapinha, observa-se um aumento gradativo no teor de alumina conforme se diminui a granulometria, sendo este aumento brusco na fração over flow.

O óxido de manganês, apresenta para as amostras globais, o valor máximo de 5,4%, presente na amostra de itabirito manganesífero, os itabiritos do tipo chapinha apresentam valores máximos de 0,06%, já os itabiritos moles, apresentam valores máximos de 0,2%, excetuando-se a amostra do tambor 11 que apresenta o menor teor dentre todas as amostras, possuindo apenas 0,03% de MnO . Quanto aos teores relacionados com as frações granulométricas, estes não apresentam uma característica que os classifiquem, pois, não apresentam uma ordem de ocorrência, tendo em vista que tanto minérios do tipo itabirito chapinha quanto itabirito mole apresentam uma crescente

tendência no aumento dos teores de manganês chegando sempre a valores máximos nas frações de *over flow*. Já a amostra do tambor 9 apresenta teores crescentes até a fração hematitinha, nas frações *sinter feed* e *pellet feed* estes teores decaem significativamente, culminando em um novo aumento na fração *over flow*. Outra exceção ocorre nas amostras dos tambores 11 e 12, onde ocorrem valores similares de MnO em todas as frações inclusive na fração *over flow*. Na amostra do tambor 10 ocorre o valor máximo de MnO na fração maior que *lump ore* e o segundo maior valor na fração hematitinha, sendo que nas frações *lump ore* e *sinter feed* os teores ficam sempre próximos, em torno de 0,19%, aumentando para 0,54% na fração *over flow*.

As amostras globais para Na₂O, exibem um teor levemente mais elevado nas amostras de itabirito do tipo chapinha dos tambores 1 e 7, na amostra de itabirito manganesífero e na amostra de itabirito mole dos tambores 10 e 11 com teores na faixa de 0,2%, 0,11% e 0,1% respectivamente. Nas outras amostras os teores estão abaixo do nível de quantificação (< 0,1%). Quanto às frações granulométricas o maior valor é registrado pelo tambor 1, onde os maiores teores concentram-se nas frações maior que *lump ore* e *lump ore*, diminuindo conforme se diminuem as frações. O minério itabirítico manganesífero e as amostras de itabirito mole dos tambores 9 e 10 apresentam um enriquecimento gradativo do teor de Na₂O em direção à fração mais fina, *over flow*. Todas as amostras restantes não apresentam teores significativos de Na₂O.

P₂O₅ é um dos principais contaminantes de enriquecimento supergênico nos minérios de ferro. Nas amostras globais pode-se notar que o maior teor de P₂O₅ está presente na amostra de itabirito manganesífero e o menor valor na amostra de itabirito mole do tambor 10. Nas outras amostras nota-se que o teor de fosfato é pouco variável, mantendo-se em torno de 0,1%. Quanto às frações granulométricas, nota-se que em todas as amostras existe o enriquecimento gradacional de P₂O₅, sendo o teor mais alto na fração *over flow*.

A perda ao fogo é mais elevada para as amostras de itabirito manganesífero (tambor 5) e itabirito mole (tambor 9), com valores de 7% e 4% respectivamente, ficando abaixo de 1% em todas as outras amostras. Quanto às frações granulométricas, observa-se que os maiores valores de perda ao fogo ainda ocorrem no itabirito mole do tambor 9 e na amostra de itabirito manganesífero, estes valores são altos em todas as frações granulométricas, sendo que na fração *over flow* estes valores sobem para cerca de 14% em ambas amostras. Para as outras amostras observam-se valores baixos, no máximo

com cerca de 3% na fração *sinter feed* da amostra de tambor 1. Na fração *over flow*, todas as amostras apresentam valores que variam de 10,16% – amostra de itabirito mole referente ao tambor 11 – a 16,85% na amostra de itabirito chapinha referente ao tambor 12.

Em relação aos elementos traço analisados, os que merecem mais atenção, por serem característicos de mineralizações ferríferas são: crômio, cobre, chumbo e vanádio. Estes elementos são considerados também como contaminantes, podendo-se observar nos gráficos do anexo 16, que estes elementos apresentam, em geral, baixos teores e que são praticamente excluídos do minério na fração *over flow*.

Análises de difração de raios X (DRX) foram realizadas nas amostras de *over flow* para determinação da composição mineralógica e identificação de contaminantes. Seus difratogramas são apresentados no anexo 17. Nos difratogramas nota-se a presença de hematita, óxi-hidróxidos de ferro, como goethita e lepidocrocita, e subordinadamente argilo minerais (ilita), ocorre ainda gipsita e micas (provavelmente muscovita). Sendo devido à presença destes minerais hidratados os altos valores de perda ao fogo. É devido também à presença dos argilominerais, bem como, à de micas os altos teores – acumulados nesta fração – de alumina, fósforo, sódio e manganês.

8. Conclusão

A sedimentação ferrífera do Supergrupo Minas consiste de sedimentação química na Formação Cauê gradando para sedimentação ainda essencialmente química, porém, com evidências de contribuição clástica fina na Formação Gandarela. Já a sedimentação na Formação Cercadinho é evidentemente alternada entre sedimentação química e clástica fina dada pela presença de bancos quartzíticos hematíticos alternados por filitos sericíticos. A atividade vulcânica é indicada durante toda a fase de sedimentação das formações estudadas.

Nos metassedimentos ferríferos a hematita observada está quase que totalmente metamorfizada para magnetita, assim como a ocorrência de hematita espacial grossa também é de origem metamórfica. A magnetita encontra-se em alguns locais quase que totalmente martitizada, dando a impressão errônea de que a magnetita é primária. O metamorfismo observado nos metassedimentos do Supergrupo Minas varia de forma

irregular de fácies xisto verde superior na parte central da área a anfibolito baixo nas partes oeste e leste da área maior de mapeamento 1:25.000.

Nos minérios de ferro itabiríticos há enriquecimento supergênico mostrado pela presença de minérios de ferro dos tipos "chapinha" e mole/pulverulento, porém este enriquecimento em ferro também acarreta em um enriquecimento em contaminantes.

O estudo preliminar de caracterização tecnológica mostrou, nas composições químicas das amostras globais dos minérios de ferro, variações compostionais desde minérios itabiríticos de teores médios até de minérios ricos em ferro. Teores limítrofes ou levemente superiores às especificações do mercado de alguns dos contaminantes em amostras individuais se explicam pela natureza das amostras coletadas, tratando-se de minérios de superfície intemperizados.

Observa-se que na maioria das amostras coletadas as frações grossas, $>LO$, LO e Hematitinha, já apresentam naturalmente teores de Fe_2O_3 de minérios com teores maiores que 65% de Fe. Observa-se, ainda que, em todas as amostras, o quartzo é characteristicamente enriquecido nas frações de SF e/ou PF . Por fim, é importante notar também que no OF são efetivamente eliminados todos os contaminantes. Sendo assim, o tipo de minério existente na área é comercialmente viável, utilizando-se apenas como planta de beneficiamento Espira Humphrey para separação do quartzo existente por gravimetria e de hidrociclos para a separação do *pellet feed* do *over flow* (rejeito), onde também grande parte dos contaminantes são eliminados.

9 Bibliografia

- Abreu, G.C. 2004. *Evolução petrogenética e metalogenética da mina de ouro do Pari e arredores, NE do Quadrilátero Ferrífero-MG*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 228p. anexos.
- Alkmim F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**:29-58.
- Almeida, F.F.M. 1967. *Origem e evolução da plataforma brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim 241, 36p.
- Almeida, F.F.M. 1976. Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. In: SBG, Cong. Bras. Geol, 29, Resumos, 201-202.
- Almeida, F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.* **7**:349-364.
- Almeida-Abreu P.A. & Pflug, R. 1994. The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Zbl. Geol. Paläont.*, **1/2**:21-44.
- Almeida-Abreu P.A. & Renger F.E. 1999. Discussão – "O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleo/Mesoproterozoico", de M. A. Martins-Neto. *Rev. Bras. Geoc.* **29**:663-665.
- Almeida-Abreu, P.A. & Renger, F.E. 2002. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do Mesoproterozóico. *Rev. Bras. Geoc.* **32**:1-14.
- Babinski, M., Chemale Jr., F. E Van Schmus, W. R. 1991. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: Cong. Bras. Geoq., 3, *Anais*, vol. 2, 628-630.
- Baltazar O.F. & Raposo F.O. 1993. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Mariana, SF.23-X-B-I. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM, 196p.
- Barbosa, A.L.M. 1968. Contribuições Recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero. In: SBG - Núcleo MG, Conferência, UFOP, Escola de Minas, Depto. Geol. 3^a reimpressão, Ouro Preto, 1983.
- Barbosa, A.L.M. 1969. Geologic map of the Antônio Pereira Quadrangle, Minas Gerais, Brazil (1:25.000), Plate 8, in: J.V.N. Dorr (1969): *Physiographic, stratigraphic and*

structural development of the Quadrilátero Ferrífero Minas Gerais, Brazil. Washington, USGS, Prof. Pap. 641-A, 110p.

Barbosa, O. (1949): Contribuição à geologia do centro de Minas Gerais. *Min. Met.* vol. 14, 79: 3-19.

Brito Neves, B.B.D., Kawashita, K. E Delhal, J. 1979. A evolução geocronológica da cordilheira do Espinhaço: dados novos e integração. *Rev. Bras. Geoc.* 9:71-85.

Carneiro, M.A. 1992. *O complexo metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento da crosta continental do Arqueano.* Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 233p.

Carneiro, M.A., Teixeira, W., Machado, N. 1993. Evolução geológica policíclica de terrenos granito greenstone do Arqueano Superior do Cráton do São Francisco Meridional; um exemplo a partir do Complexo Metamórfico de Bonfim Setentrional. In: Simp. Cráton do São Francisco, 2, *Anais*, 70-74.

Costa, M.T.D., Romano, A.W. 1976. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1: 1.000.000. IGA, Belo Horizonte.

COMIG/CPRM 2003. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000, Belo Horizonte.

COMIG 2005. Geologia do Quadrilátero Ferrífero Escala 1:50.000 (DVD-ROM).

Derby, O.A. 1905. The geology of the diamond and carbonado washings of Bahia, Brazil. *Econ. Geol.* 1:134-142.

Derby, O.A. 1906. The Serra do Espinhaço, Brazil. *Journ. of Geol.*, 14:374-401.

Dorr, J.V.N. (1966): Stratigraphy. - Pr. IV-2-IV-5, in: Outline of the Geology of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil., Amer. Geol. Inst., Brazil, Washington 1966.

Dorr, J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.* Washington, USGS, Prof. Pap. 641-A, 110p.

Dorr, J.V.N., Barbosa, A.L.M. 1963. *Geology and ore deposits of the Itabira Districts, Minas Gerais, Brazil.* Washington, USGS, Prof. Pap. 341-C, 110p.

- Dorr, J.V.N., Gair, J.E., Pomerene, J.B., Rynearson, G.A. 1957. *Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. Rio de Janeiro, DNPM, Div. Fom. Min. Avulso, 81, 31p.
- Dussin, T.M., Dussin, I.A., Noce, C.M., Rossi, P., Charvet, J. 1997. Tectonic setting and origin of the mesoproterozoic Borrachudos granites (MG, Brazil). Simp. Sul Amer. de Geol. Isotop., Resumos Expandidos, 104-106.
- Endo, I. 1997. *Regimes Tectônicos do Arqueano e proterozóico no interior da placa Sanfranciscana, Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais - São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.
- Eschwege, W.L.v. 1817. Idées générales sur la constitution géologique du Brésil. *Ann. Mines*, II:238-240.
- Eschwege, W.L.v. 1822. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. - 44p., Landes-Industrie-Comptoirs, Weimar, 1822.
- Eschwege, W.L.v. 1832. Beiträge zur Gebeirgskunde Brasiliens; mit vier petrographischen geognostischen Karten. – 488 p., G. Reimer, Berlin, 1832.
- Fleischer, R. E Routhier, P. 1973. The consanguineous origin of a tourmaline bearing gold deposit: Passagem de Mariana (Brazil). *Econ. Geol.* 68:11-22.
- Garrels, R.M., Christ, C.L., (eds.) 1965. Solutions, Minerals, and Equilibria. Harper & Row, New York, 449pp.
- Gorceix, H. 1885. Estudos sobre a monazita e a xenotima do Brasil. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto*, 4:29-48.
- Gross, G.A., 1983. Tectonic Systems and the Deposition of Iron-Formation. In: Precanbrian Research, 20. In: Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. pp.: 171-187
- Guimarães, D. 1931. *Contribuição à geologia do Estado de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, Serv. Geol. Min., Bol. 55, 36p.
- Guimarães, M.L.V. 1992. *Petrogênese das rochas precambrianas da região de Itabira-Morro do Pilar, borda SE da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 138p.
- Harder, E.C., Chamberlin, R.T. (1915): The Geology of central Minas Geraes, Brazil. *Journ. of Geol.*, 23:341-378 e 385-424.

- Herz, N. 1970. *Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS, Prof. Pap. 641-B, 58p.
- Herz, N. 1978. *Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS, Prof. Pap. 641-C, 81p.
- Hurley, P.M. 1961. The basements of Central and South America, ore, how not do date a continent [with discussion], *New York Acad. Sci. Annals*, Vol. 91, 571-575.
- Inda, H.A.V., Schorscher, J.H.D., Dardenne, M.A., Schobbenhaus, C., Haralyi, N.C.E., Branco, P.C.A., Ramalho, R. 1984. O Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Araçuaí. In: C. Schobbenhaus, D.D.A. Campos, G.R. Derze, H.E. Asmus (coords.), *Geologia do Brasil*. DNPM, Div. Geol. Min. Pp. 193-248.
- Klein, C., Ladeira, E.A. 2000. Geochemistry and Petrology of Some Proterozoic Banded Iron-Formations of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, 95, pp.: 405-428
- Klein, C., Beukes, N.J., 1992. Proterozoic Iron-Formation. In: Condie, K. C., (ed.) *Proterozoic Crustal Evolution*. In: *Developments in Precambrian Geology*, 10. Elsevier, Amsterdam, pp.: 383-418
- Luchesi, I. 1991. *Evolução Petrogenética e metalogenética da Serra da Boa Vista, Quadrilátero Ferrífero-MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 134p.
- Luchesi, I. & Schorscher, H.D.S. 1989. Evolução petrogenética e metalogenética da Serra da Boa Vista, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 1º Relatório Científico, FAPESP, Proc. Nº 88/0806-1, 99p.
- Machado, G.A.A. 1998. *Jazidas de Esmeralda de Capoeirana e Belmont – MG: Geologia, Petrogênese e Metalogênese*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 196p. Anexos.
- Machado, N., Noce, C.M., Belo de Oliveira, O.A., Ladeira, E.A. 1989a. Evolução geológica do quadrilátero ferrífero no arqueano e proterozóico inferior, com base em geocronologia U-Pb. In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 5, / Simp. Geol. Brasília, 1, *Anais*, 10, 1-5.
- Machado, N., Schrank, A., Abreu, F.R.D., Knauer, L.G., Almeida-Abreu, P.A. 1989b. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço meridional. In: SBG-MG, Simp. Geol. de Minas Gerais, 5, / Simp. Geol. Brasília, 1, *Anais*, 10, 171-174.

Machado, N., Noce, C.M., Feng, R. 1993. Idades 207Pb/206Pb de zircões detriticos de rochas metassedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero, Sul do Cráton do São Francisco: Considerações sobre áreas-fonte e idades de sedimentação. In: Simp. Cráton São Francisco, 2, *Anais*, 149-151.

Machado, N., Schrank, A., Noce, C.M., Gauthier, G. 1996a. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilatero Ferrifero, southeast Brazil. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 141:259-276.

Machado, N., Schrank, A., Noce, C.M., E Gauthier, G. 1996b. Idades de zircões detriticos de seqüências arqueanas e paleo-proterozóicas do Quadrilátero Ferrífero: Implicações para a evolução do Greenstone Belt do Rio das Velhas e da Bacia de foreland do Supergruupo Minas. In: SBG, Congresso brasileiro de geologia, 39, *Anais*, 6, 110-114.

Maxwell, C.H. 1972. *Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS, Prof. Pap. 341-J, 72 p.

Mello, C.L., Sant'anna, L.G., Bergqvist, L.P. 2000. Sítio paleontológico de Fonseca, Minas Gerais (Vegetais fósseis do Terciário brasileiro).
<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio086/sitio086.htm>

Mel'nik, Y. P. (ed.) 1982. Precambrian Banded Iron-Formations – Physicochemical Conditions of Formation. In: *Developments in Precambrian Geology*, 5. Elsevier. Amsterdam, 307 pp.

Moraes, L.J., Barbosa, O. 1939. *Ouro no centro de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim 38, 186 p.

Moore, S.L. 1969. *Geology and Ore deposits of the Antônio dos Santos, Gongo Soco, and Conceição do Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS, Prof. Pap. 341-I, 50 p.

Pflug, R. 1965. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim, 226, 55p.

Pflug, R. 1968. *Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 20 p. (NotasPrel. 142).

Pflug R., Renger F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem sudeste do Cráton Sanfranciscano. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 27, Aracajú, *Anais*, 2:5-19

- Pinto, C.P. 1996. *Projeto Rio das Velhas*. Belo Horizonte, CPRM. 121p
- Rettinger, R. 1998. *Thermometamorphic characterization of the transition zone between the Archean São Francisco Craton and the Proterozoic mobile belt, Minas Gerais, Brazil*. Tese de Doutorado (Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor – Naturwissenschaften), Universidade de Potsdam, 116 p.
- Rollinson, H. (ed.) 1993. Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation. Logman Scientific & Technical, New York, 352pp.
- Rösler, H. J., Lange, H. 1976. Geochemische Tabellen. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart. 664p.
- Rosiére C.A., Chemale JR. F., Guimarães M.L.V. 1993. Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero: Parte I – estruturas e recristalização. *Geonomos* 1: 65-84.
- Rosiére C.A., Siemes H., Quade H., Brokmeier H., Jansen E.M. 2001. Microstructures, textures, and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*. 23. 1429-1440.
- Sant'anna, L. G., Schorscher, H. D. 1997. Estratigrafia e mineralogia dos depósitos Cenozóicos da região da Bacia de Fonseca, estado de Minas Gerais, Brasil. *Anais Acad. Bras. Ciênc.* 69:211-226.
- Sant'anna, L. G., Schorscher, H.D., Riccomini, C. 1997. Cenozoic tectonics of the Fonseca Basin region, eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *J. South American Earth Sciences*, 10:275-284.
- Santos, A.R. 1986. *Estudos sobre a tectônica de fraturamento na região do Quadrilátero Ferrífero e em partes do Complexo Migmatítico-granulítico de Minas Gerais com base em sensoriamento remoto*. Tese de doutorado Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 172p.
- Schobbnehaus, C., Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E. (coords). 1981. Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais; escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM/MME (4folhas).
- Schöll, W.U., Fogaça, A.C.C. (1979): Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina. - In: SBG-MG, Simp. Geol. Minas Gerais, 1, Atas, 55-73.

- Schorscher, J.H.D. (1973); Zur liegenden Abgrenzung der präkambrischen Minas-Gruppe, am Beispiel des Raumes Itabira, Minas Gerais, Brasilien. Münster. Forsch. Geol. Paläont., 31/32:29-53.
- Schorscher, J.H.D. 1975. *Entwicklung des polymetamorphen präkambrischen Raumes Itabira, Minas Gerais, Brasil*. Tese de Doutorado, Univ. de Heidelberg, 304p.
- Schorscher, J.H.D. 1976a. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 29, Resumos, 194-195.
- Schorscher, J.H.D. 1976b. Alpinotype Deckentektonik im Prækambrium des Eisernen Vierecks, Minas Gerais, Brasilien. In: 5. Geowiss. Lateinamerika-Kolloquium, Tagungsunterl, 33-35, Clausthal-Zellerfeld.
- Schorscher, J.H.D. 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Anais Acad. Bras. Ciênc.* **51**:767-768.
- Schorscher, J.H.D. 1979. Evolução arqueana e proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e de partes meridionais da Serra do Espinhaço. In: Simpósio sobre a Geologia do Craton São Francisco e de suas Faixas Marginais, I, Resumos.
- Schorscher, J.H.D. 1980a. Geotectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. In: Inter. Geol. Cong., 26, Abstracts, Vol. 2, p. 613.
- Schorscher, J.H.D. 1980b. Contribuição à estratigrafia proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, **52**:195.
- Schorscher, J.H.D. 1988. Quadrilátero Ferrífero and adjacent areas. In: Inter. Conf. Geoch. Evol. Contin. Crust, Guidebook, 96 p.
- Schorscher, J.H.D. 1992. *Arcabouço petrográfico e evolução crustal de terrenos precambrianos do sudeste de Minas Gerais, Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e Domínios granito-gnáissicos adjacentes*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 394p.
- Schorscher, J.H.D., Guimarães, P.F. 1976. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 29, Roteiro das Excursões, p. 75-86.
- Schorscher, J.H.D., Santana, F.C., Polônia, J.C., Moreira, J.M.P. 1982. Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstone belt and Proterozoic rocks. In:

International Symposium / Archaean and Early Proterozoic Crustal Evolution and Metallogeny. ISAP. Excursion Guide (annex) - Field Trip, CPM-SME, n.3, 46p.

Simmons, G.C., Maxwell, C.H. 1961. *Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim, 211, 30p.

Simmons, G.C. (1968): *Geology and mineral resources of the Barão de Cocais area, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS, Prof. Pap. 341-H, 46p.

Spier C.A. 2005. Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de Doutoramento. Instituto de Geociências – Igc. Universidade Estadual de São Paulo – USP, 298p. São Paulo.

Tassinari M.M.M.L., Kahn H. 1996. Caracterização tecnológica em minério de ferro itabirítico. Anais. Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 654pp.

Teixeira, W. 1982. Geocronology of southern part of São Francisco Craton. – *Rev. Bras. Geoc.*, **12**:268-277.

Teixeira, W., DOSSIN, I.A., DOSSIN, T.M., SALVADOR, E.D., SIGA JR., O., SATO, K. 1990. Interpretação do contexto geotectônico do embasamento na borda leste do Sistema Espinhaço, região de Guanhães e Gouveia-MG, com base numa integração do seu conjunto geocronológico U/Pb, Rb/Sr e K/Ar. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 36, *Anais*, Vol. 6, 2711–2722.

Thorpe, R.I., Cumming, G.L., Krstic, D. 1984. Lead isotope evidence regarding age of gold deposits in the Nova Lima district, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **14**:147-152.

Torquato, J.R. 1976. Geotectonic correlation between SE Brazil and SW África. Anais Acad. Bras. Ciênc., **48**:353-363.

Trendall, A.F., 2002. The Significance os iron-formation in the Precambrian Stratigraphic record. In: Precambrian Sedimentary Environments: A Modern Approach to Ancient Depositional Systems. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment. Blackwell Science, Austrália. 33.33-66

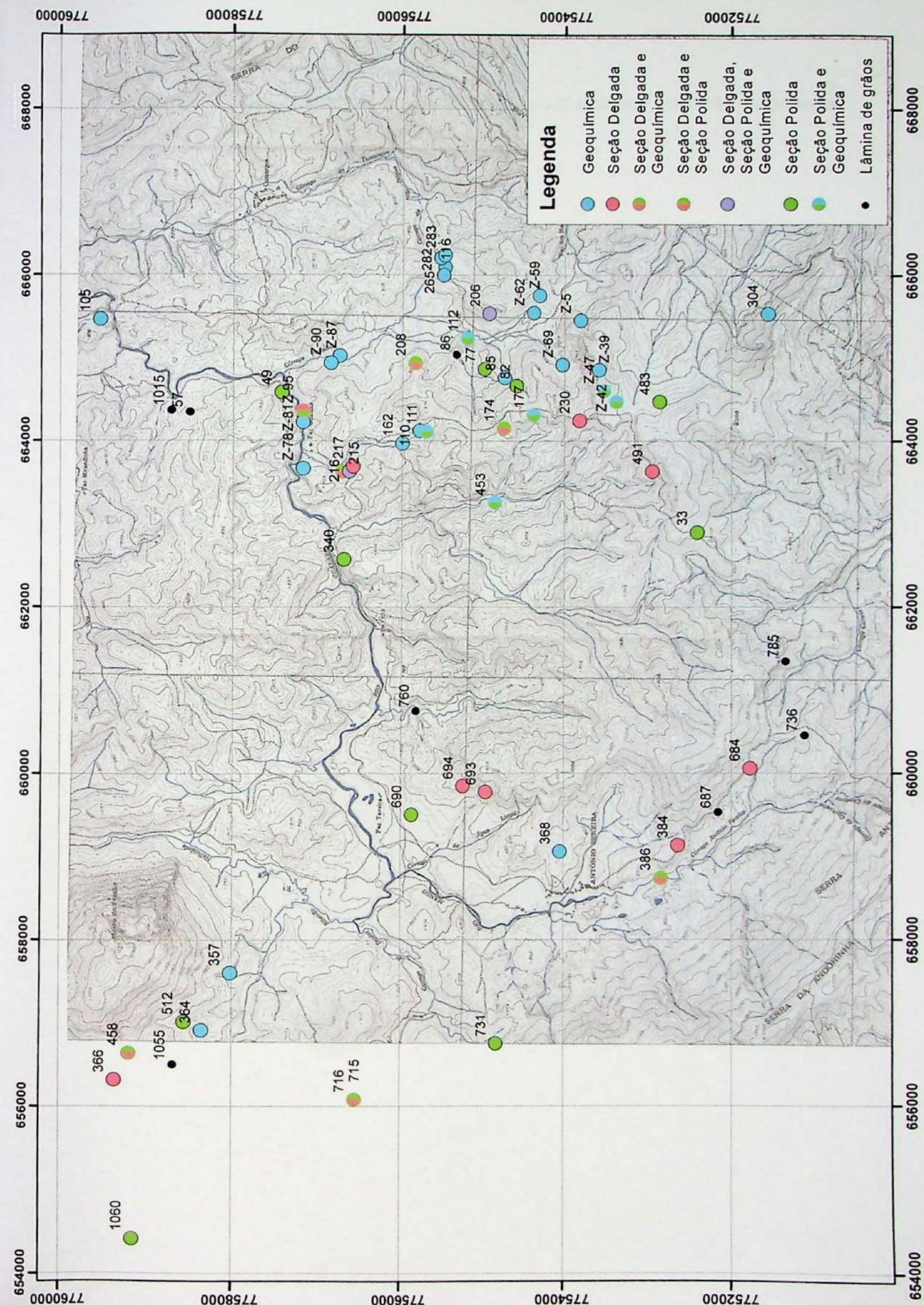
Trendall, A.F., Morris, R.C., (eds.) 1983. Iron-Formation: Facts and Problems. In: Developments in Precambrian Geology, 6. Elsevier, Amsterdam, 535pp.

- Uhlein, A. 1982. *Geologia e mineralizações de cromita e itabiritos da região de Serro - MG*. Tese de Mestrado (ined.), Universidade de Brasília, 189p.
- Uhlein, A. 1991. *Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do craton do São Francisco e da faixa Araçuaí (ciclo Brasiliano) no estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 295p.
- Veneziani, P. 1987. *Análise dos movimentos da tectônica rúpil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos da região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 186p.
- Vial, D.S. 1988. Mina de ouro de Passagem, Mariana, Minas Gerais. In: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho (eds.), *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Vol. 3:421-430, DNPM.
- Zavaglia G. 1995. Condicionantes geológicos do comportamento dos minérios de ferro do depósito Tamanduá (MG) no processo metalúrgico de redução direta, Dissertação de Mestrado. Escola de Minas, Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 200 pp.

Anexos

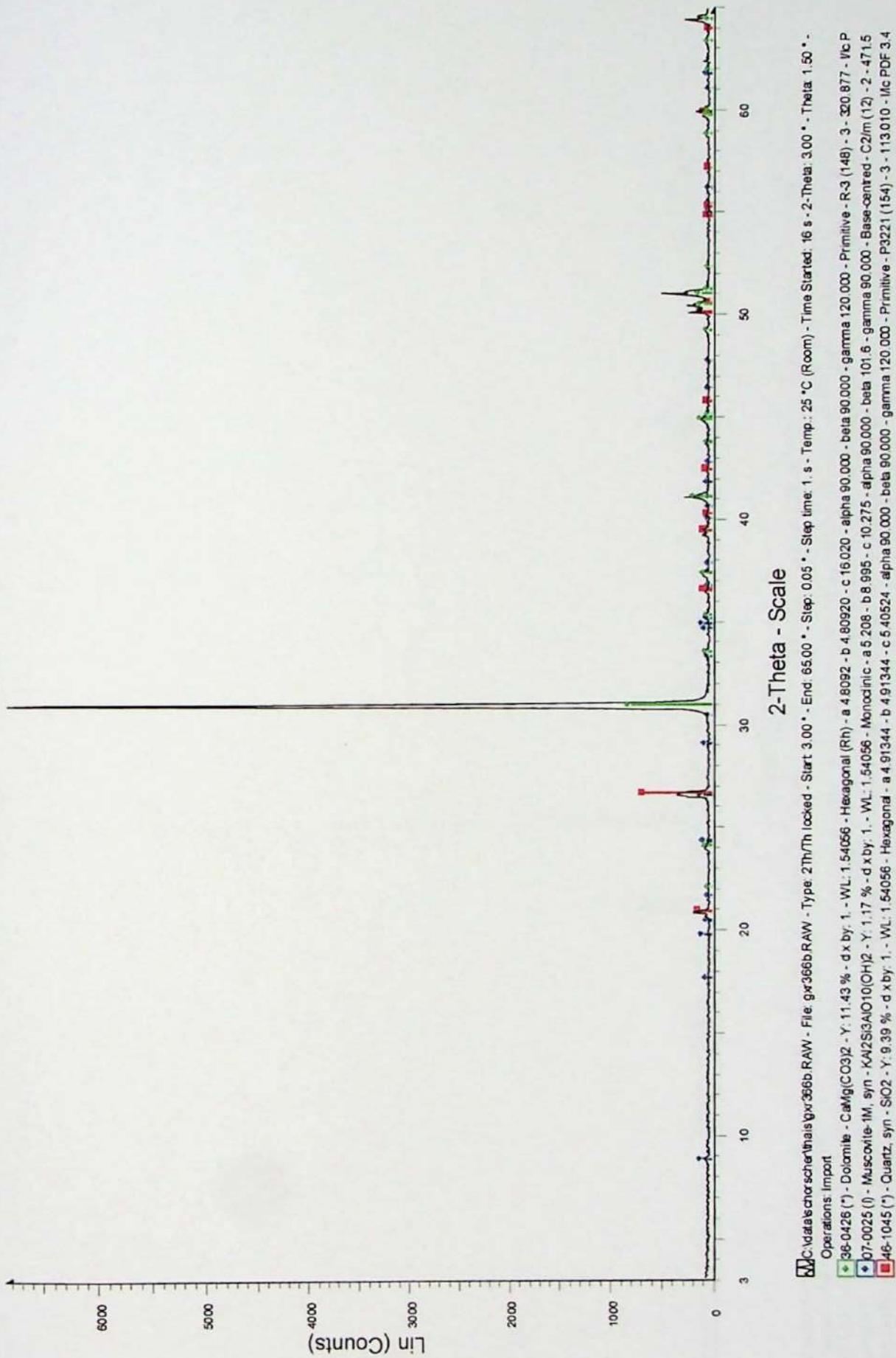
- Anexo 1: Mapa Geológico 1:25.000: Envelope.
- Anexo 2: Mapa de Afloramentos 1:25.000: Envelope.
- Anexo 3: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Cauê, Afloramento 33: Envelope.
- Anexo 4: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Gandarela, Afloramento 386: Envelope.
- Anexo 5: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Cercadinho, Afloramento 57: Envelope.
- Anexo 6: Mapa de Localização dos Afloramentos com Análises
- Anexo 7: Difratogramas de Raios X de Carbonatos Da Formação Gandarela
- Anexo 8: Resultados de Geoquímica para Elementos Maiores, Elementos Traço e Metais Nobres
- Anexo 9: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Elementos Maiores
- Anexo 10: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Elementos Traço
- Anexo 11: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Metais Nobres
- Anexo 12: Mapa de Localização dos Afloramentos com Amostragem para Caracterização Tecnológica
- Anexo 13: Resultados de Separação Granulométrica e Geoquímica por Frações de Minério de Ferro Itabirítico
- Anexo 14: Morfologia dos Fragmentos de Minério de Ferro Itabirítico por Fração Granulométrica
- Anexo 15: Histogramas de Dimensões dos Fragmentos de Minério de Ferro Itabirítico por Fração Granulométrica
- Anexo 16: Gráficos da Porcentagem em Peso por Fração, do Teor de Ferro e dos Contaminantes
- Anexo 17: Difratogramas das Frações Finas (*Over Flow*)
- Anexo 18: Mapa Geológico 1:5.000 Reduzido

Anexo 6: Mapa de Localização dos Afloramentos com Análises

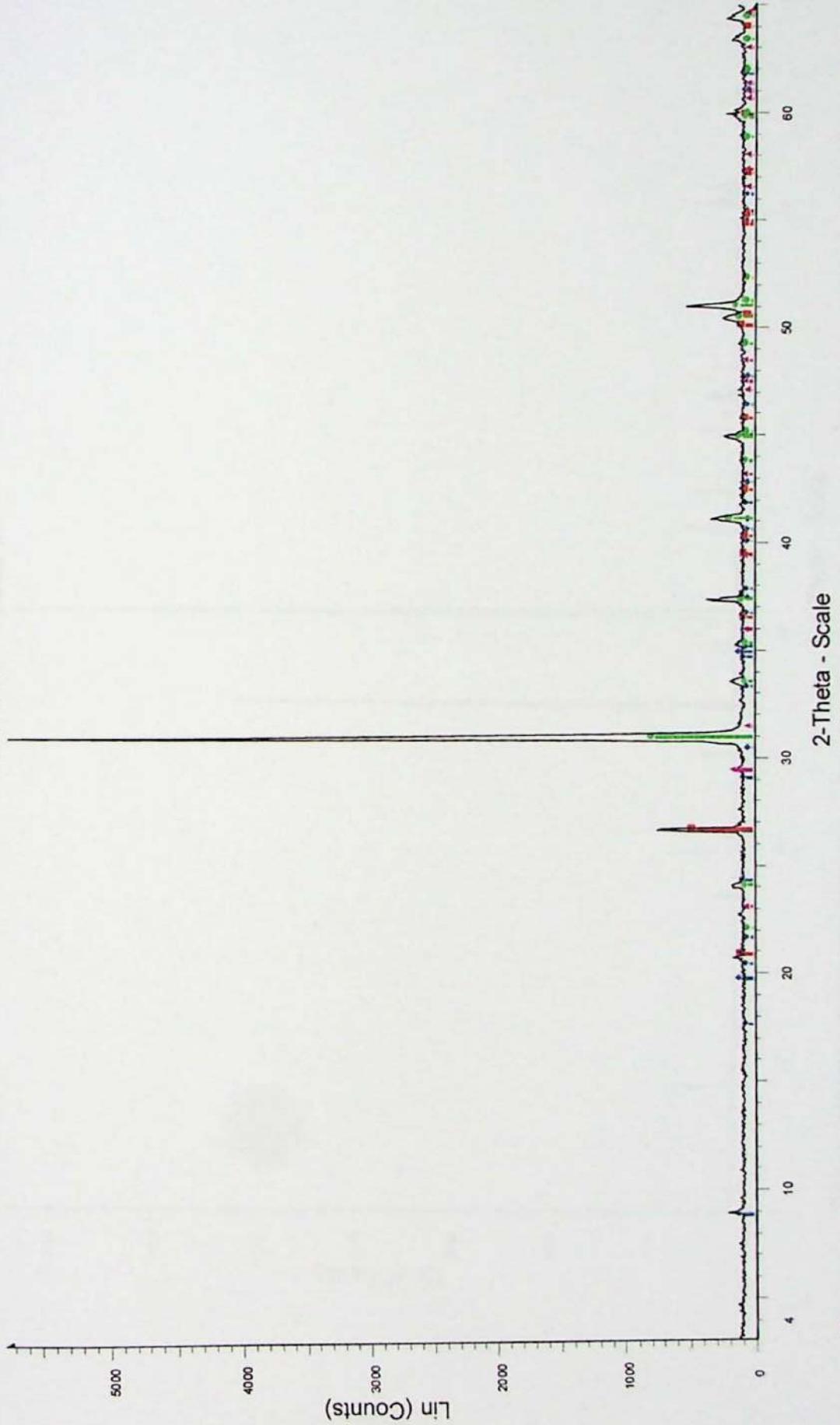


Anexo 7: Difratogramas de Raios X de Carbonatos da Formação Gandarela

R366-B

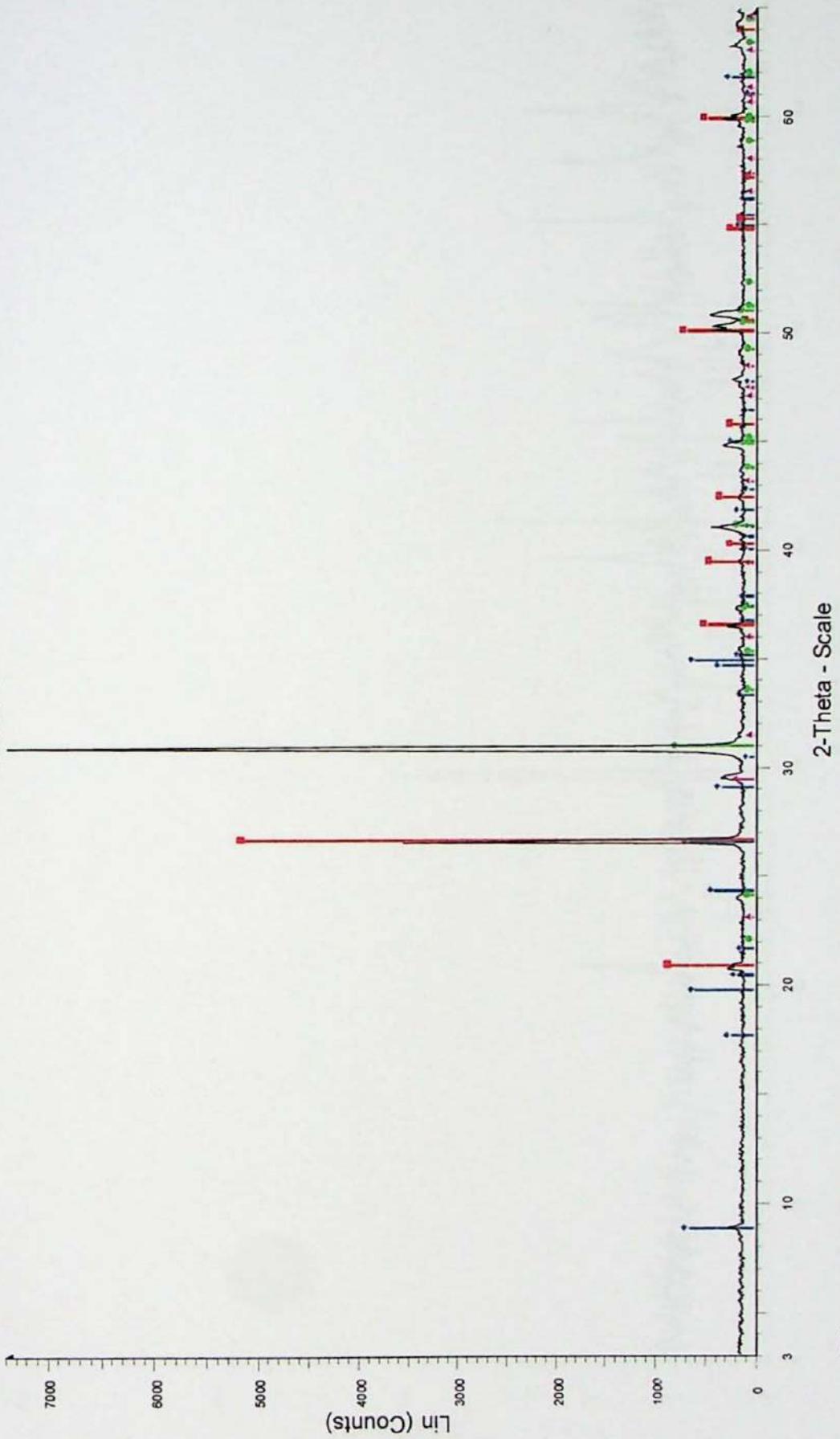


R-386-1



File: gxr3841.RAW - File: gxr3841.RAW - Type: 2Theta/Th locked - Start: 3.07 ° - End: 65.06 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.07 ° - Theta: 1.50 ° -
Operations: Displacement -0.063 | Import
07-0025 (I) - Muscovite-1M, syn - KAl₂Si₃AlO₁₀(OH)2 - Y: 1.39 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monodinic - a 5.208 - b 8.996 - c 10.275 - alpha 90.000 - beta 101.6 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/m (12) - 2 - 471.5
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 7.43 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P32(1) (154) - 3 - 113.010 - Ic PDF 3.4
36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 13.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 4.8092 - b 4.80920 - c 16.020 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 3 - 320.877 - Ic P
A05-0086 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 2.08 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 4.989 - b 4.9890 - c 17.062 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - Ic PDF 2

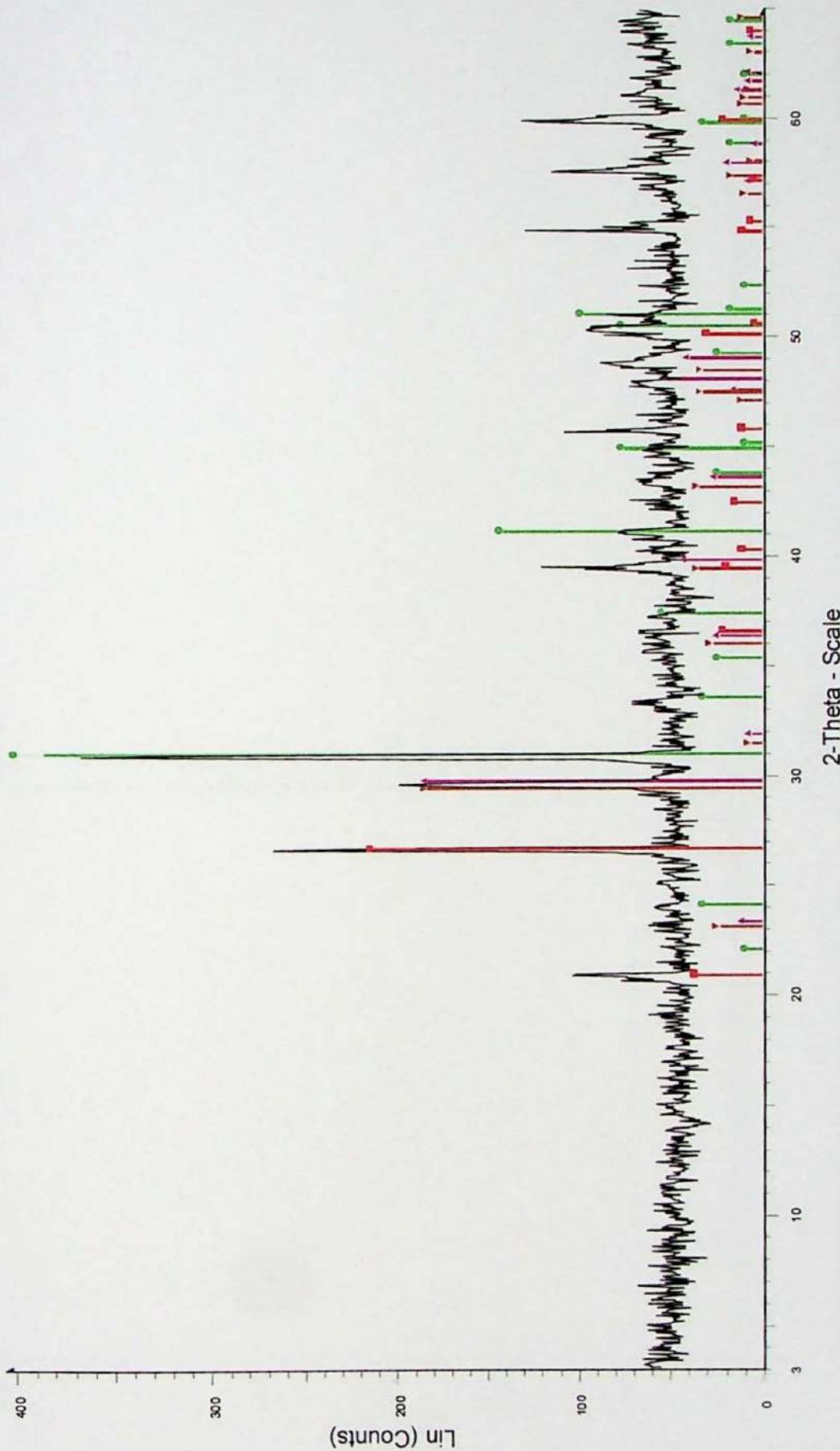
R-386-5



C:\data\achsersch\thetaais\gr3845.RAW - File: gr3845.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start 3.00° - End: 65.00° - Step: 0.05° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00° - Theta: 1.50° -

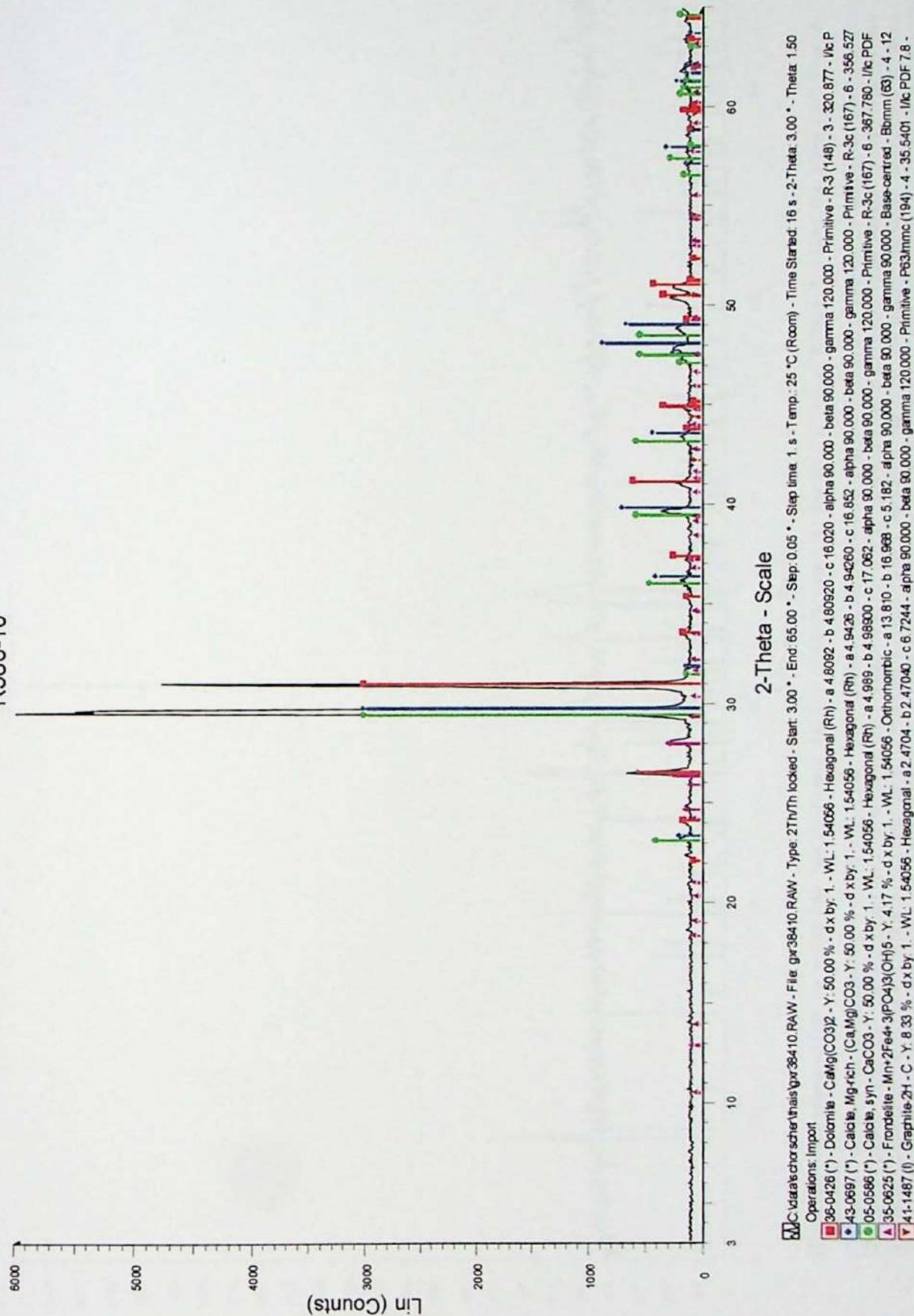
Operations: Import
07-0025 (I) - Muscovite IM, syn - KA2Si3AlO10(OH)2 - Y: 8.70 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Monodimic - a5 208 b 8 995 - 10.275 - alpha 90.000 - beta 101.6 - gamma 90.000 - base-centered - C2/m(12) - 2 - 4715
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 69.56 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - P3221(154) - 3 - 113.010 - Vc PDF 3
36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - Y: 10.15 % - d xby: 1. - WL: 1.54066 - Hexagonal (RH) - a 4.8092 - b 4.80920 - c 16.020 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 3 - 320.877 - Vc P
40-05086 (*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 2.08 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (RH) - a 4.989 - b 4.98900 - c 17.062 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 367.780 - Vc PDF 2

R-386-8b

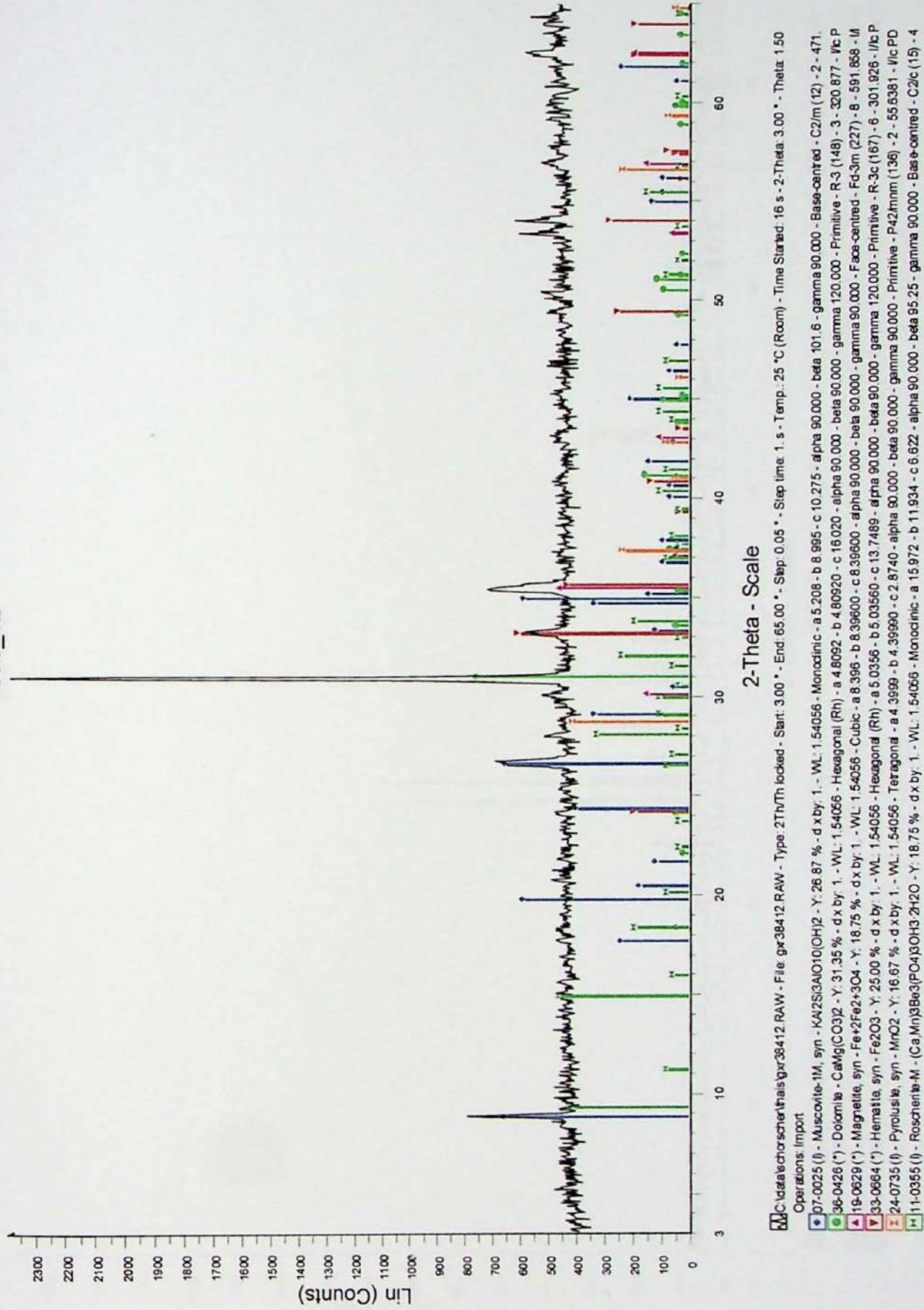


MCdataandschreiberthais\gr3848b.RAW - File: gr3848b.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 300 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp: 25 °C (Raam) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00 ° - Theta: 15.0
Operations: Import
■ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 56.14 % - d x by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a: 91344 - b: 491344 - c: 540524 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - P3221(154)-3-113010-Iic PDF 3.
● 38-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 203.50 % - d x by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a: 4.80920 - b: 4.80920 - c: 16.020 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - R-3 (148)-3-320.877-Iic
▲ 43-0997 (*) - Calcite, Mg-rich - (Ca,Mg)CO₃ - Y: 50.00 % - d x by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a: 4.9426 - b: 4.9426 - c: 16.052 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - R-3c (167)-6-366.527
▼ 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃ - Y: 50.00 % - d x by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a: 4.989 - b: 4.989 - c: 17.082 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - R-3c (167)-6-367.780-Iic PDF

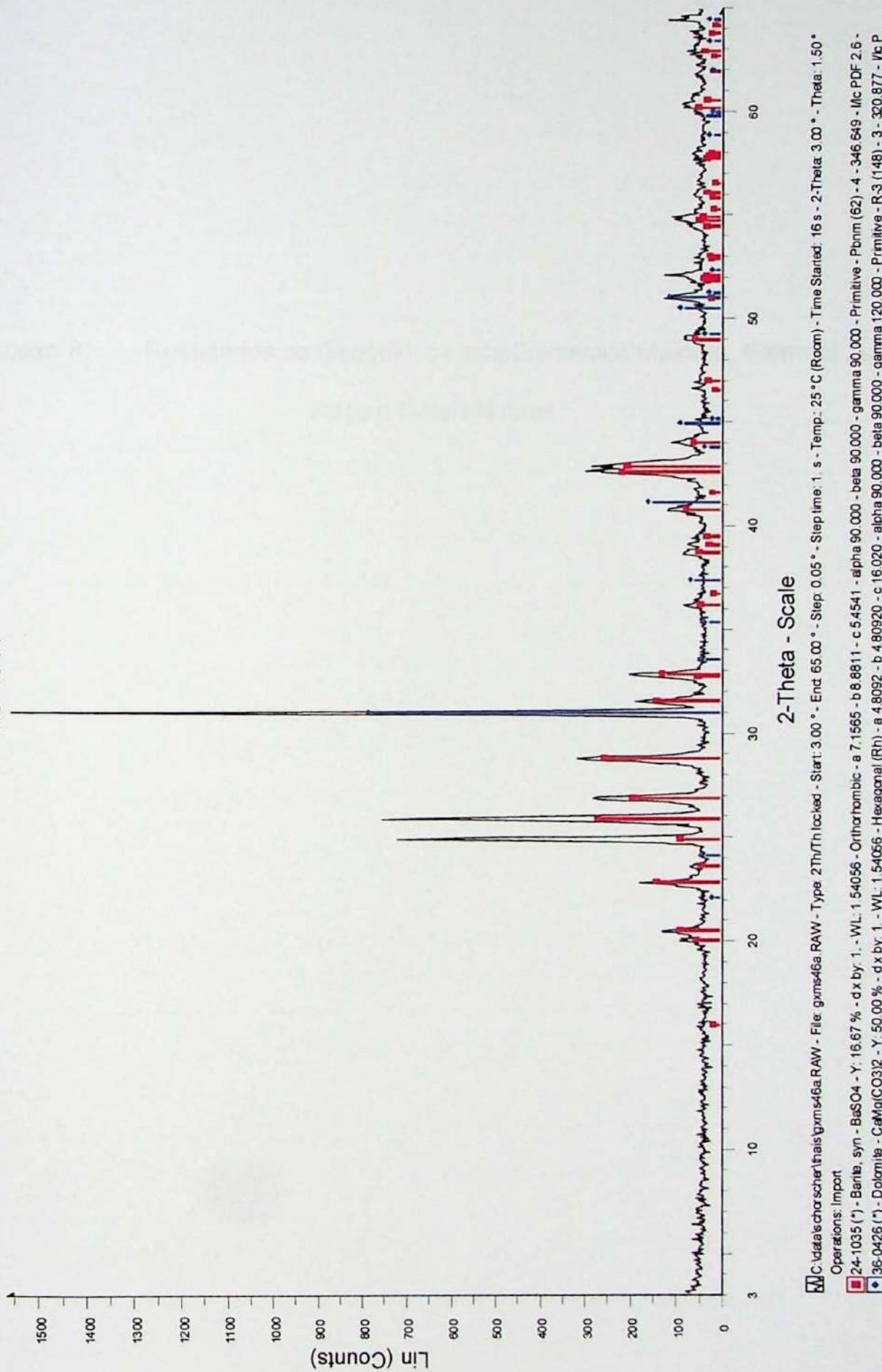
R386-10



R386_12



MS-46-A



Anexo 8: Resultados de Geoquímica para Elementos Maiores, Elementos Traço e Metais Nobres

Geoquímica de Elementos Maiores

Amostras	Petrografia	S_Leco	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Tl
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
GHB-05-03	BIF arq Alpinópolis	<0,01	1,0	<0,01	14,3	<0,01	<0,01	0,48	<0,01	0,09	0,02000
GX-085A	BIF arq NL, magnetítico, bandado, sem granada;	<0,01	5,7	<0,01	11,3	<0,01	0,4	0,15	<0,01	0,05	0,28000
GX-085B	BIF arq NL, magnetítico, bandado, granatífero	0,03	5,4	<0,01	>15	<0,01	0,1	0,09	<0,01	0,80	0,40000
GX-085C	BIF arq NL, magnetítico, bandado, granatífero	0,03	4,7	<0,01	14,5	<0,01	0,1	0,08	<0,01	0,44	0,24000
GX-174B	BIF arq NL, magnetítico, com boxworks idiomórficos com cores de alteração de sulfetos;	<0,01	7,3	<0,01	12,3	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	0,15	0,16000
GX-177A	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	0,02	5,3	<0,01	>15	<0,01	0,1	0,06	<0,01	0,50	0,19000
GX-177B	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	<0,01	3,7	<0,01	>15	<0,01	0,02	0,03	<0,01	0,25	0,08000
GX-177C	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	<0,01	4,6	<0,01	>15	<0,01	0,02	0,13	<0,01	0,51	0,09000
GX-206A	BIF arq NL, carbonático, magnetítico;	<0,01	0,6	<0,01	>15	<0,01	0,1	0,01	<0,01	0,07	0,00000
GX-216B	BIF arq NL, cor verde escura, magnetítico, com porções brancas (caoliníticas);	<0,01	2,8	<0,01	>15	<0,01	0,5	0,15	<0,01	0,11	0,07000
GX-216C	BIF arq NL, bandado, cor verde escura, magnetítico, com porções brancas (caoliníticas);	<0,01	2,9	<0,01	>15	<0,01	0,6	0,03	<0,01	0,08	0,05000
GX-216D	velo de quartzo de coloração alaranjada em BIF arq NL	<0,01	0,31	<0,01	2,1	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
GX-368	Qtzo de velo (Garimpo de Topazio)	<0,01	0,46	0,02	1,3	0,04	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01
GX-215A	Qtzito ferruginoso pobre em Fe, magnetítico, fino, sacaroidal; Formação Cercadinho	<0,01	3,1	0,04	10,1	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,09	0,07
GX-Z-05	Canga porosa, seixos pequenos de hematita compacta, matriz quartzosa, fina; Fm. Chapada de Canga;	0,02	1,0	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,08	<0,01	0,12	0,03
GX-Z-31C	Canga com seixos de Itabirito duro, limonítica; Fm. Chapada de Canga;	0,02	1,6	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,10	<0,01	0,16	0,06
GX-Z-47	Canga porosa, magnetítica, com fragmentos de itabirito dolomítico; Fm. Chapada de Canga;	0,02	2,2	<0,01	>15	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,22	0,20
GX-Z-59B	Canga porosa, sem magnetita, com fragmentos de itabirito pobre; Fm. Chapada de Canga;	<0,01	2,2	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,05	<0,01	0,22	0,18
GX-Z-69	Canga porosa, quartzosa, com fragmentos de Itabirito pobre, dolomítico, com magnetita; Fm. Chapada de Canga	0,02	1,0	<0,01	>15	<0,01	0,04	0,05	<0,01	0,20	0,09
GX-Z-78	fragmento de canga limonítica com mt;	<0,01	1,5	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,13	<0,01	0,12	0,06
GX-Z-81	fragmento de canga	0,02	2,6	<0,01	>15	0,03	0,02	0,03	<0,01	0,36	0,04
GX-Z-87	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	<0,01	1,3	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,07	<0,01	0,21	0,13
GX-Z-90	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	0,02	1,3	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,04	<0,01	0,08	0,03
GX-162	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	0,03	2,5	<0,01	>15	<0,01	0,06	0,07	<0,01	0,13	0,18
GX-110	Itabirito dolomítico, manganesífero; Fm. Cauê	0,02	1,8	<0,01	>15	<0,01	0,05	0,14	<0,01	0,06	0,01
GX-215B	quartzito managanesífero; Fm. Cercadinho	<0,01	4,3	0,02	12,9	0,05	0,07	9,3	<0,01	1	0,02
GX-105	Qtzito verde, microconglomerático, com mt e cores de alteração de sulfetos; SSBV	<0,01	5,1	0,01	5,4	3,2	0,23	0,05	0,05	0,04	0,31
GX-116A2	Qtzito verde, microconglomerático; SSBV	<0,01	4,7	<0,01	5,2	2,8	0,27	0,15	0,04	0,03	0,28
GX-265A	Metaconglomerado SSBV	<0,01	3,1	<0,01	2,3	1,1	0,13	0,04	<0,01	0,01	0,05
GX-265B	Metaconglomerado SSBV	<0,01	3,8	<0,01	1,9	1,7	0,18	<0,01	<0,01	0,01	0,09
GX-282A	Metaconglomerado com seixo de Itabirito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira proxima ao garimpo de ouro SSBV	<0,01	5,4	<0,01	11,1	3,3	0,20	0,02	0,20	0,05	0,31
GX-282B	Metaconglomerado com seixo de Itabirito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira proxima ao garimpo de ouro SSBV	<0,01	5,8	0,06	8,3	3,2	0,17	0,02	0,27	0,05	0,35
GX-283E	Rejeito de Garimpo em SSBV;	<0,01	5,1	0,05	9,5	2,4	0,16	0,02	0,19	0,04	0,18
GX-283E 2	Rejeito de Garimpo em SSBV;	<0,01	1,7	<0,01	15,0	0,32	0,05	0,10	0,03	0,06	0,03
GX-304D	Qtzito com pirita e fuchsite; SSBV;	<0,01	2,6	0,01	3,2	0,67	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03
GX-357	Qtzito branco fino com clanita; Fm. Sopa Brumadinho	<0,01	0,57	<0,01	4,8	0,03	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,04

GX-364	Qtzito branco fino com clianita; Fm. Sopa Brumadinho	<0,01	1,6	0,02	2,6	0,29	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04
	Seixos de metachert em matriz ferruginosa, grada de microconglomerático a conglomerático; Fm. Sopa Brumadinho;	<0,01	1,7	<0,01	>15	<0,01	0,08	0,12	<0,01	0,09	0,03
GX-Z42	Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê	< 0,01	0,53	< 0,01	> 15	< 0,01	0,04	0,04	< 0,01	0,08	0,02
GX-Z-62	Fragmento de Itabirito; Fm. Chapada de Canga	0,02	2,3	<0,01	>15	<0,01	0,03	0,03	<0,01	0,11	0,04
GX-111	Itabirito Pobre minério tipo chapinha; Fm. Cauê	< 0,01	0,49	< 0,01	> 15	< 0,01	0,04	0,05	< 0,01	0,08	0,01
GX-112	Itabirito friável, com poucas porções quartzosas e mt idioblástica; minério tipo chapinha; Fm. Cauê	<0,01	3,5	< 0,01	4,7	0,11	0,10	0,04	0,01	0,02	0,04
GX-86	Minério tipo chapinha; Fm. Cauê	< 0,01	3,4	< 0,01	> 15	0,09	0,14	4,1	0,01	0,18	0,03
GX-Z39	Minério tipo chapinha, pulverulento, qzoso; Fm. Cauê	< 0,01	0,50	< 0,01	> 15	< 0,01	0,04	0,03	< 0,01	0,08	0,03
GX-208	Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê	< 0,01	0,49	< 0,01	> 15	< 0,01	0,04	0,04	< 0,01	0,09	0,03

Geoquímica de Elementos Traço

Amostras	Petrografia	S	Leço	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	La	Li	Mn	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	W	Y	Zn	Zr
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GHB-05-03	BlF arq Alpinópolis	140	<3	<10	723	<3	<20	<3	28	322	63	<20	<3	<3	94	<8	<10	<3	<20	4	17	<20	5	132	11
GX-085A	BlF arq Ni, magnético, bandado, sem granada;	<100	<3	<10	11	<3	<20	<3	12	166	22	21	<3	<3	55	48	<10	13	<20	14	102	<20	7	55	103
GX-085B	BlF arq Ni, magnético, bandado, granulítico;	310	<3	<10	126	<3	<20	6	<8	193	79	64	3	<3	50	39	<10	22	<20	32	162	<20	28	77	136
GX-085C	BlF arq Ni, magnético, bandado, granulítico;	270	<3	<10	43	<3	<20	<3	<8	121	50	34	3	<3	28	25	<10	<3	<20	10	106	<20	24	50	97
GX-174B	boxworks idiomórficas com cores de alteração do sulfoleito;	120	<3	<10	44	<3	<20	<3	9	106	22	<20	<3	<3	51	90	33	18	<20	<3	97	<20	4	45	37
GX-177A	BlF arq Ni, com porções caoliníticas, muito magnético;	150	<3	<10	236	<3	<20	4	10	242	56	92	6	<3	53	37	18	22	<20	74	114	<20	61	84	109
GX-177B	BlF arq Ni, com porções caoliníticas, muito magnético;	<100	<3	<10	72	<3	29	11	11	214	82	38	<3	<3	115	10	<10	20	<20	34	426	<20	18	115	76
GX-177C	BlF arq Ni, com porções caoliníticas, muito magnético;	<100	<3	<10	62	<3	<20	5	64	445	397	28	5	<3	124	23	<10	20	<20	17	380	<20	14	134	80
GX-206A	BlF arq Ni, carbonático, magnético;	<100	<3	<10	7	<3	33	8	<8	<3	47	<20	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	20	<20	6	93	18	
GX-216B	BlF arq Ni, cor verde escura, magnético, com porções brancas (caoliníticas);	<100	<3	<10	68	<3	25	<3	32	286	65	<20	17	<3	107	<8	<10	<3	<20	<3	217	<20	7	53	68
GX-216C	BlF arq Ni, bandado, cor verde escura, magnético, com porções brancas (caoliníticas);	<100	<3	<10	11	<3	20	<3	22	271	42	<20	13	<3	84	<8	<10	<3	<20	<3	174	<20	4	47	64
GX-216D	veio de quartzo de coloração alaranjada em BlF arq Ni;	<100	<3	<10	9	<3	<20	<3	<8	23	12	<20	<3	<3	9	<8	<10	<3	<20	<3	<8	<20	<3	<3	4
GX-216E	Outro veio (Garimpo de Tonazinho)	<100	<3	<10	8	<3	<20	<3	<8	16	9	<20	<3	<3	6	9	<10	<3	<20	6	<8	<20	<3	<3	7
GX-215A	Oxiteto ferruginoso pobre em Fe, magnético, fino, sácaroídal; Formação Cercadinho	<100	<3	<10	<3	<3	<20	<3	<8	106	35	<20	<3	<3	39	13	<10	<3	<20	<3	63	<20	8	51	86
GX-2-05	Canga porosa, seixos pequenos de hematita compacta, matriz quartzosa, fina; Fm. Chapada de Canja;	210	<3	<10	12	<3	41	12	<8	25	65	<20	<3	<3	4	<8	<10	<3	<20	<3	33	<20	4	101	31
GX-2-31C	Canga com seixos de fábito duro, limonítico; Em. Chapada de Canja;	180	<3	<10	26	<3	43	13	<8	28	47	<20	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	39	<20	5	107	43	
GX-2-47	Canga porosa, sem magnetita, com fragmentos de fábito dolomítico; Fm. Chapada de Canja;	210	<3	<10	5	<3	47	14	<8	79	73	<20	<3	<3	4	<8	<10	<3	<20	<3	110	<20	8	113	63
GX-2-49B	Canga porosa, quartosa, com fragmentos de fábito pobre; Fm. Chapada de Canja;	120	<3	<10	3	<3	38	14	<8	52	51	<20	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	81	<20	4	111	56	
GX-2-49	Canga com fragmentos de minério chapinhais; Fm. Chapada de Canja;	150	<3	<10	4	<3	47	15	<8	18	55	<20	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	45	<20	6	117	62	
GX-2-78	fragmento de canga	110	<3	<10	96	<3	41	11	<8	17	53	<20	<3	<3	4	<8	<10	<3	<20	<3	54	<20	4	104	41
GX-2-41	Canga com fragmentos de minério chapinhais; Fm. Chapada de Canja;	220	<3	<10	65	<3	<20	<3	14	17	173	<20	<3	<3	35	17	<10	<3	<20	<3	46	<20	11	135	74
GX-2-47	Canga com fragmentos de minério chapinhais; Fm. Chapada de Canja;	<100	<3	<10	14	<3	43	4	<8	19	49	<20	<3	<3	9	<10	<3	<20	<3	58	<20	10	110	52	
GX-2-90	Canga com fragmentos de minério chapinhais; Fm. Chapada de Canja;	180	<3	<10	38	<3	48	8	<8	20	59	<20	<3	<3	4	<8	<10	<3	<20	<3	32	<20	4	106	28
GX-162	Canga com fragmentos de minério chapinhais; Fm. Chapada de Canja;	260	<3	<10	23	<3	46	19	<8	74	51	<20	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	87	<20	4	105	81	

GX-110	Habitito dolomítico, manganesífero; Fm. Caué	260	<3	<10	14	<3	48	6	22	14	47	<20	<3	4	<8	<10	<3	<20	<3	20	<20	<3	<20	<3	20	<20	<3	<20	<3	41
GX-215B	quartzo/manganesífero; Fm. Cercadinho	<100	<3	<10	8467	3,7	<20	<3	1096	49	1471	<20	850	142	2815	40	17	<3	<20	93	75	<20	41	525	41					
GX-105	Oxíto verde microconglomerático, com mt e cores de alteração de sulfetos; SSBV	<100	<3	<10	1076	<3	<20	<3	17	185	25	68	7	<3	22	49	25	<3	<20	34	81	<20	6	39	175					
GX-116A2	Oxíto verde, microconglomerático; SSBV	<100	<3	<10	1537	<3	<20	<3	27	65	34	60	17	<3	45	29	23	<3	<20	32	76	<20	6	37	72					
GX-265A	Metaconglomerado SSBV	<100	<3	<10	315	<3	<20	<3	<8	27	20	25	10	<3	15	18	<10	<3	<20	8	28	<20	4	7	71					
GX-265B	Metaconglomerado SSBV	<100	<3	<10	415	<3	<20	<3	<8	29	8	30	10	<3	10	19	22	<3	<20	10	27	<20	4	10	63					
GX-282A	Oxíto verde microconglomerático, com Seixo de Habitito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira próxima ao garimpo de ouro SSBV	<100	<3	<10	1000	<3	<20	<3	15	224	29	55	6	<3	30	56	<10	<3	<20	108	133	<20	6	39	84					
GX-282B	Metaconglomerado com Seixo de Habitito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira próxima ao garimpo de ouro SSBV	<100	<3	<10	1466	<3	<20	<3	15	99	37	81	5	<3	33	61	<10	<3	<20	133	124	<20	13	45	86					
GX-283E	Rejeito de Garimpo em SSBV;	<100	<3	<10	1273	<3	<20	<3	10	67	30	56	4	3	27	43	37	9	<20	99	90	<20	8	50	46					
GX-283E 2	Rejeito de Garimpo em SSBV;	<100	<3	<10	360	<3	<3	<3	49	53	156	<20	5	<3	45	<8	<10	<3	<20	17	115	<20	5	84	23					
GX-304D	Oxíto com pirita e fuchsite; SSBV;	110	<3	<10	39	<3	<20	<3	<8	232	20	<20	<3	<3	5	17	13	<3	<20	31	<8	<20	7	18	227					
GX-357	Oxíto branco fino com clínata; Fm. Sopa Brumadinho	<100	<3	<10	14	<3	<20	<3	<8	36	14	<20	3	<3	12	<8	<10	<3	<20	3	34	<20	<3	14	70					
GX-364	Oxíto branco fino com clínata; Fm. Sopa Brumadinho	<100	<3	<10	142	<3	<20	<3	<8	20	14	28	7	<3	10	21	12	<3	<20	15	17	<20	<3	9	109					
GX-453C	Seixos de metachert em matriz feruginosa, grada de microconglomerático a conglomerático; Fm. Sopa	<100	<3	<10	22	<3	36	7	<8	27	34	<20	<3	<3	6	<8	<10	<3	<20	<3	23	<20	7	95	43					
Ressanadas...																														
GX-242	Minério de ferro tipo Chapinha; Fm. Caué	<100	<3	<10	7	<3	95	13	<8	7	49	<20	<3	<3	<2	<8	<10	<3	<20	<3	22	<20	4	120	27					
GX-111	Habitito Pobre mineral tipo Chapinha; Fm. Caué	<100	<3	<10	18	<3	46	10	<8	7	43	<20	<3	<3	<3	<10	<10	<3	<20	<3	29	<20	3	113	22					
GX-112	Habitito frátil, com poucas porções quartzosas e mt idiossálicas; minério tipo Chapinha; Fm. Caué	100	<3	<10	88	<3	<20	<3	<8	28	44	<20	<3	<3	15	10	<10	<3	<20	6	49	<20	4	24	44					
GX-46	Minério tipo Chapinha; Fm. Caué	<100	<3	<10	272	<3	<20	6	<8	19	62	<20	<3	<3	11	24	<10	<3	<20	63	38	<20	4	74	34					
GX-239	Minério tipo Chapinha, pulvulento, G2020; Fm. Caué	<100	<3	<10	6	<3	37	<3	<8	16	48	<20	<3	<3	8	<8	<10	<3	<20	<3	24	<20	1	109	23					
GX-208	Minério de ferro tipo Chapinha; Fm. Caué	<100	<3	<10	7	<3	47	6	<8	10	40	<20	<3	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	33	<20	6	126	25					
GX-242	Fragmento de Habitito; Fm. Chapada de Canga;	250	<3	<10	9	<3	45	14	<8	12	50	<20	<3	<3	<3	<8	<10	<3	<20	<3	34	<20	4	115	34					
Clarke		0,07	1,7	650	3,8	0,009	0,13	16	83	47	32	1,1	58	16	1	10	2,5	340	90	1	29	83	170							

Geoquímica de Metais Nobres

Amostra	Petrografia	Au	Pt	Pd
		ppb	ppb	ppb
GHB-05-03	BIF arq Alpinópolis	15	<5	23
GX-085A	BIF arq NL, magnetítico, sem granada;	11	<5	24
GX-085B	BIF arq NL, magnetítico, granatífero	<5	7	15
GX-085C	BIF arq NL, magnetítico, granatífero	<5	<5	33
GX-174B	BIF arq NL, magnetítico, com boxworks idiomórficos com cores de alteração de sulfetos;	5	6	18
GX-177A	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	6	<5	12
GX-177B	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	<5	8	31
GX-177C	BIF arq NL, com porções caoliníticas, muito magnetítico;	34	40	36
GX-206A	BIF arq NL, carbonático, magnetítico;	12	<5	33
GX-216B	BIF arq NL, cor verde escura, magnetítico, com porções brancas (caoliníticas);	16	8	30
GX-216C	BIF arq NL, bandado, cor verde escura, magnetítico, com porções brancas (caoliníticas);	<5	17	29
GX-216D	veio de quartzo de coloração alaranjada em BIF arq NL	<5	6	15
GX-368	Qtzo de veio (Garimpo de Topazio)	8	<5	17
GX-215A	Qtzito ferruginoso pobre em Fe, magnetítico, fino, sacaroidal; Formação Cercadinho	8	<5	30
GX-Z-05	Canga porosa, seixos pequenos de hematita compacta, matriz quartzosa, fina; Fm. Chapada de Canga;	16	<5	23
GX-Z-31C	Canga com seixos de itabirito duro, limonítica; Fm. Chapada de Canga;	<5	<5	15
GX-Z-47	Canga porosa, magnetítica, com fragmentos de itabirito dolomítico; Fm. Chapada de Canga;	18	<5	24
GX-Z-59B	Canga porosa, sem magnetita, com fragmentos de itabirito pobre; Fm. Chapada de Canga;	14	<5	22
GX-Z-69	Canga porosa, quartzosa, com fragmentos de itabirito pobre, dolomítico, com magnetita; Fm. Chapada de Canga	5	<5	12
GX-Z-78	fragmento de canga limonítica com mt;	<5	<5	14
GX-Z-81	fragmento de canga	<5	<5	19
GX-Z-87	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	<5	<5	26

GX-Z-90	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	28	<5	22
GX-162	Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;	<5	<5	10
GX-110	Itabirito dolomítico, manganesífero; Fm. Cauê	<5	<5	10
GX-215B	quartzito managanésífero, ; Fm. Cercadinho	6	<5	28
GX-105	Qtzito verde, microconglomerático, com mt e cores de alteração de sulfetos; SSBV	<5	9	31
GX-116A2	Qtzito verde, microconglomerático; SSBV	15	<5	23
GX-265A	Metaconglomerado SSBV	6	<5	19
GX-265B	Metaconglomerado SSBV	<5	<5	17
GX-282A	Metaconglomerado com seixo de Itabirito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira proxima ao garimpo de ouro SSBV	<5	<5	28
GX-282B	Metaconglomerado com seixo de Itabirito pobre, estirado, em matriz quartzítica de cor vermelha; Cachoeira proxima ao garimpo de ouro SSBV	77	5	19
GX-283E	Rejeito de Garimpo em SSBV;	<5	<5	25
GX-283E 2	Rejeito de Garimpo em SSBV;	11	<5	34
GX-304D	Qtzito com pirita e fuchsita; SSBV;	47	<5	30
GX-357	Qtzito branco fino com cianita; Fm. Sopa Brumadinho	<5	<5	15
GX-364	Qtzito branco fino com cianita; Fm. Sopa Brumadinho	<5	5	16
GX-453C	Seixos de metachert em matriz ferruginosa, grada de microconglomerático a conglomerático; Fm. Sopa Brumadinho;	47	<5	12
GX- Z42	Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê	<5	<5	10
GX-Z-62	fragmento de Itabirito (não possui mais especificações petrográficas) Fm. Chapada de Canga	<5	<5	19
GX-111	Itabirito Pobre minério tipo chapinha; Fm. Cauê	<5	<5	6
GX-112	Itabirito friável, com poucas porções quartzosas e mt idioblástica; minério tipo chapinha; Fm. Cauê	<5	<5	12
GX-86	Minério tipo chapinha; Fm. Cauê	<5	8	10
GX- Z39	Minério tipo chapinha, pulverulento, qzoso; Fm. Cauê	<5	<5	10
GX-208	Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê	<5	<5	8

Anexo 9: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Elementos
Maiores

Gráfico 9-1 BIF Arqueanos

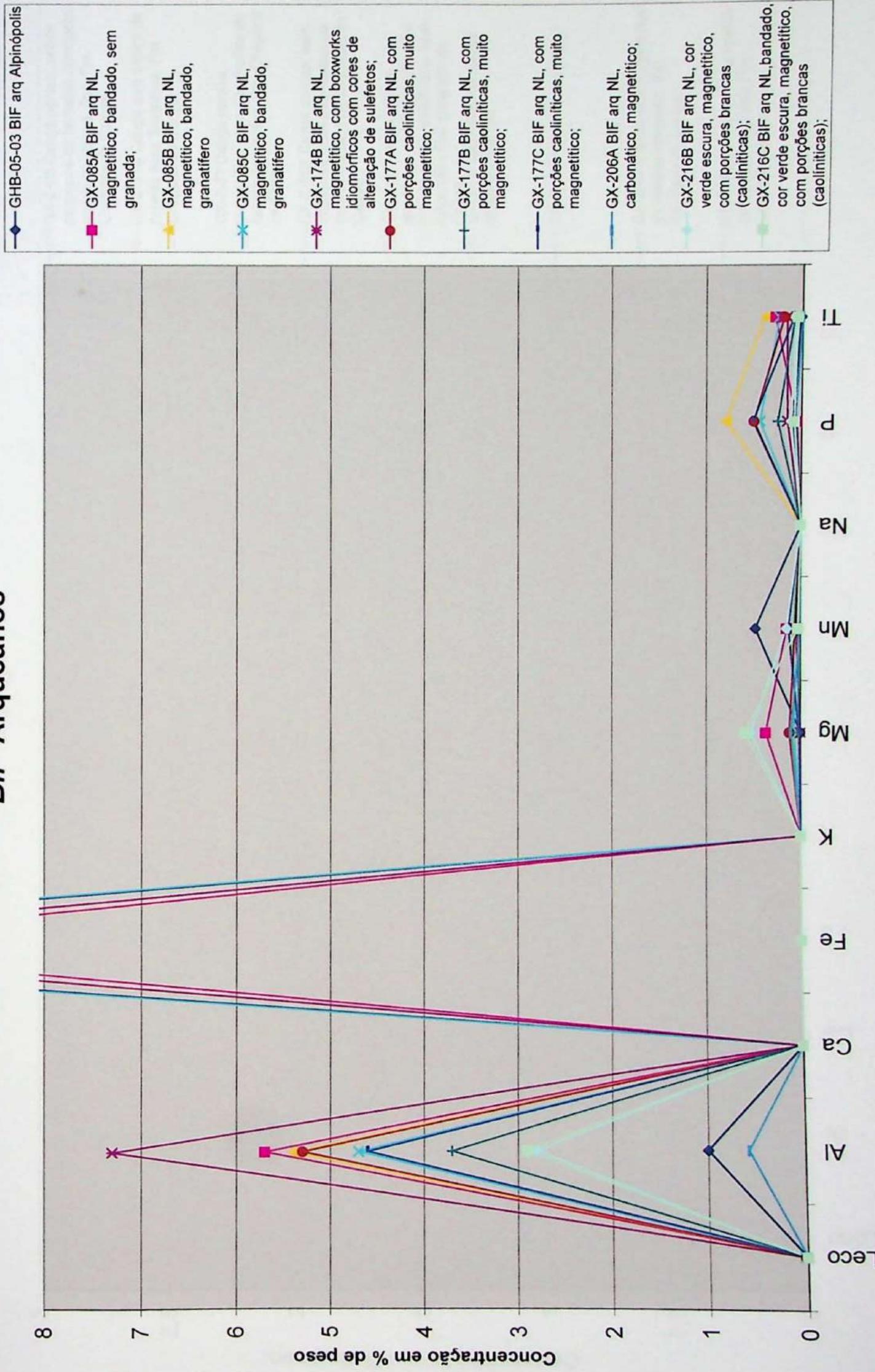


Gráfico 9-2 Canga

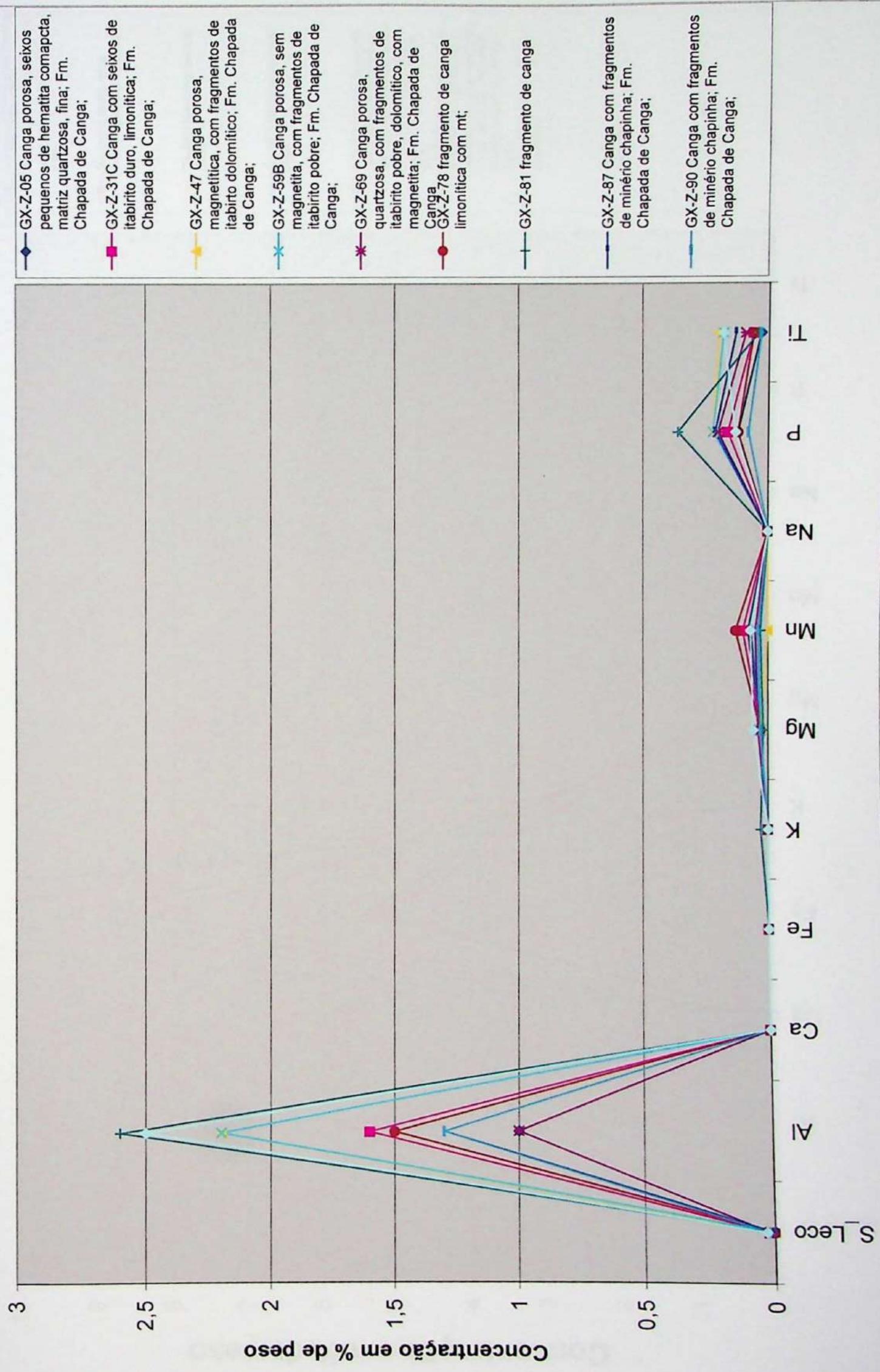


Gráfico 9-3

Seqüência da Serra da Boa Vista

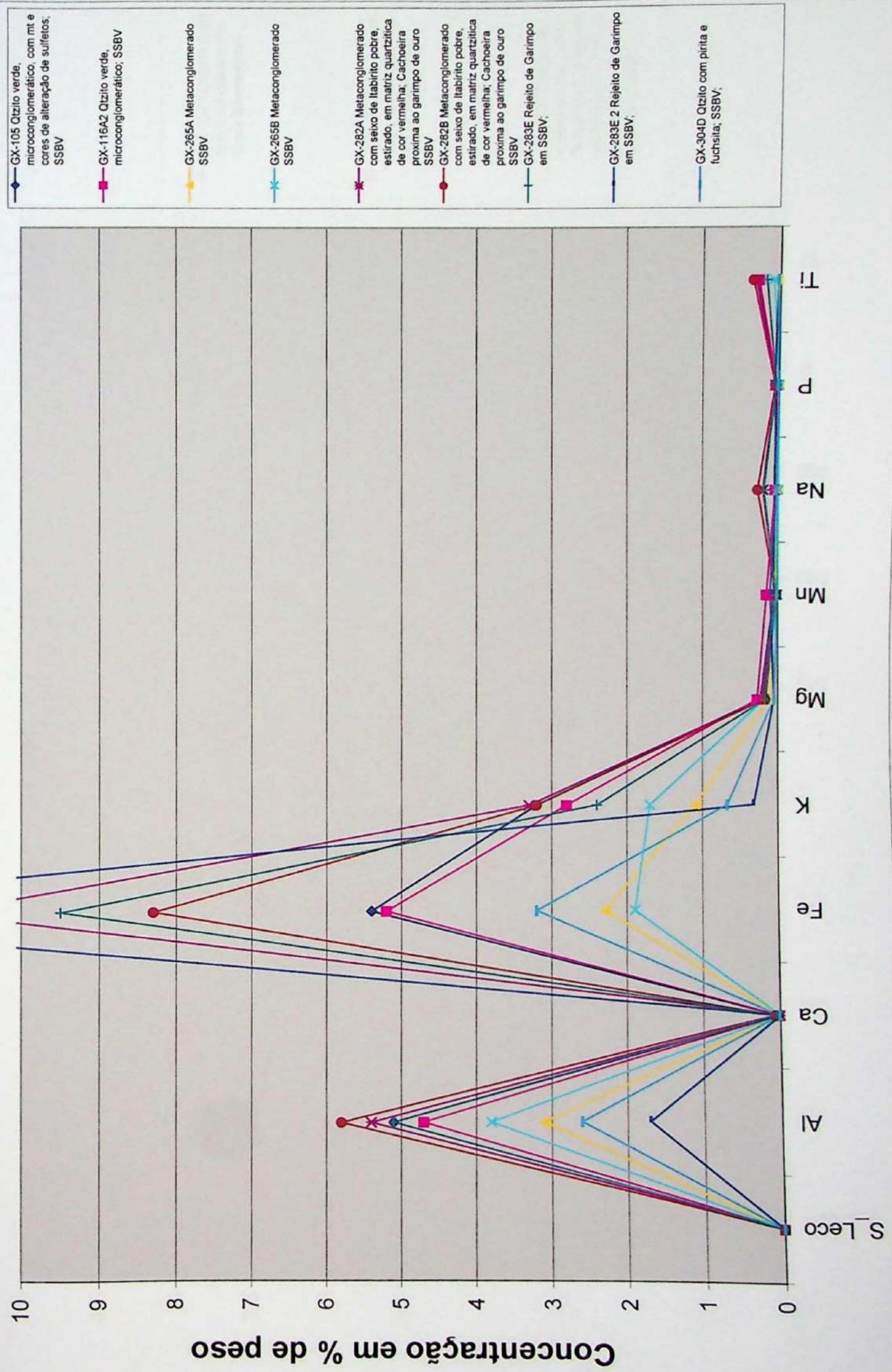


Gráfico 9-4

Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomi

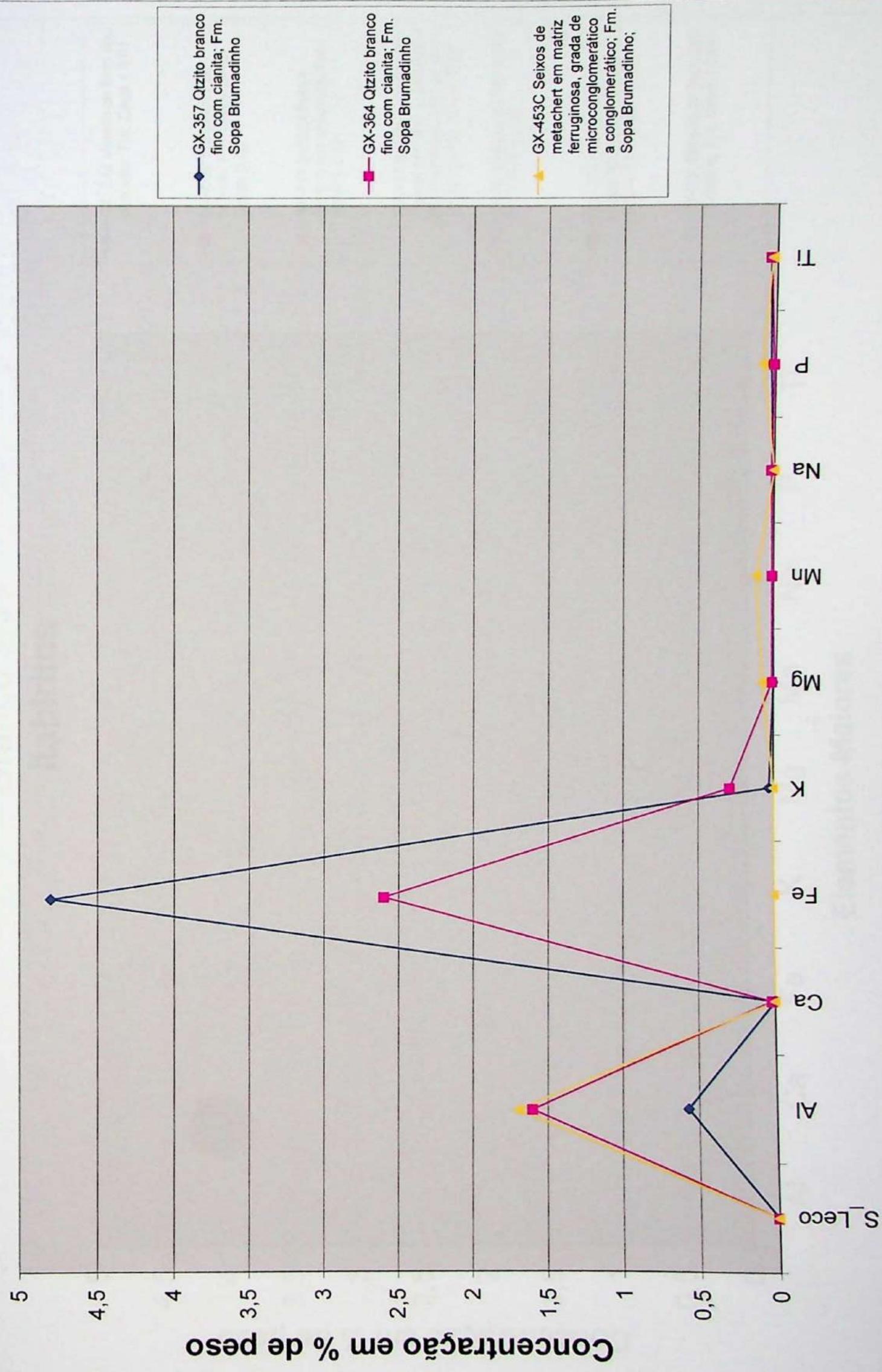
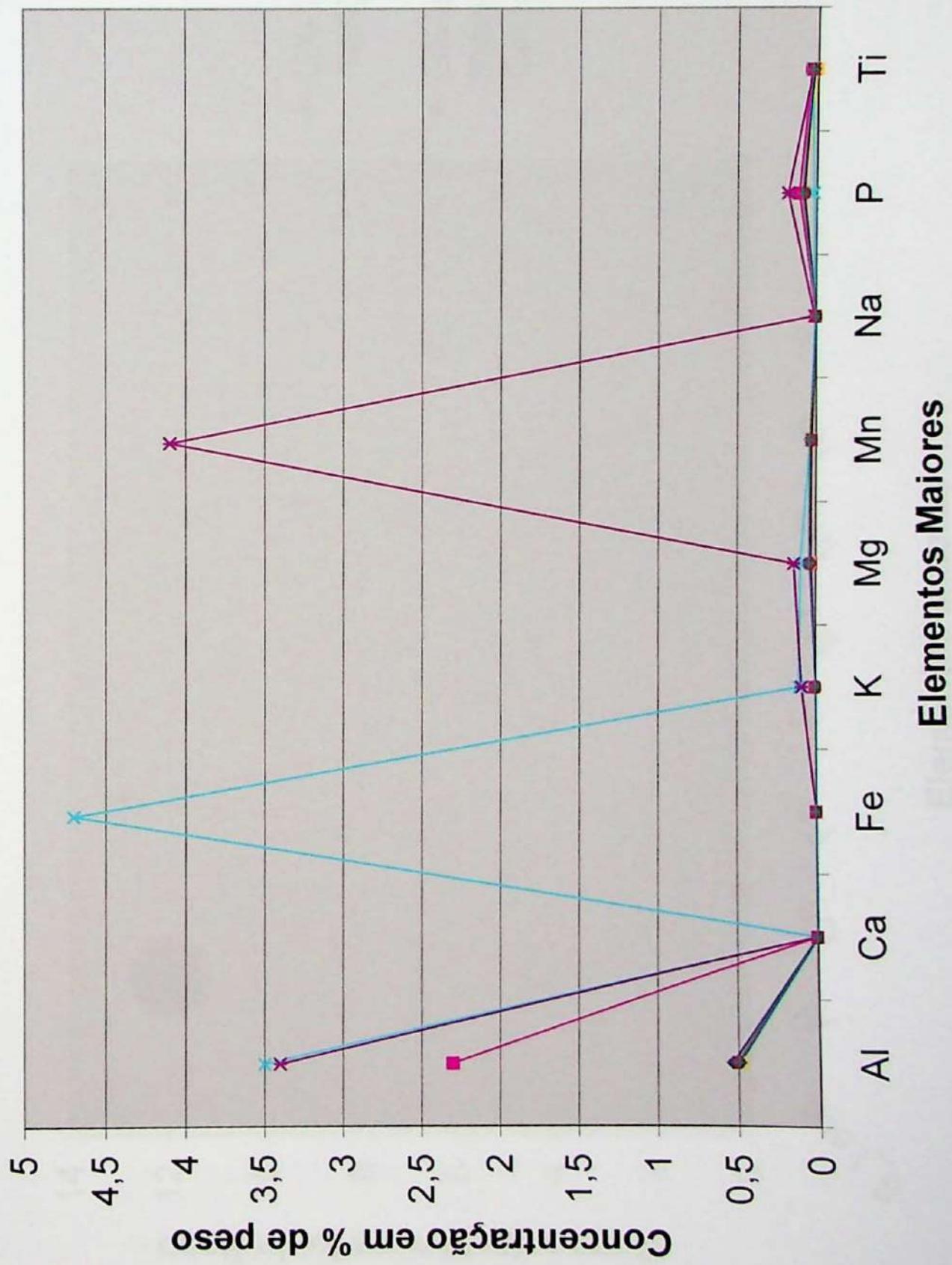


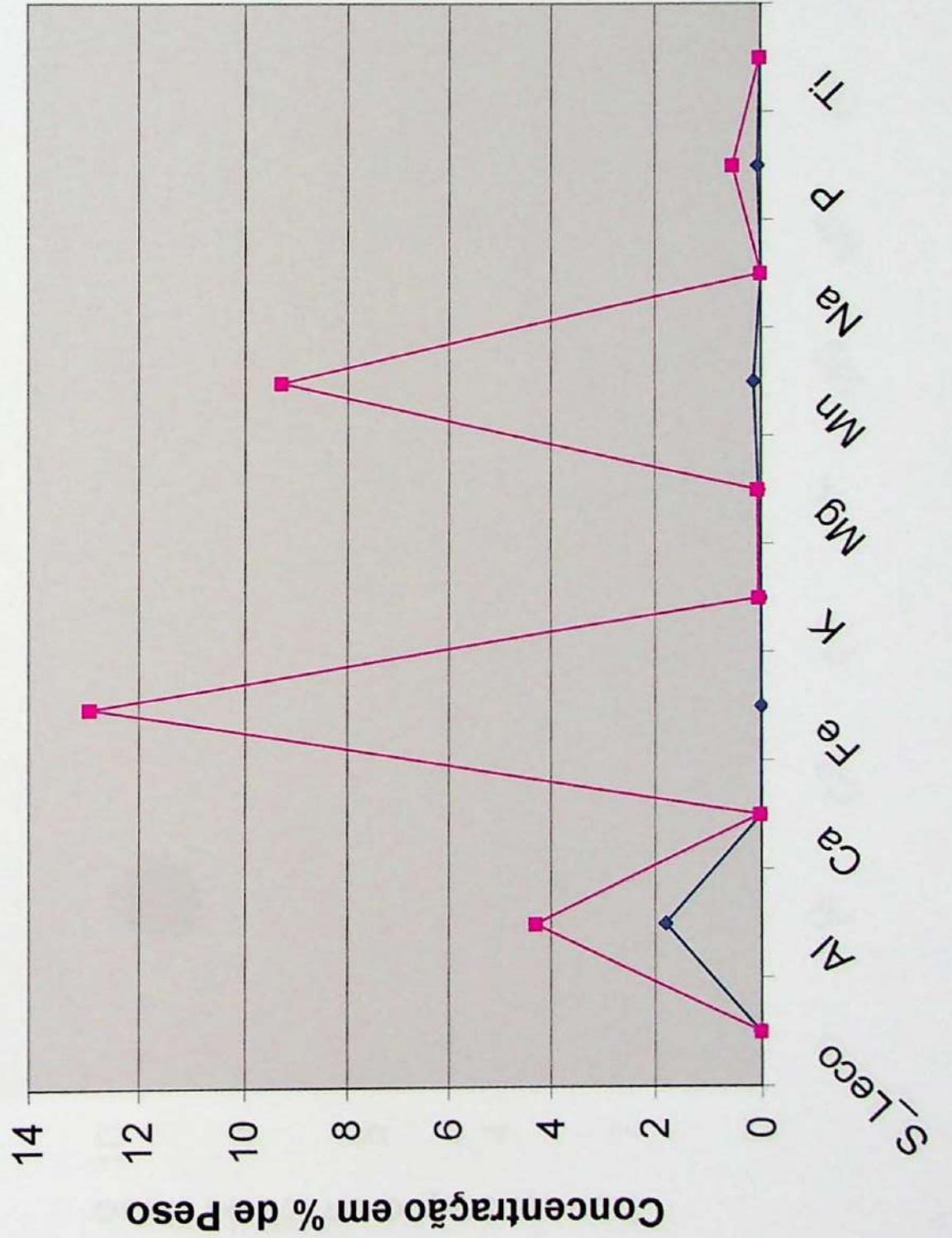
Gráfico 9-5 Itabiritos



● GX-Z-42 Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê < 0,01
 ■ GX-Z-62 Fragmento de Itabirito; Fm. Chapada de Canga 0,02
 ▲ GX-111 Itabirito Pobre minério tipo chapinha; Fm. Cauê < 0,01
 ✕ GX-112 Itabirito friável, com poucas porções quartzosas e mt idioblástica; minério tipo chapinha; Fm. Cauê < 0,01
 * GX-86 Minério tipo chapinha; Fm. Cauê < 0,01
 ● GX-Z39 Minério tipo chapinha, pulverulento, qzoso; Fm. Cauê < 0,01
 + GX-208 Minério de ferro tipo chapinha; Fm. Cauê < 0,01

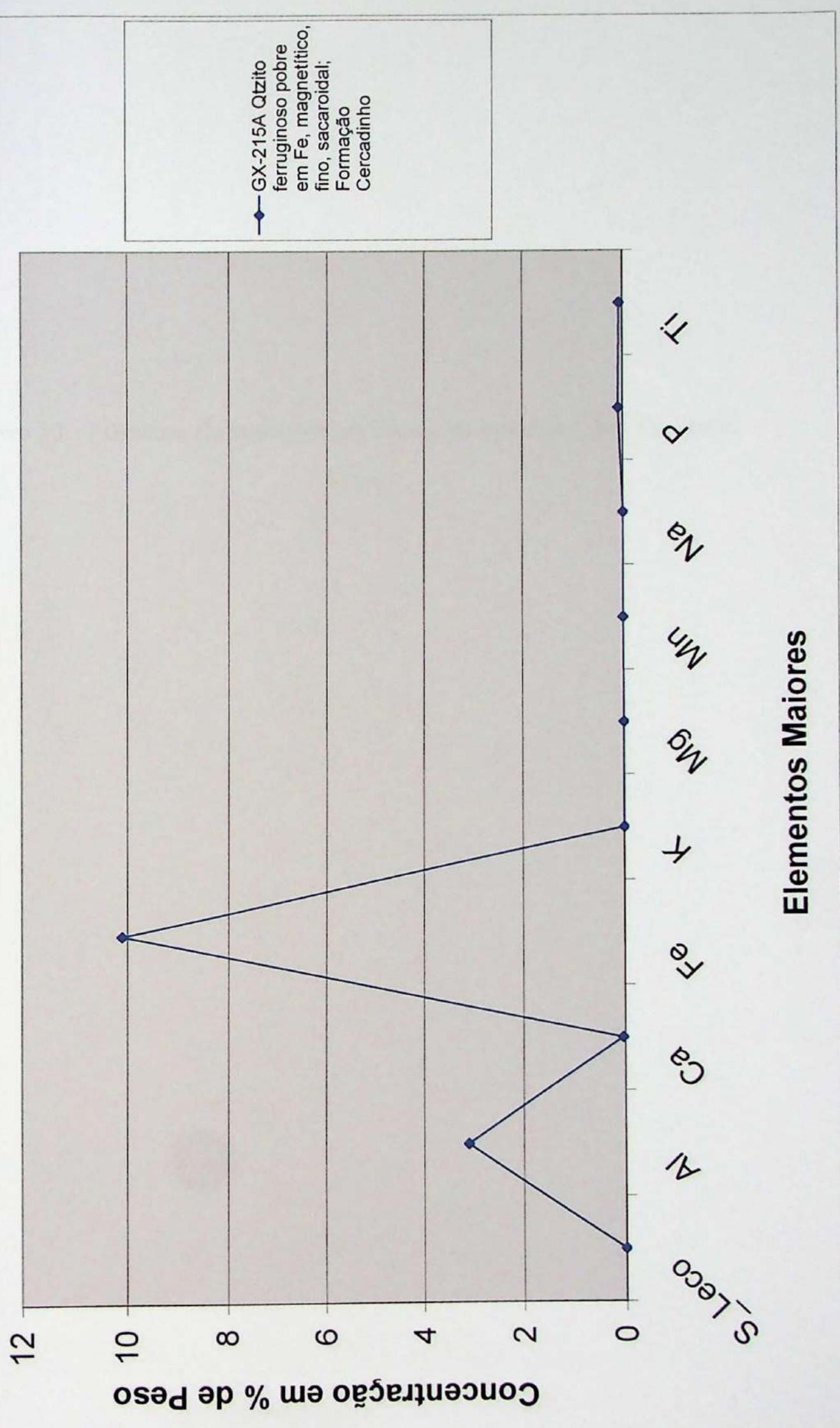
Gráfico 9-6

Quartzitos Manganesíferos



Elementos Maiores

Gráfico 9-7 Quartzito Hematítico



Anexo 10: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Elementos
Traço

Gráfico 10-1
BIF Arqueanos

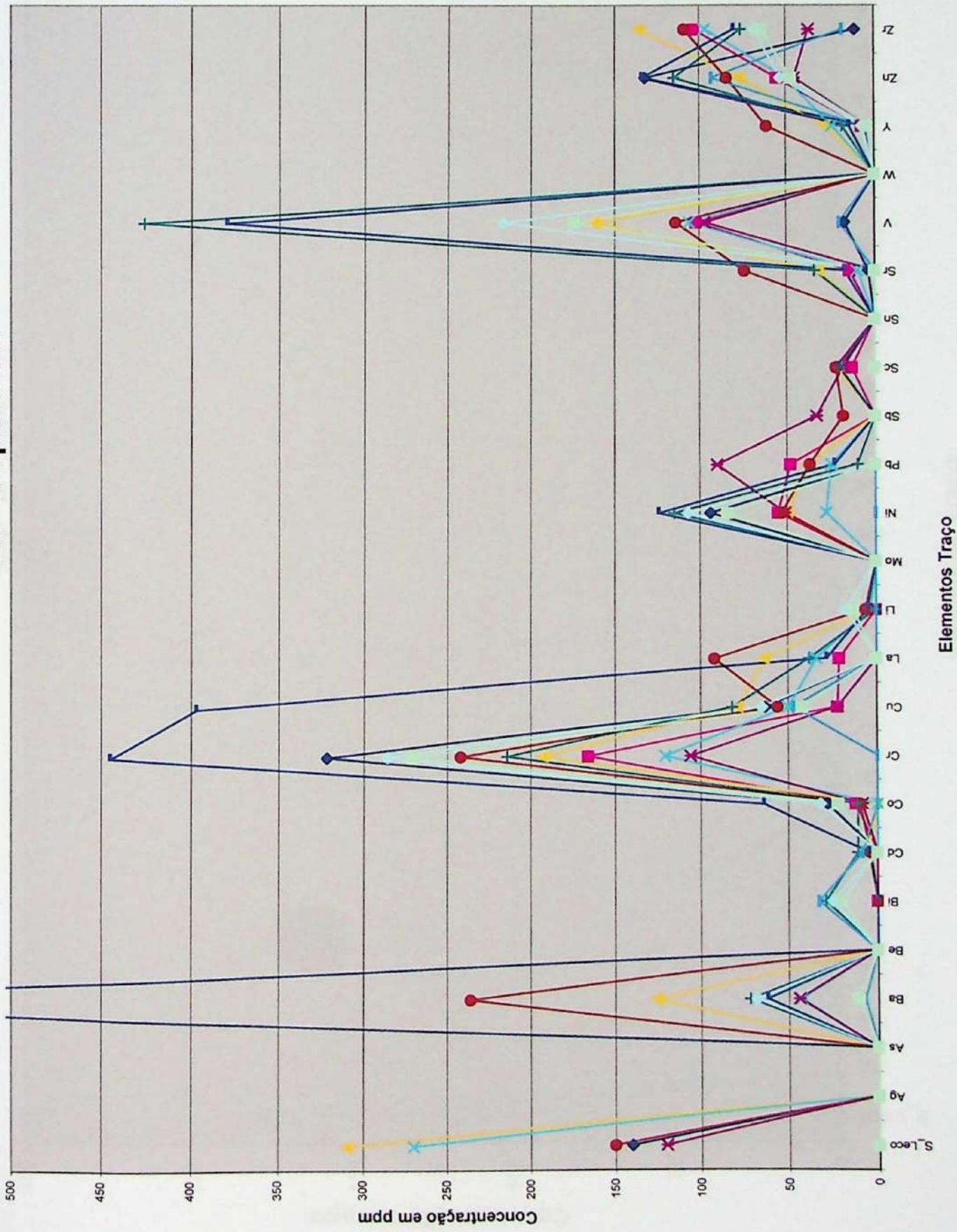


Gráfico 10-2
Canga

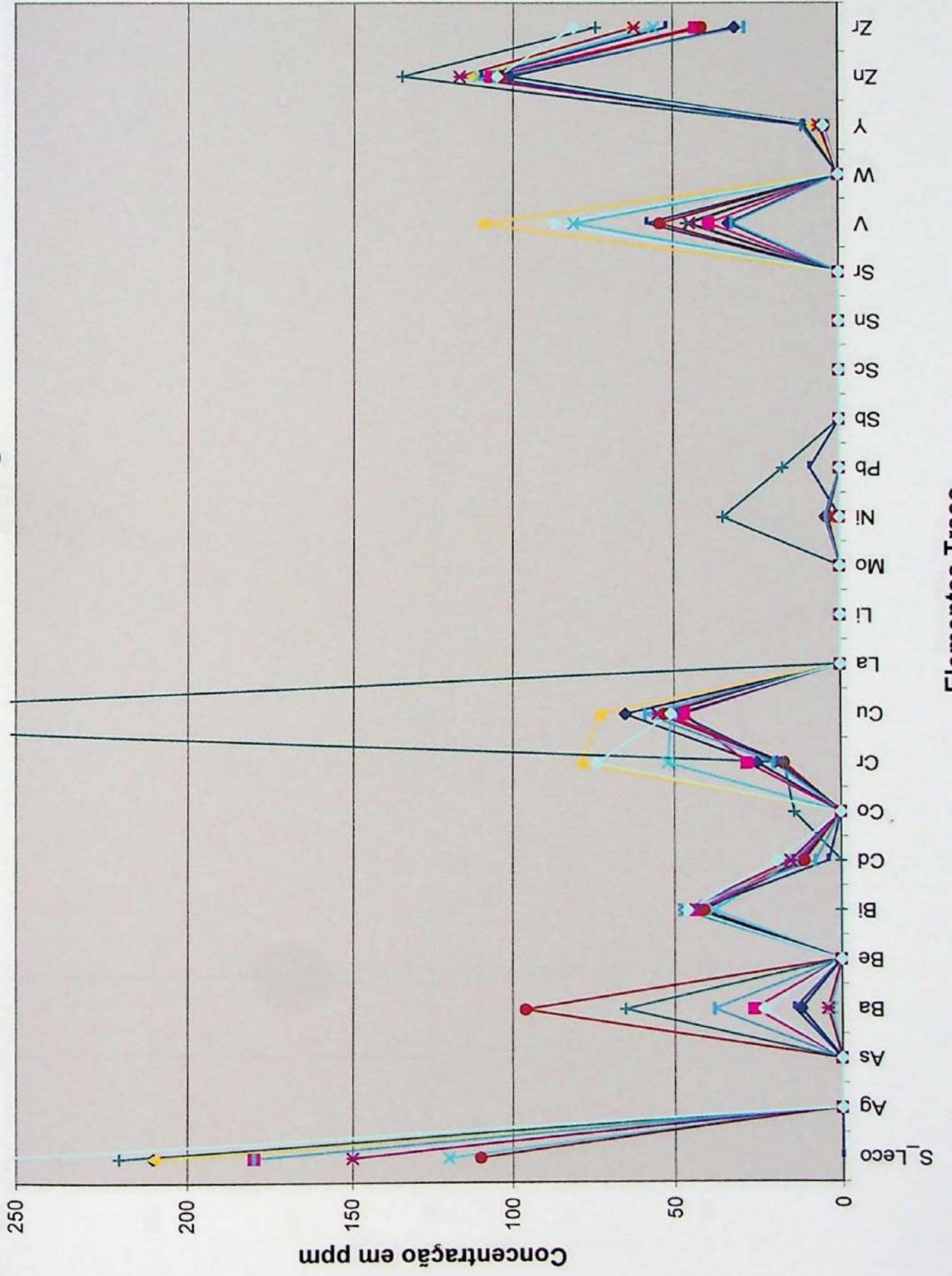


Gráfico 10-3
Seqüência da Serra da Boa Vista

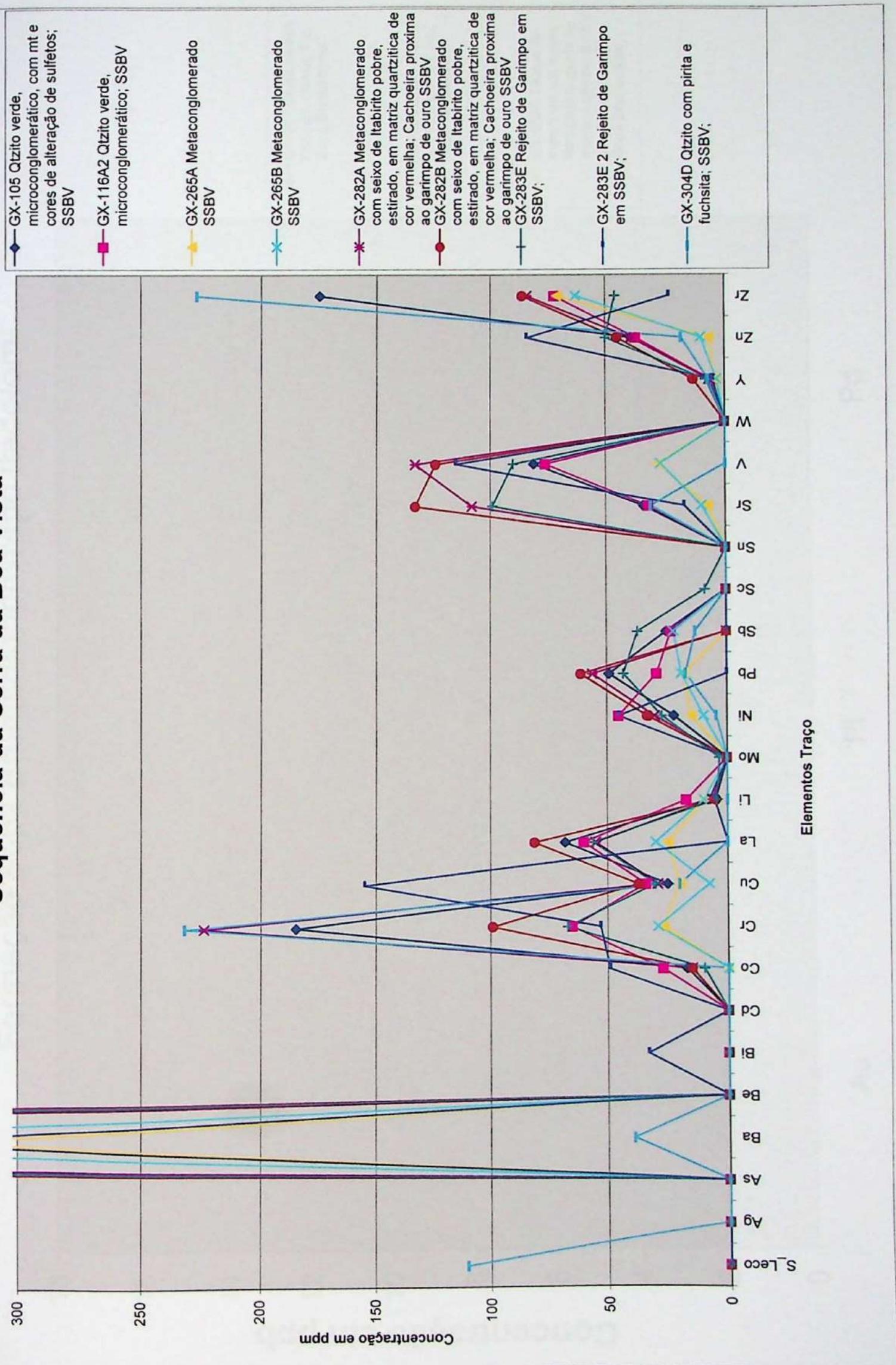


Gráfico 10-4

Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomi

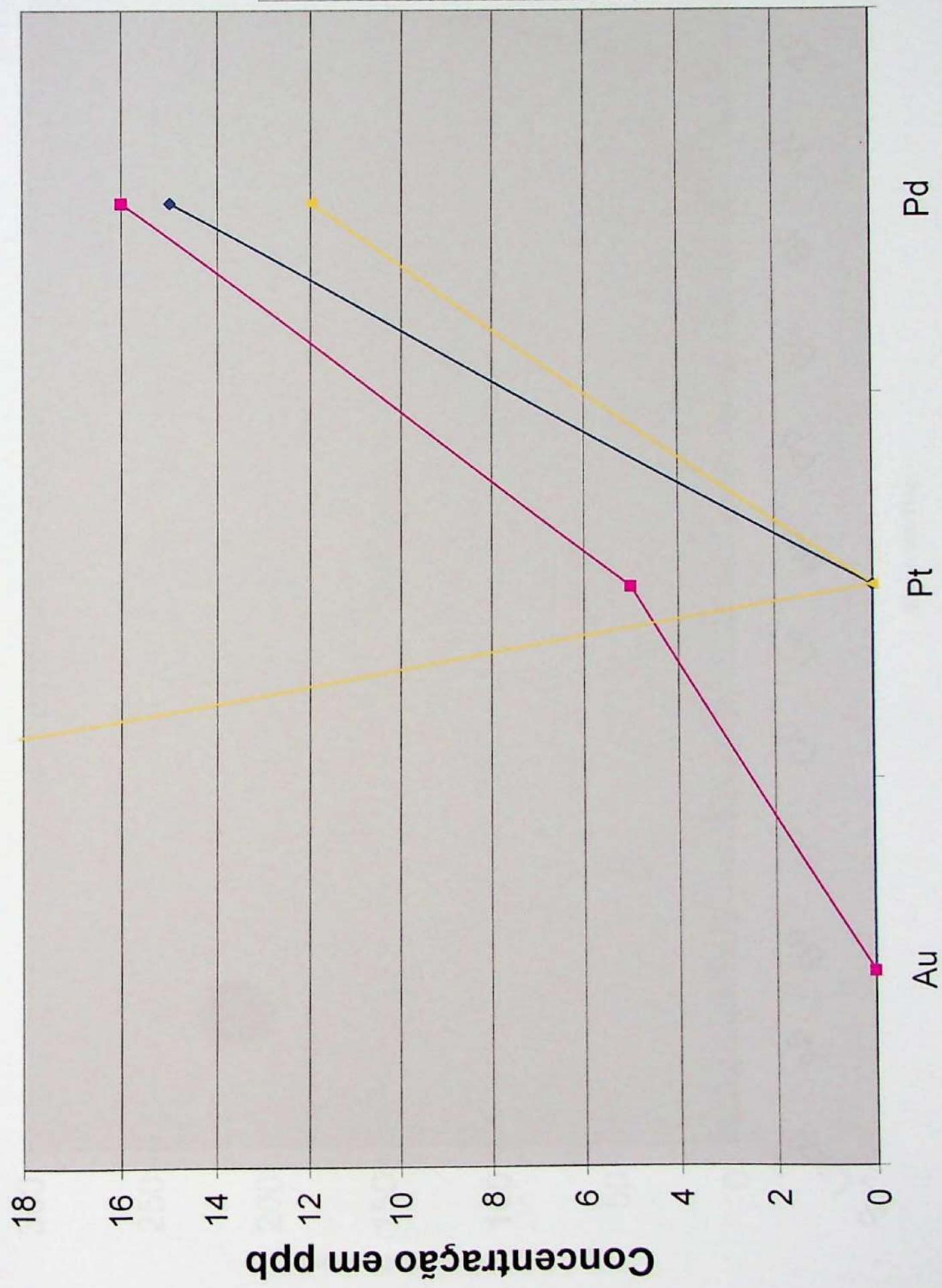


Gráfico 10-5 Itabiritos

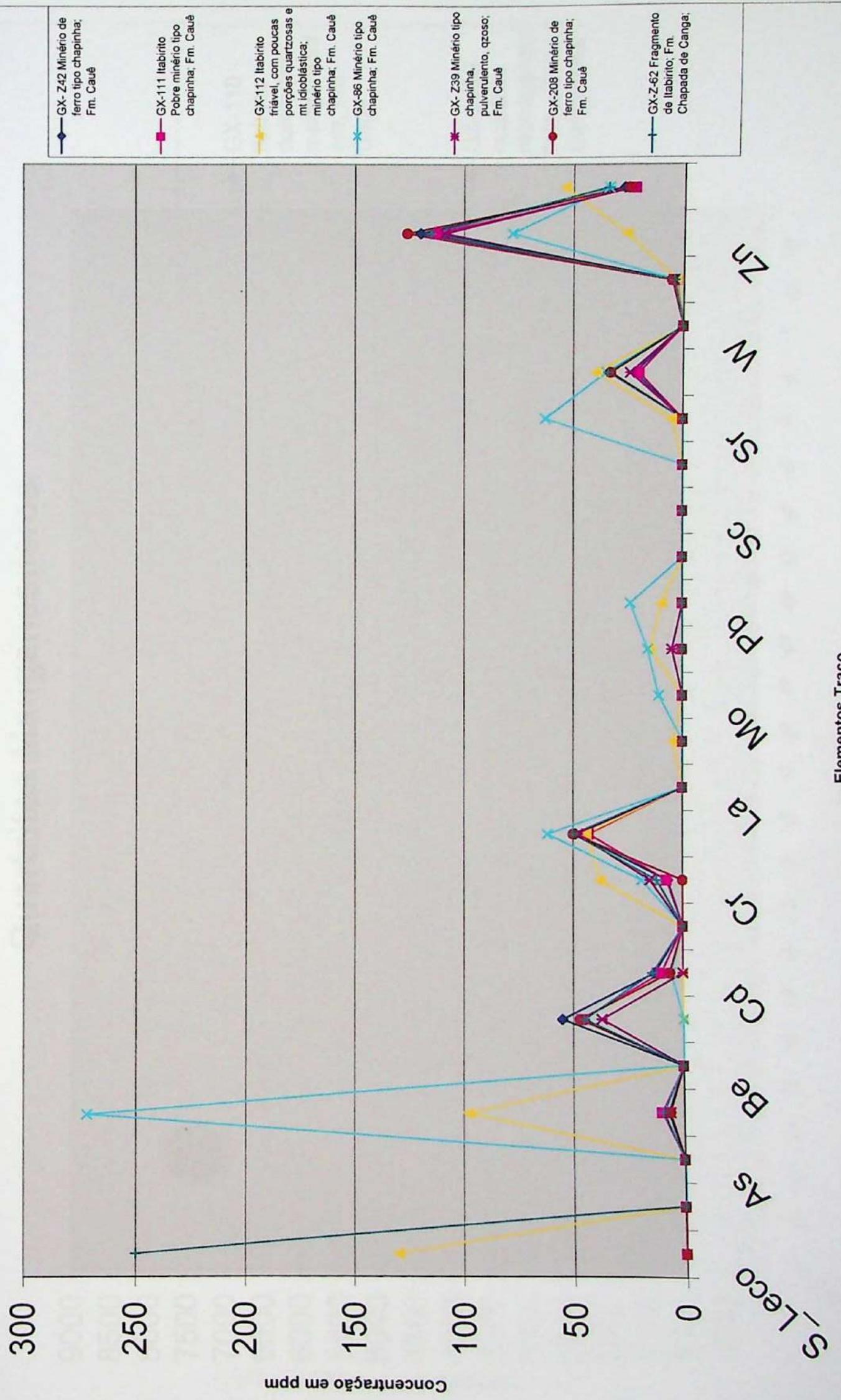


Gráfico 10-6 Quartzitos Manganesíferos

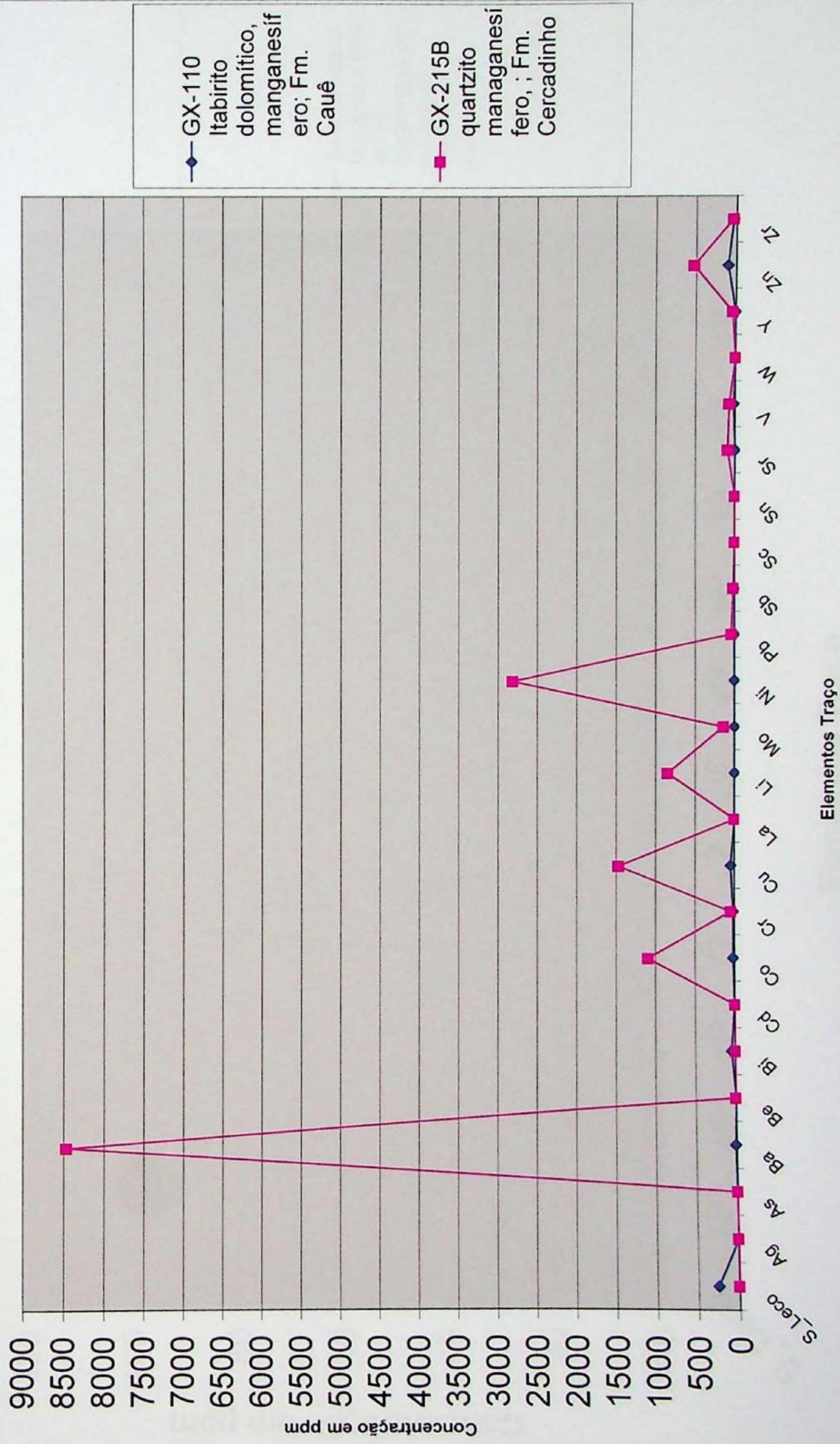
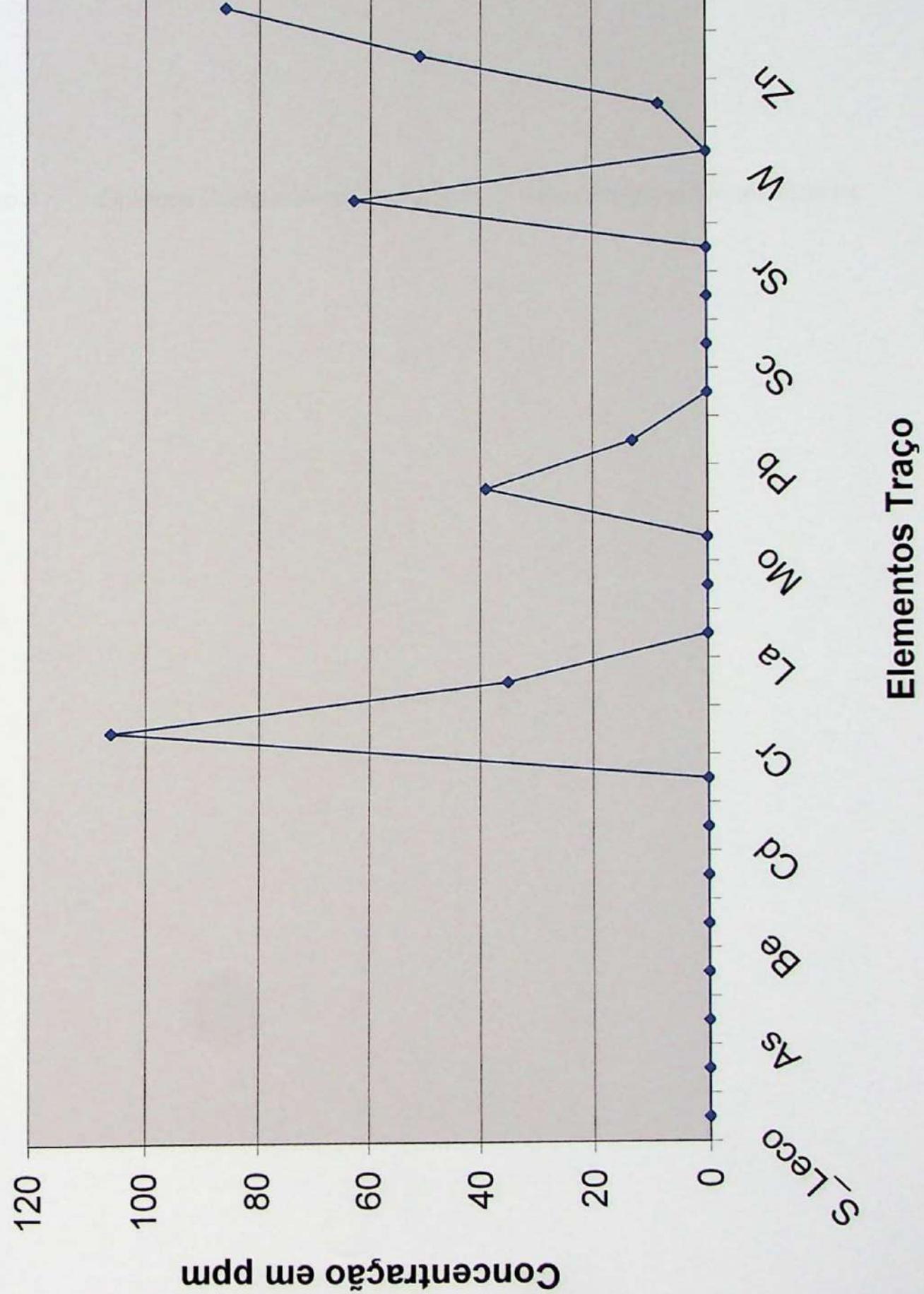


Gráfico 10-7 Quartzito Hematítico



Anexo 11: Gráficos Comparativos por Grupos de Amostras para Metais Nobres

Gráfico 11-1

BIF Arqueanos

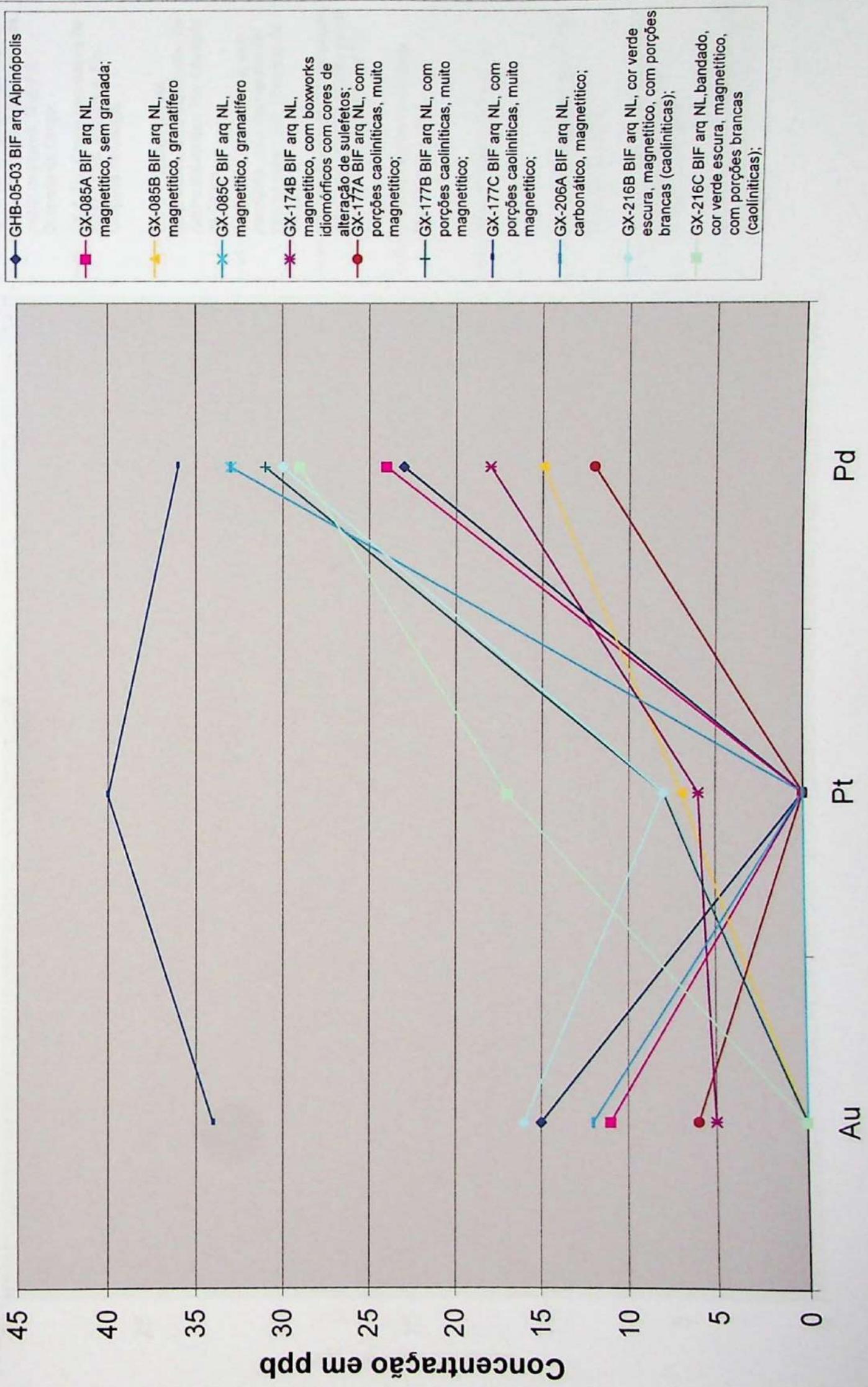
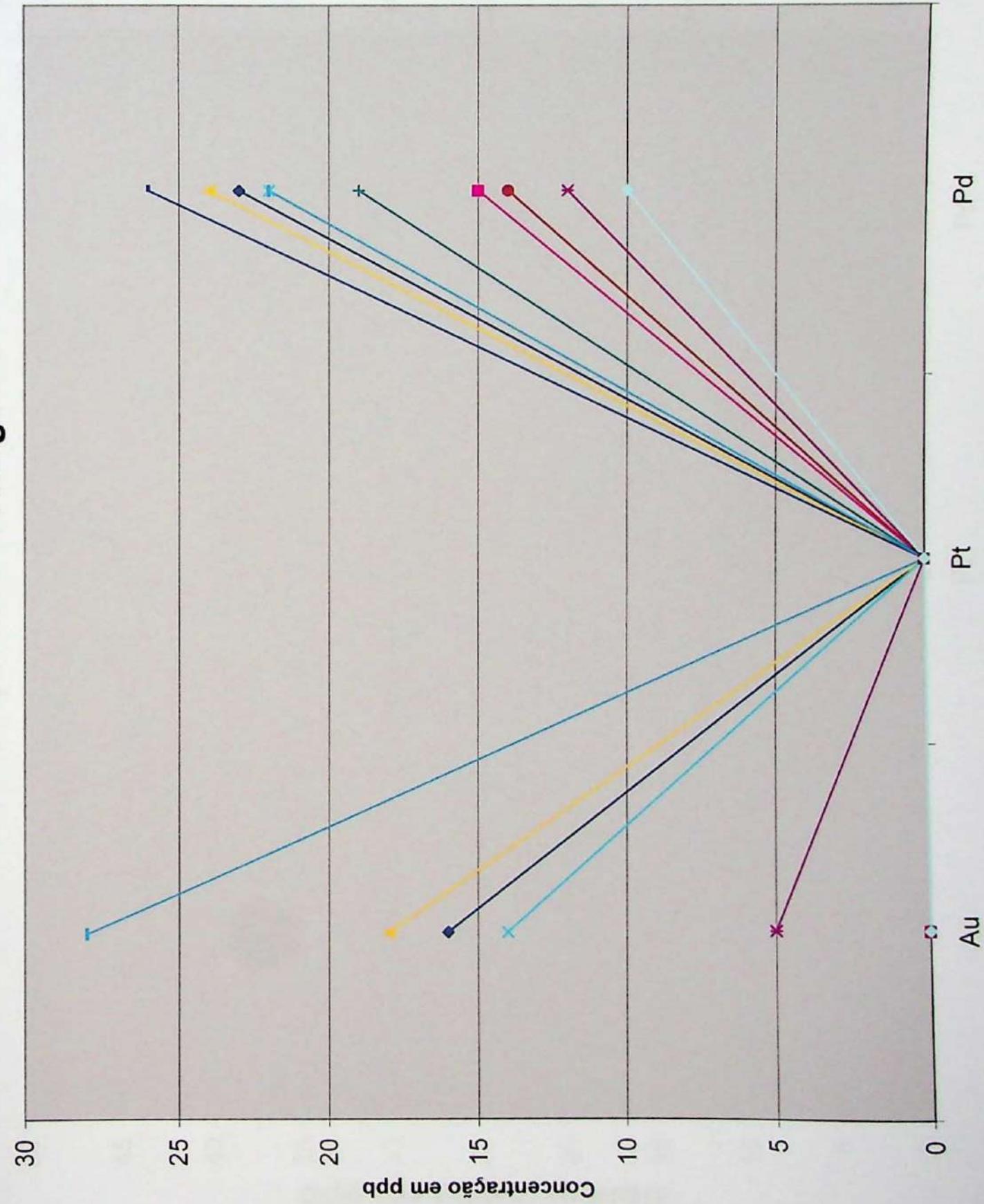


Gráfico 11-2 Canga



- GX-Z-05 Canga porosa, seixos pequenos de hematita compacta, matriz quartzosa, fina; Fm. Chapada de Canga;
- GX-Z-31C Canga com seixos de itabirito duro, limonítica; Fm. Chapada de Canga;
- GX-Z-47 Canga porosa, magnetítica, com fragmentos de itabirito dolomítico; Fm. Chapada de Canga;
- GX-Z-59B Canga porosa, sem magnetita, com fragmentos de itabirito pobre; Fm. Chapada de Canga;
- GX-Z-69 Canga porosa, quartzosa, com fragmentos de itabirito pobre, dolomítico, com magnetita; Fm. Chapada de Canga
- GX-Z-78 fragmento de canga limonítica com mt;
- GX-Z-81 fragmento de canga
- GX-Z-87 Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;
- GX-Z-90 Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;
- GX-162 Canga com fragmentos de minério chapinha; Fm. Chapada de Canga;

Gráfico 11-3

Seqüência da Serra da Boa Vista

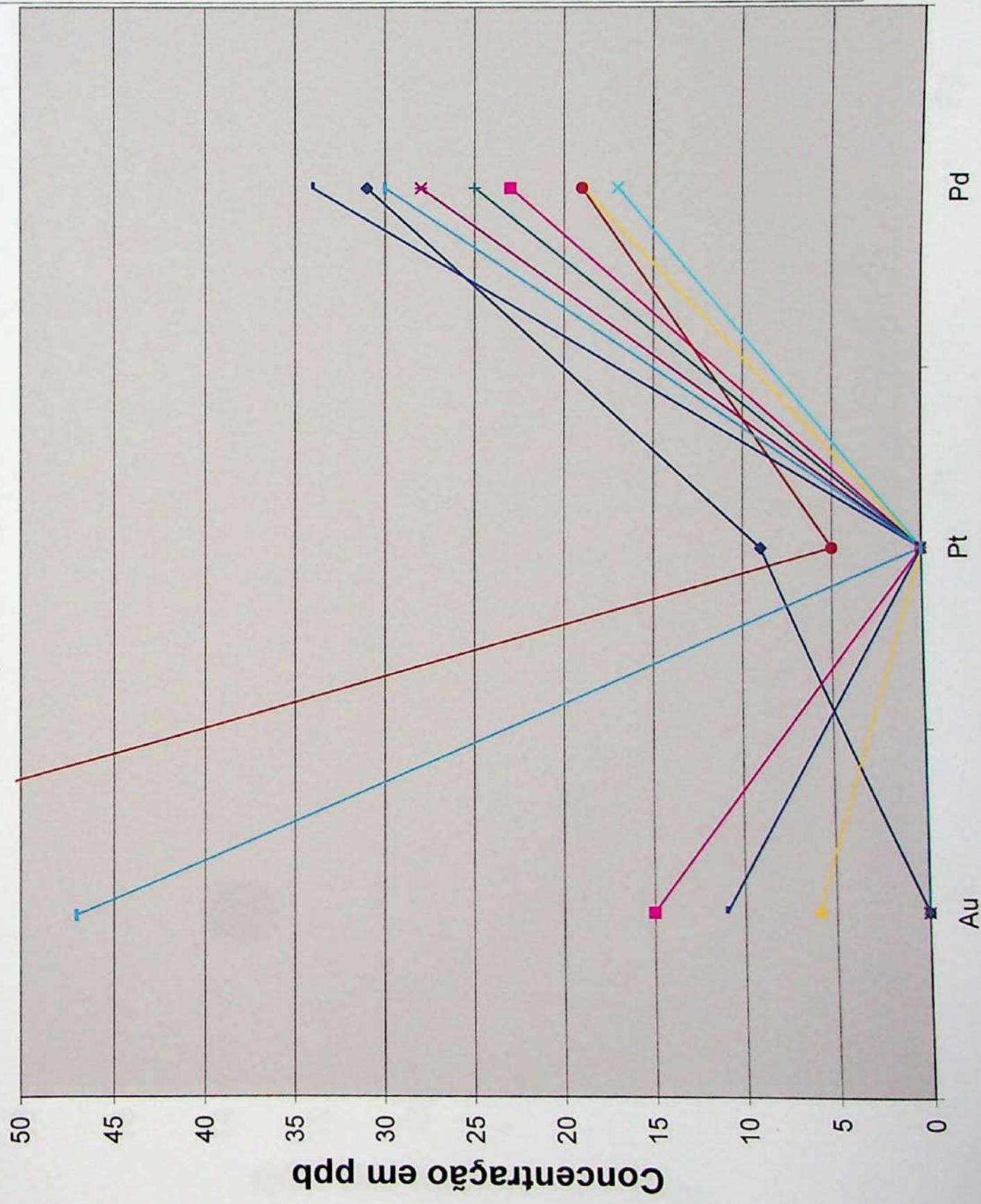


Gráfico 11-4

Formação Sopa Brumadinho/Grupo Itacolomi

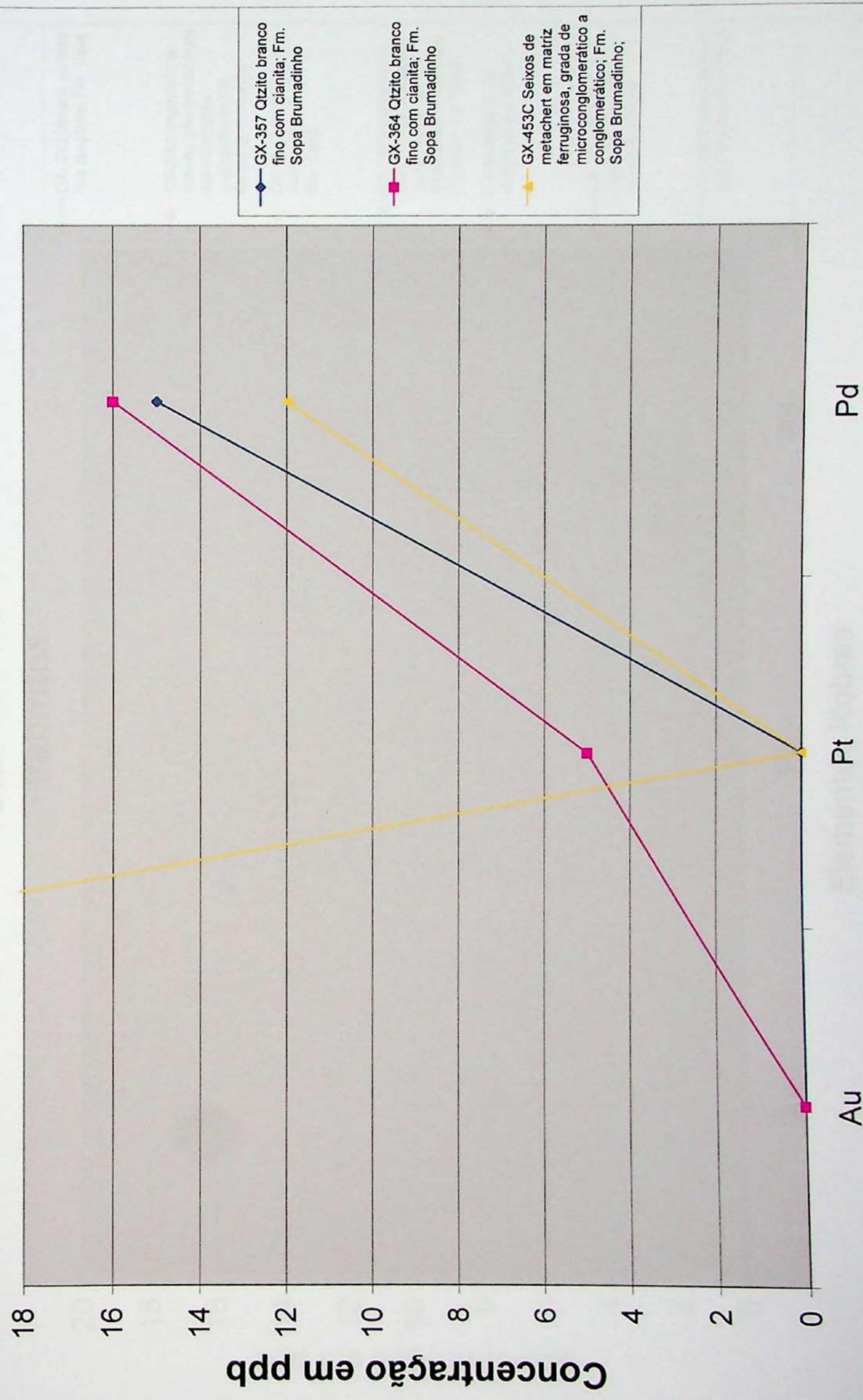


Gráfico 11-5 Itabiritos

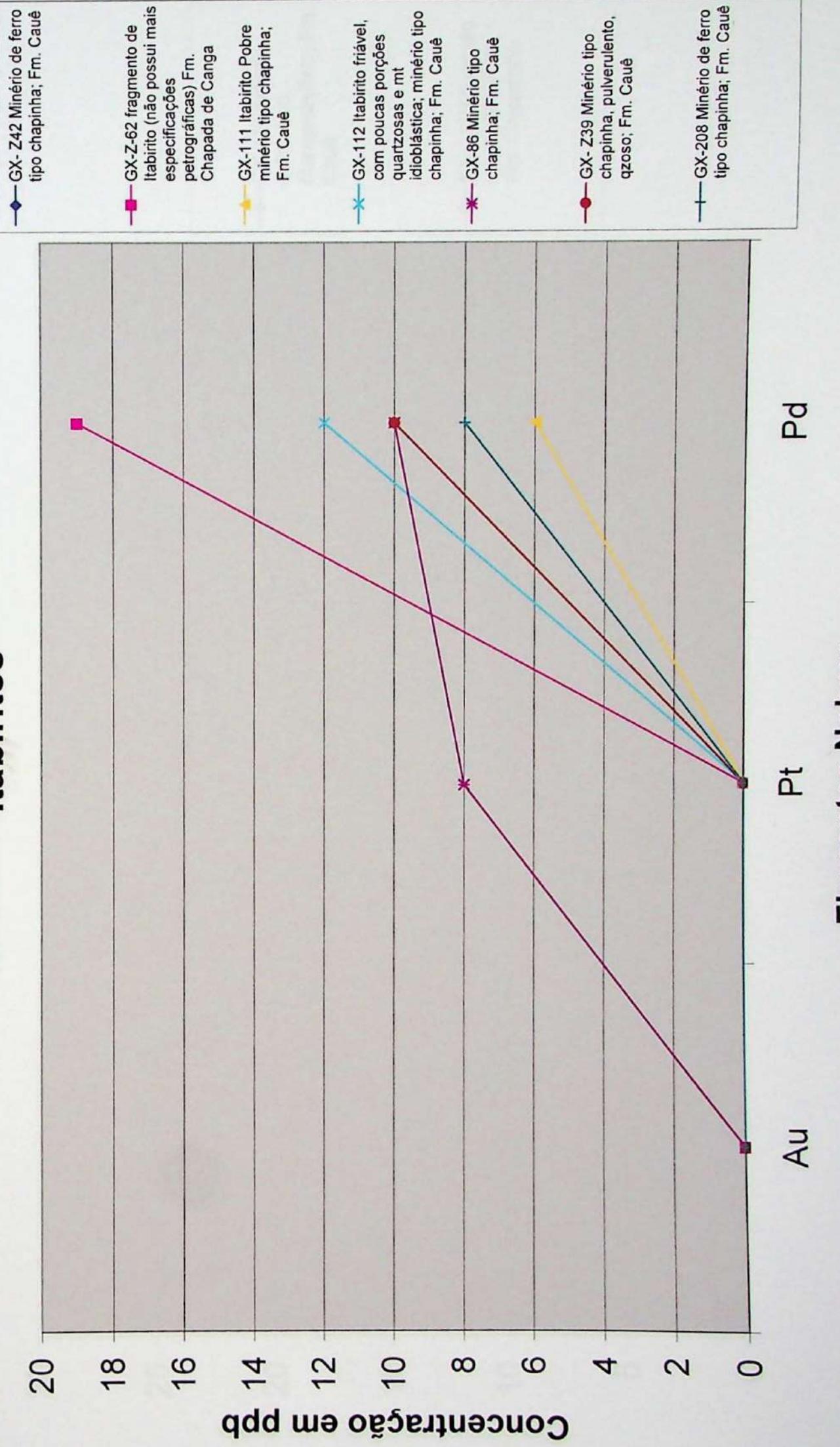


Gráfico 11-6 Quartzitos Manganesíferos

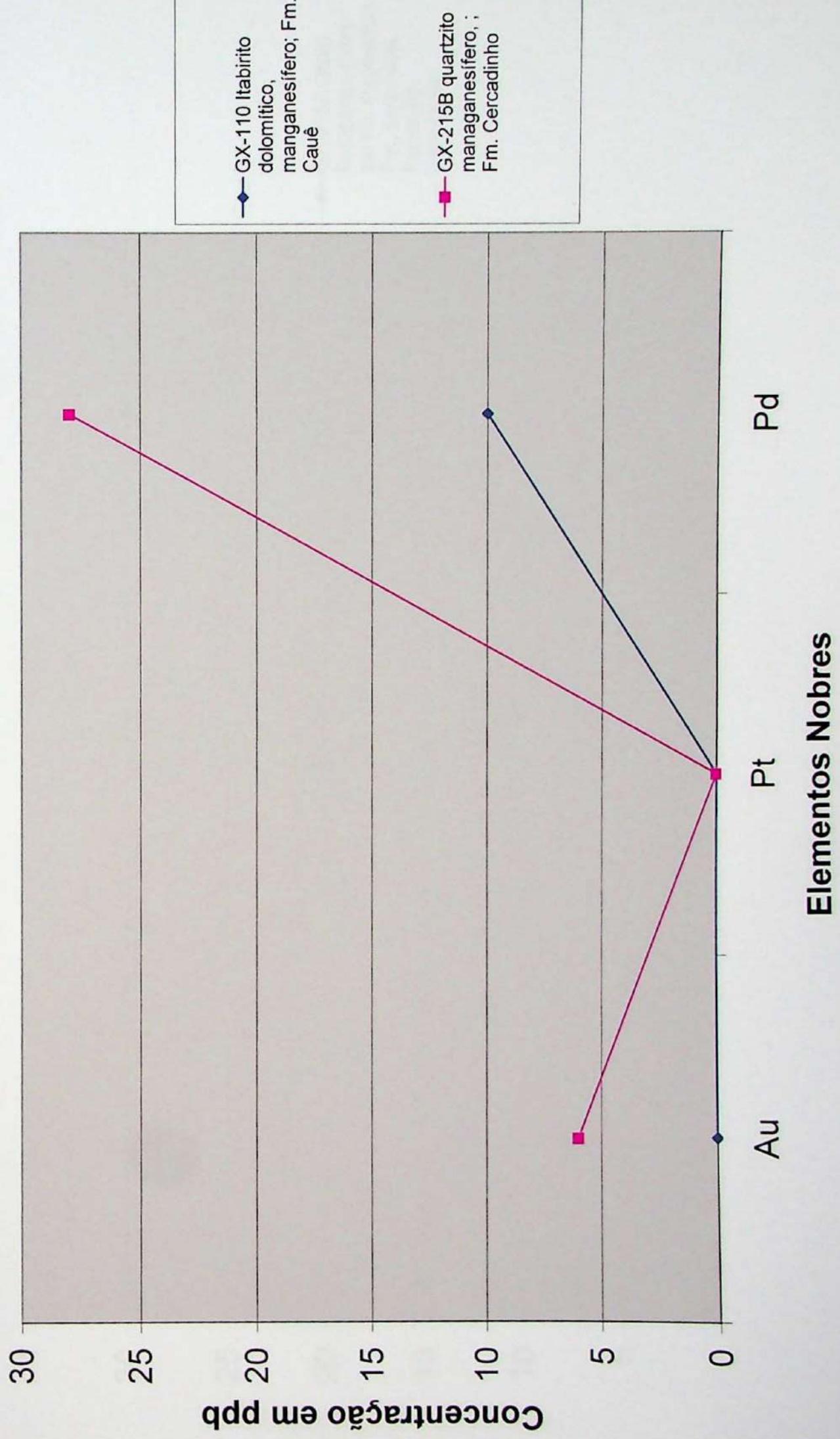
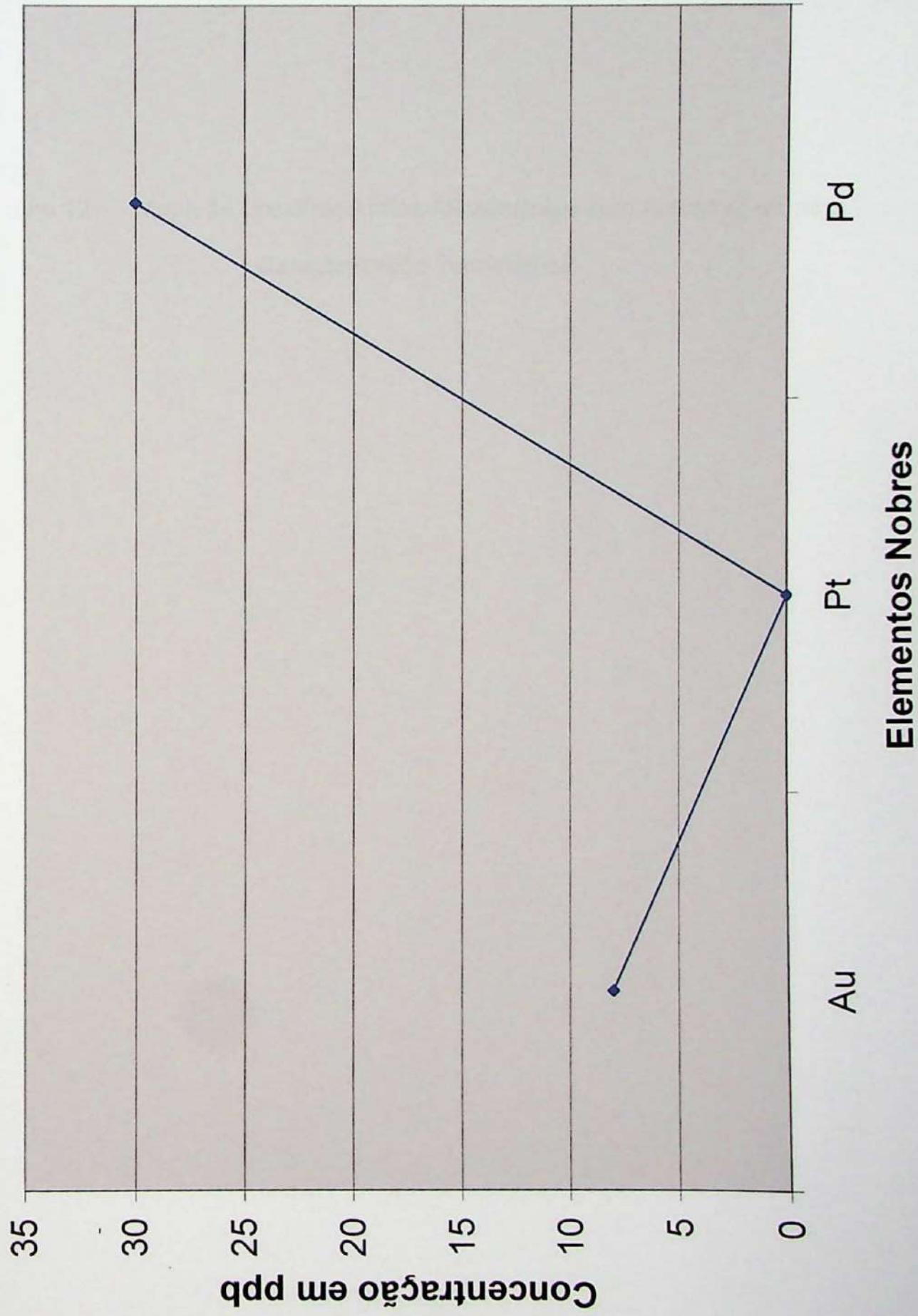
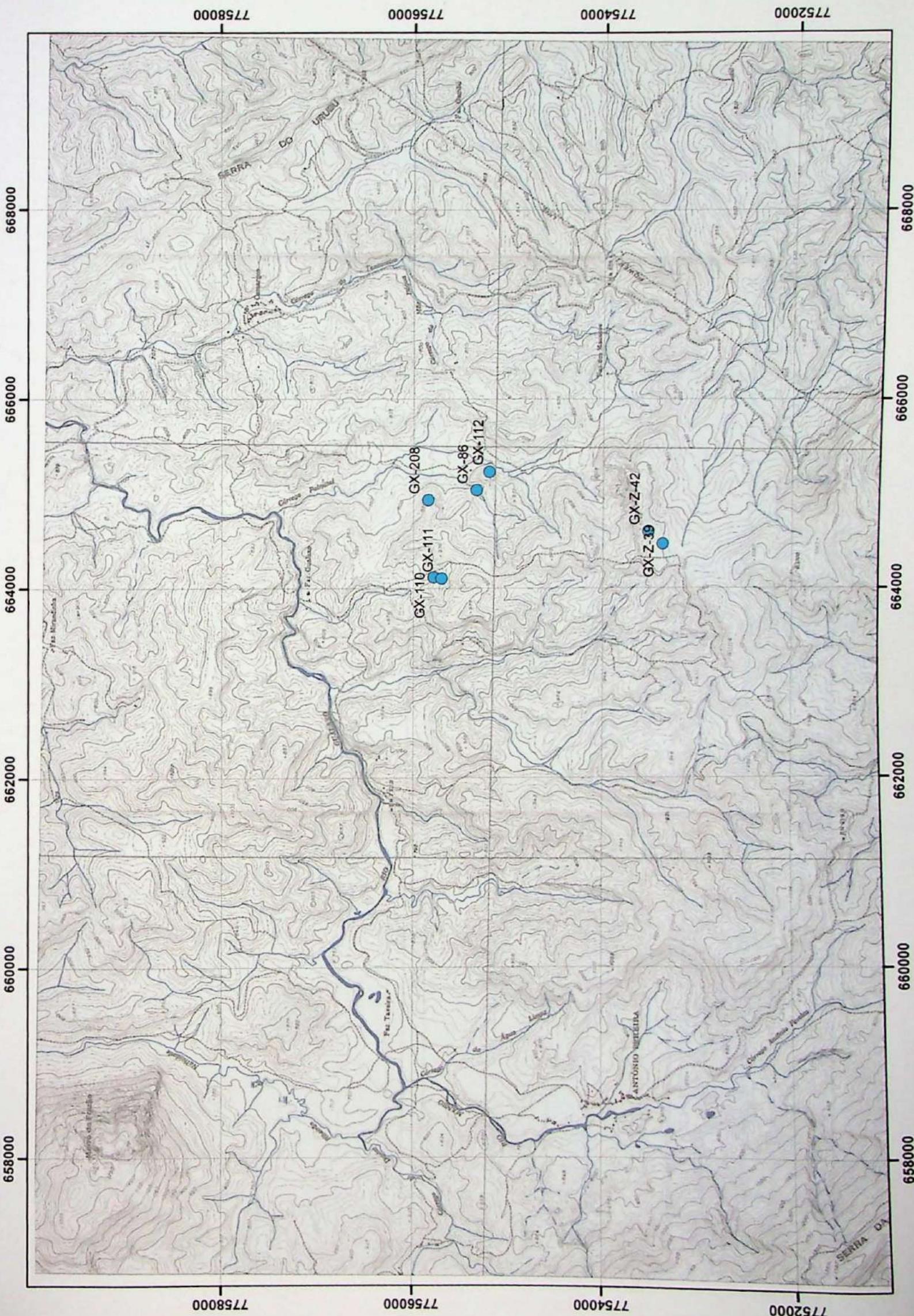


Gráfico 11-7
Quartzito Hematítico



GX-215A Qtzito
ferruginoso pobre
em Fe, magnético,
fino, sacaroidal;
Formação
Cercadinho

Anexo 12: Mapa de Localização dos Afloramentos com Amostragem para
Caracterização Tecnológica



Anexo 13: Resultados de Separação Granulométrica e Geoquímica por Frações
de Minério de Ferro Itabirítico

Geoquímica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 1

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	18,77	40,34	7,15	16,70	11,67	1,03

Geoquimica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 5

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	0,00	9,64	11,83	40,75	12,87	0,53

Oxidos Maiores (%)	Tambor 5 Global	Tambor 5 - >LO (>38mm)	Tambor 5 - LO (12) - 38mm)	Tambor 5 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 5- SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 5 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 5- OF (<0,015mm)
SiO ₂	43,6	0	41,3	35,2	58,3	47,1	6,1
TiO ₂	0,14	0	0,1	0,11	0,06	0,28	0,28
Al ₂ O ₃	4,7	0	4,9	5,3	2,9	2,8	12,7
Fe ₂ O ₃ Tot	40,4	0	38,8	42,8	31,3	45,6	58,9
MnO	5,4	0	7,6	8,4	3,8	2,6	7,7
MgO	0,25	0	0,34	0,29	0,16	0,17	0,48
CaO	0,02	0	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04
Na ₂ O	0,11	0	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,27
K ₂ O	0,1	0	0,09	0,11	0,1	0,07	0,25
P ₂ O ₅	0,27	0	0,34	0,37	0,18	0,15	0,58
P.F.	6,99	0	8,01	8,95	4,2	2,61	13,81
Total	101,98	0	101,71	101,55	101,02	101,4	101,11
S_Leco (%)	0,03	0	0,04	0,05	0,03	0,02	0,08
Elementos Traço (ppm)	Tambor 5 Global	Tambor 5 - >LO (>38mm)	Tambor 5 - LO (12) - 38mm)	Tambor 5 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 5- SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 5 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 5- OF (<0,015mm)
Ag	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	231	0	112	169	336	312	216
Be	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Bi	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cd	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Co	< 8	0	< 8	< 8	< 8	< 8	16
Cr	< 3	0	< 3	< 3	33	< 3	70
Cu	< 3	0	< 3	< 3	< 3	5	< 3
La	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Li	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Mo	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ni	< 3	0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	109	0	103	89	77	23	124
Sb	17	0	39	55	41	< 10	< 10
Sc	< 5	0	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sn	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sr	54	0	131	86	38	28	70
Th	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Tl	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
U	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	26	0	18	18	32	30	97
W	< 20	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Y	< 3	0	< 3	< 3	6	< 3	16
Zn	41	0	48	57	35	52	59
Zr	11	0	9	8	4	17	39

Geoquímica de Elementos Maiores e Traco - Tambor 7

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	2,54	31,12	35,63	26,58	2,08	0,35

Geoquimica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 9

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	6,57	21,13	17,02	35,25	12,42	2,12

Oxidos Maiores (%)	Tambor 9 Global	Tambor 9 ->LO (>38mm)	Tambor 9 - LO (12 - 38mm)	Tambor 9 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 9 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 9 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 9 - OF (<0,015mm)
SiO ₂ %	26,5	28,7	13,4	13,4	29,9	46,8	4,7
TiO ₂ %	0,07	0,02	0,07	0,06	0,07	0,1	0,39
Al ₂ O ₃ %	2,3	2,2	1,2	2,5	1,7	1,5	9
Fe ₂ O ₃ Tot%	67,3	68,5	83,5	81,6	65,7	50,3	72,2
MnO%	0,19	0,07	0,11	0,15	0,13	0,09	0,26
MgO%	0,2	0,11	0,15	0,2	0,18	0,15	0,33
CaO%	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Na ₂ O%	< 0,1	0,13	< 0,1	0,2	< 0,1	0,14	0,46
K ₂ O%	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
P ₂ O ₅ %	0,18	0,07	0,14	0,16	0,18	0,17	0,6
P.F.%	4,14	1,61	2,5	3,82	3,49	1,99	14,55
Total	100,88	101,41	101,07	102,09	101,35	101,24	102,52
S_Leco (%)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06
Elementos Traço (ppm)	Tambor 9 Global	Tambor 9 ->LO (>38mm)	Tambor 9 - LO (12 - 38mm)	Tambor 9 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 9 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 9 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 9 - OF (<0,015mm)
Ag	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	0,92	0,92	0,36	0,94	0,58	0,54	4,2
Be	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cd	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Co	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8	< 8
Cr	99	78	110	98	81	90	136
Cu	9	14	8	11	9	19	27
La	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Li	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Mo	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ni	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	23	55	64	50	75	82	72
Sb	25	44	119	64	18	42	29
Sc	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Se	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sr	4	4	3	4	< 3	3	8
Th	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Tl	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
U	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	96	75	138	111	89	74	116
W	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Y	20	17	24	23	18	13	26
Zn	57	25	76	58	66	50	139
Zr	24	9	7	18	15	19	148

Geoquimica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 10

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	1,97	27,43	12,79	28,41	20,54	1,95

Oxidos Maiores (%)	Tambor 10 Global	Tambor 10 - >LO (>38mm)	Tambor 10 - LO (12 - 38mm)	Tambor 10 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 10 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 10 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 1- OF (<0,015mm)
SIO2	27,6	13,6	16,8	10,6	18,8	64	6,1
TIO2	0,02	0,02	< 0,01	0,02	0,02	0,02	0,26
Al2O3	1,7	6,3	2,5	2,7	1,8	0,84	13,6
Fe2O3 Tot	70,9	75,1	81,2	86	80,5	35,8	64,7
MnO	0,2	1,4	0,19	0,35	0,19	0,07	0,54
MgO	< 0,1	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,29
CaO	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
Na2O	0,1	0,14	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,32
K2O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05
P2O5	0,066	0,042	0,055	0,05	0,061	0,057	0,49
P.F.	0,65	2,85	0,14	< 0,01	< 0,01	0,31	15,41
Total	101,236	99,592	101,085	99,72	101,371	101,097	101,78
S_Leco (%)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07
Elementos Traço (ppm)	Tambor 10 Global	Tambor 10 - >LO (>38mm)	Tambor 10 - LO (12 - 38mm)	Tambor 10 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 10 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 10 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 1- OF (<0,015mm)
Ag	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	3	< 3	< 3	< 3	< 3	3	32
Be	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cd	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Co	21	191	19	53	24	< 8	20
Cr	70	83	79	90	88	< 3	128
Cu	5	37	10	19	8	14	29
La	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Li	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	10	< 3
Mo	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ni	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	72	146	97	10	108	71	103
Sb	28	38	21	90	61	18	< 10
Sc	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sr	< 3	< 3	< 3	3	3	3	9
Th	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Tl	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
U	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	86	88	103	116	107	12	94
W	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Y	16	18	19	22	18	3	31
Zn	34	46	42	37	41	30	108
Zr	7	23	11	13	4	< 3	154

Geoquímica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 11

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	7,88	21,64	13,72	37,19	14,08	0,97

Geoquimica de Elementos Maiores e Traço - Tambor 12

	>LO	LO	Hem	SF	PF	OF
% de peso	7,39	46,32	18,51	20,68	5,91	0,34

Oxidos Maiores (%)	Tambor 12 - Global	Tambor 12 - >LO (>38mm)	Tambor 12 - LO (12 - 38mm)	Tambor 12 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 12 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 12 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 12- OF (<0,015mm)
SiO ₂ %	11,7		6,3	4,5	16,6	60,6	20,5
TiO ₂ %	0,1		0,04	0,1	0,09	0,11	0,84
Al ₂ O ₃ %	0,34		0,15	0,22	0,2	0,51	3,9
Fe ₂ O ₃ Tot%	88,5		93,8	95,1	83,5	40,3	57
MnO%	0,03		0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
MgO%	< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CaO%	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02
Na ₂ O%	< 0,1		0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
K ₂ O%	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,08
P ₂ O ₅ %	0,12		0,1	0,15	0,11	0,07	0,3
P.F.%	1,1		< 0,01	0,45	0,34	< 0,01	16,85
Total	101,89		100,63	100,56	100,87	101,64	99,53
S_Leco (%)	0,02		0,02	0,02	0,01	0,02	0,07
Elementos Traço (ppm)	Tambor 12 - Global	Tambor 12 - >LO (>38mm)	Tambor 12 - LO (12 - 38mm)	Tambor 12 - Hem (6,3 - 12mm)	Tambor 12 - SF (0,106 - 6,3mm)	Tambor 12 - PF (0,1060 até 015mm)	Tambor 12- OF (<0,015mm)
Ag	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	16
Be	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Bi	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cd	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Co	< 8		< 8	< 8	< 8	< 8	< 8
Cr	66		66	95	89	< 3	89
Cu	6		12	14	14	52	19
La	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Li	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Mo	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ni	< 3		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Pb	61		117	49	91	78	37
Sb	36		49	71	55	57	< 10
Sc	< 5		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sn	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sr	< 3		< 3	3	4	3	11
Th	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Tl	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
U	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	102		94	141	130	20	112
W	< 20		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Y	16		17	23	20	< 3	16
Zn	34		29	38	42	44	81
Zr	< 3		< 3	< 3	< 3	10	120

Anexo 14: Morfologia dos Fragmentos de Minério de Ferro Itabirítico por Fração
Granulométrica

Dimensões Principais

Fração Granulométrica	Amostra	Fragmento	Comprimento Máximo	Largura Máxima	Espessura Máxima	Ângulo entre as Arestas (graus)	Textura dos Planos
>LO	Tambor 1	1	200	65,9	16,6	90	rugoso e estriado
>LO	Tambor 1	2	200	38	21,7	60 e 120	rugoso e estriado
>LO	Tambor 1	3	176	48	37,5	90	rugoso e estriado
>LO	Tambor 1	4	78,3	17,7	19,7	45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 1	5	126,4	13,9	115,9	45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 1	6	96	22	18,4	45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	1	75,9	43,5	23,7	70	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	2	88,8	31	16,6	90 e 60	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	3	57	33,6	14,7	60	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	4	58,7	45,6	27,9	90	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	5	65,6	35,6	11,4	80 e 45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	6	90,9	45,7	13,5	90 e 70	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	7	111	34,4	16	70 e 45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	8	72	43,7	13,4	90 e 45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	9	67,7	43,4	10,5	80	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	10	61	31,3	8,6	80	rugoso e estriado
>LO	Tambor 7	11	60,1	61,7	10,9	90 e 45	rugoso e estriado
>LO	Tambor 9	1	83	57	28	90	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	2	91	55,5	17	45 e 80	rugoso
>LO	Tambor 9	3	90,9	59	15	45 e 80	rugoso
>LO	Tambor 9	4	54,6	43	23,7	60	rugoso
>LO	Tambor 9	5	86,9	39,3	21,6	80	rugoso
>LO	Tambor 9	6	108,6	39,6	10	80	rugoso
>LO	Tambor 9	7	129	44,2	31,4	60	rugoso
>LO	Tambor 9	8	86,8	63,6	17,9	90	rugoso
>LO	Tambor 9	9	75,9	38,4	20	70	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	10	75,6	40,7	12,7	90	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	11	89,7	48,5	23	60	rugoso
>LO	Tambor 9	12	98,3	36,5	18,6	100 e 45	rugoso
>LO	Tambor 9	13	77,6	41	18,9	75	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	14	190,5	65	24,2	80	rugoso
>LO	Tambor 9	15	56,5	11,6	38,2	90	rugoso
>LO	Tambor 9	16	127,4	13,7	14,6	80	rugoso
>LO	Tambor 9	17	78,3	52,4	11,6	80	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	18	90,5	14,6	37,5	80	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	19	61	18,3	41,2	90 e 45	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 9	20	92,5	25,4	17,2	90	rugoso com porções lisas
>LO	Tambor 11	1	147	13,4	66,8	90 e 50	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	2	165	124	11,4	arredondado	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	3	116	6,5	82,5	90 e 60	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	4	125	61	7,9	80 e 60	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	5	89,8	62,4	13,7	60 e 50	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	6	77,3	44,6	6,6	90 e 45	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	7	82,3	30,1	8,7	80 e 40	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	8	82	33,6	9,6	80 e 40	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	9	67,1	30,3	9	80 e 50	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	10	101,7	71,9	10,4	90 e 70	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	11	87,8	23,8	7,3	45	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	12	67,2	48,1	6,5	90	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	13	69,9	62,7	6,4	90 e 60	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	14	57,2	41,7	6,2	90	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	15	56,5	43,2	6,8	90	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	16	65,2	46	6,2	80	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	17	80,4	48,9	5	90 e 45	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	18	90,5	45,7	5,9	90 e 70	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	19	65,8	56,7	5,8	70 e 30	pouco rugoso
>LO	Tambor 11	20	52	44,9	8,7	70	pouco rugoso
LO	Tambor 1	1	91,9	28,4	14,5	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	2	121,3	37,6	25	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	3	141,7	18,1	15,6	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	4	62,3	29,8	7,7	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	5	89,8	21,6	7,7	45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	6	15	10,5	12,6	45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	7	75,2	22	6,5	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	8	90	35,6	17,7	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	9	57,8	21,3	5,4	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	10	73,4	14,6	4,4	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	11	66,1	12,2	6,7	80	rugoso e estriado

LO	Tambor 1	12	57,7	14,5	8,6	80 e 50	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	13	64,6	28,5	5,6	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	14	90,9	12,7	7,8	45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	15	70,5	13	3,3	60	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	16	142,7	30,9	20,4	90 e 70	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	17	99,9	26,8	16,5	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	18	89,9	30,9	7	45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	19	83,5	13,1	7,9	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 1	20	156	13,3	9,6	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 5	1	41,3	30,4	16,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	2	54,7	30,3	25,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	3	27,9	24,5	4,7	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	4	48,3	46,2	18,7	arredondada com fraturas aleatórias	ondulado
LO	Tambor 5	5	36,8	18,3	18	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	6	42	24,8	21,2	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	7	34,3	20	11,9	arredondada com fraturas aleatórias	ondulado
LO	Tambor 5	8	30,2	20,1	10,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	9	31,9	25,8	8,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	10	47,9	44	21,8	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	11	37,9	30,9	21,2	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	12	52,5	29,3	14,5	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	13	39,4	21	14,8	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	14	48,3	37	13,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	15	29,9	21	10,1	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	16	38,8	35	11,5	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	17	25,5	20,9	16	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	18	28	24,2	12,2	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	19	33,1	26,4	11,9	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 5	20	29,9	29,9	9,6	arredondada com fraturas aleatórias	levemente rugoso
LO	Tambor 7	1	48,3	39,1	9,7	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	2	39,1	25,9	7,7	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	3	58,4	29,4	9,9	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	4	44,3	21,5	8,1	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	5	46,5	18,2	11,5	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	6	47,8	14,9	11,8	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	7	39,5	28,9	10,2	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	8	43,1	24,2	11,5	70 fraturas aleatórias	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	9	36,6	18,7	7,8	80 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	10	37	28,2	7,1	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	11	48,6	14,1	7,5	60 e 45	estriado pouco rugoso
LO	Tambor 7	12	33,7	19,2	6,3	90	liso pouco estriado
LO	Tambor 7	13	62,5	29	15	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	14	32,5	24,3	4,6	90 e 60	estriado pouco rugoso
LO	Tambor 7	15	31,7	15,6	16,2	60	estriado pouco rugoso
LO	Tambor 7	16	28,2	18,8	10,5	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	17	39,5	23,1	10	60	rugoso e estriado
LO	Tambor 7	18	32,6	17,4	7,3	45	liso pouco estriado
LO	Tambor 7	19	28,7	13,9	9,9	80 e 45	estriado pouco rugoso
LO	Tambor 7	20	22,7	20,3	6,4	90	liso pouco estriado
LO	Tambor 9	1	35,9	27	12,8	90 e 60	rugoso
LO	Tambor 9	2	59,8	39,6	14,6	90	rugoso
LO	Tambor 9	3	60,3	31,6	10,7	60	rugoso
LO	Tambor 9	4	48,8	29,1	9,5	60	rugoso
LO	Tambor 9	5	38,2	23,6	12,4	45	rugoso
LO	Tambor 9	6	69,4	17,8	9,4	90	rugoso
LO	Tambor 9	7	45,5	15,1	6,4	70	rugoso
LO	Tambor 9	8	43,6	27,8	8,5	90	rugoso
LO	Tambor 9	9	65,3	40,5	11,8	70 e 45	rugoso
LO	Tambor 9	10	60	27,8	8,5	90	rugoso
LO	Tambor 9	11	56,6	36,7	11,8	90	rugoso
LO	Tambor 9	12	52,2	45,2	8,7	90 e 60	rugoso
LO	Tambor 9	13	55	37,1	5,9	60	rugoso
LO	Tambor 9	14	48,4	31,9	7,2	60 e 45	rugoso
LO	Tambor 9	15	63,2	28,2	6	60 e 45	rugoso
LO	Tambor 9	16	52,2	4,9	6,7	90	rugoso
LO	Tambor 9	17	52,4	30,4	3,9	60	rugoso
LO	Tambor 9	18	42,8	19,5	8,2	80	rugoso
LO	Tambor 9	19	28,6	23,7	9,4	90 e 60	rugoso
LO	Tambor 9	20	38,5	16,1	9,8	90 e 45	rugoso
LO	Tambor 10	1	49,5	28,2	9,4	80 e 60 arredondado	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	2	42,2	11,7	11,7	arredondada	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	3	51,9	19,1	9,7	90 e 60	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	4	35	34,2	6,3	90 e 60	estriado pouco rugosa

LO	Tambor 10	5	42,4	22,5	6,9	60 e 45	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	6	51,3	35,1	8,6	90	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	7	39,4	17,8	6,9	90	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	8	35,5	21	6,5	90 e 70	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	9	23,8	20,6	5,5	90	pouco estriado
LO	Tambor 10	10	39,3	28,7	4,2	70 e 45	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	11	41	27,3	5,8	60 e 45	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	12	31,9	24,2	6,8	90 e 45	liso e estriado
LO	Tambor 10	13	30	28,7	5,5	90 e 45	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	14	38	31,9	7,3	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 10	15	37,4	26,8	5	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 10	16	24,8	19,1	5,4	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 10	17	28,5	23,5	6,6	60 e 45	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	18	23,9	17,2	7,4	arredondada	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	19	20	20	7,8	arredondada	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 10	20	33,2	21,5	5,7	90	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 11	1	43,3	32,6	3,8	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	2	63,4	21,3	3,4	60 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	3	43,1	18,7	3,1	80 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	4	35,7	22,7	2,8	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	5	40,9	30	5,9	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	6	39,8	26,1	7,7	60 e 90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	7	50,9	30,5	6,4	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	8	50,8	36,9	12	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	9	34	15,1	8	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	10	42,4	21,9	4,3	60 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	11	39,6	34	8,4	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	12	45,9	33,5	4,9	80	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	13	39,6	25,7	3	90 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	14	42,4	20,7	7,2	60 e 45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	15	47,3	24,1	4,1	45	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	16	35,6	32,1	2,3	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	17	43,1	40	12,8	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	18	25,6	32,1	2,3	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	19	35,6	22,2	1,8	80	rugoso e estriado
LO	Tambor 11	20	56,8	31	9,6	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 12	1	51,2	32,1	24,4	arredondada	rugoso e estriado
LO	Tambor 12	2	32,8	19,8	21,9	arredondada	rugoso e estriado
LO	Tambor 12	3	65,6	30,7	24,5	90 e 60	rugoso e estriado
LO	Tambor 12	4	43,6	16,7	11,2	90	rugoso e estriado
LO	Tambor 12	5	39,6	30,5	18,9	90	pouco rugoso, estriado
LO	Tambor 12	6	43,3	30,7	10,8	80	pouco rugoso, estriado
LO	Tambor 12	7	39,7	36,3	17,4	fraturas aleatórias	muito rugoso, pouco estriado
LO	Tambor 12	8	44,7	19,5	12,4	90	liso estriado
LO	Tambor 12	9	39,1	25,8	15,6	fraturas aleatórias	liso estriado
LO	Tambor 12	10	53,2	42,4	21,2	arredondada	muito rugoso, pouco estriado
LO	Tambor 12	11	39,1	29,5	22,3	arredondada	muito rugoso, pouco estriado
LO	Tambor 12	12	36,7	22,4	14,6	fraturado segundo a crenulação (ondulado)	muito rugoso, pouco estriado
LO	Tambor 12	13	41,9	23,6	7,5	arredondada	pouco estriado e pouco rugoso
LO	Tambor 12	14	46,1	26,7	11,5	90 e 60	rugoso pouco estriado
LO	Tambor 12	15	35,6	20,5	14,8	90	estriado pouco rugoso
LO	Tambor 12	16	40	21,7	11	60 e 45	estriado
LO	Tambor 12	17	36,1	22	8,2	90 e 60	liso pouco estriado
LO	Tambor 12	18	35,9	16,1	12,4	90	liso estriado
LO	Tambor 12	19	41,9	17,7	12,3	60	liso pouco estriado
LO	Tambor 12	20	25,3	23,2	13,1	90 e 60	rugoso e estriado
Hem	Tambor 1	1	42	12,8	3,9	90 e 45	estriado
Hem	Tambor 1	2	52,8	7,7	2,8	90	estriado
Hem	Tambor 1	3	36,7	11,3	3,4	90	estriado
Hem	Tambor 1	4	24,7	11,4	3	90	estriado
Hem	Tambor 1	5	25,5	10,8	2,6	90	estriado
Hem	Tambor 1	6	39,3	12,2	1,6	60 e 45	estriado
Hem	Tambor 1	7	42,4	11	2,1	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	8	28,9	10,3	1,8	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	9	37,5	10,6	2,3	90	estriado
Hem	Tambor 1	10	35,2	7,2	2,7	45	estriado
Hem	Tambor 1	11	39,8	6,8	2	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	12	30,7	7,2	5,1	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	13	26,7	15,1	3,2	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	14	26,5	10,8	4,4	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	15	26,2	9,9	2,3	60 e 45	estriado
Hem	Tambor 1	16	32,6	14,9	2,3	60 e 45	ondulado
Hem	Tambor 1	17	57,9	12,8	4	70 e 45	estriada
Hem	Tambor 1	18	29,4	8,7	4,5	60	estriada e rugosa

Hem	Tambor 1	19	74,6	9,4	5	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 1	20	31,3	8,9	2,2	90	estriado
Hem	Tambor 5	1	17,4	10,3	8,4	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	2	28,3	11	11	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	3	25,9	11,7	7,4	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	4	18,9	12,2	6,9	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	5	18,3	14,5	9,1	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	6	23,2	12,8	8,7	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	7	30,9	14,1	9,4	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	8	21,1	10,9	11,1	90 e 45	liso
Hem	Tambor 5	9	23,5	12,1	10	arredondada	liso
Hem	Tambor 5	10	20,8	10,5	8,6	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	11	27,8	13,4	6,1	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	12	20,4	14,5	8,7	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	13	20,1	12	5,5	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	14	17,6	15,2	7	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	15	22,7	13	7,3	arredondada	liso pouco estriada
Hem	Tambor 5	16	22,3	13,4	7	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	17	23,4	12,3	7	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	18	18,9	13,1	5,8	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	19	15,2	12,7	7,7	arredondada	rugoso
Hem	Tambor 5	20	20,9	14,1	4,9	arredondada	lisa
Hem	Tambor 7	1	25,2	11,8	5,6	90 e 60	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	2	28,9	13,2	5,9	60	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	3	17,9	11,2	7	80	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	4	25,8	15,7	8	60 e 45	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	5	21,8	14,6	6,1	90 e 60	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	6	22,1	10,1	7,6	90	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	7	22,4	16,8	4	45	liso pouco estriado
Hem	Tambor 7	8	18,7	13,8	5	90 e 60	rugosa pouco estriada
Hem	Tambor 7	9	18,1	9,6	6,7	90	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	10	25,9	14,1	5,9	90 e 50	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	11	23,8	14,5	7,6	90 e 45	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	12	15,1	12,3	3,3	90 e 45	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	13	26,4	15,2	5,1	90 e 70	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	14	19,1	8,8	4,2	90	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	15	19,1	13,8	4,6	90	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	16	28,4	8,8	3,6	90 e 60	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	17	20,5	16,7	3	90 e 60	rugosa pouco estriada
Hem	Tambor 7	18	13,7	9,4	4,1	70	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	19	19	9,2	7,4	90 e 60	estriada pouco rugosa
Hem	Tambor 7	20	24,7	9,2	4,8	60 e 45	rugosa pouco estriada
Hem	Tambor 9	1	20,6	15,2	5,5	90	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	2	21,7	11,5	5,1	90	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	3	38,2	15,4	5,6	90	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	4	24,8	16,5	4,6	90 e 60	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	5	23,1	13,7	6,6	60	rugoso
Hem	Tambor 9	6	24,6	10	6,9	90 e 60	rugoso
Hem	Tambor 9	7	15,9	10,9	5,7	90	rugosa pouco estriado
Hem	Tambor 9	8	27,9	11,8	5,1	45	rugoso
Hem	Tambor 9	9	20,8	13,4	7,1	90 e 60	rugoso
Hem	Tambor 9	10	21,5	13,8	5,1	60 e 45	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	11	20,5	14,5	5,2	80 e 60	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	12	29,4	16,8	4,9	angulos arredondados	rugoso
Hem	Tambor 9	13	19,5	11,7	2,7	90	rugoso
Hem	Tambor 9	14	26,9	16,4	4,7	60 e 45	rugoso
Hem	Tambor 9	15	31,1	11,7	4,5	fraturas aleatórias	rugoso
Hem	Tambor 9	16	16,6	13,1	6,8	90	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	17	15,1	14,1	5	90	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	18	23,6	11,8	5,9	90	rugoso
Hem	Tambor 9	19	28,3	11,5	6,8	80 e 45	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 9	20	22,1	14,8	5,9	45	rugoso pouco estriado
Hem	Tambor 11	1	22,3	14,9	3,8	90 e 45	liso
Hem	Tambor 11	2	21,9	13,3	4,6	90 e 45	liso
Hem	Tambor 11	3	20,1	17,4	3,4	60	liso
Hem	Tambor 11	4	19,2	14,3	2,5	90	liso
Hem	Tambor 11	5	18,5	17,1	1,7	60	liso
Hem	Tambor 11	6	26,3	10,6	2,1	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	7	24,4	10	1	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	8	27,2	10,6	1,3	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	9	22	15,6	3,9	90 e 70	liso e estriado
Hem	Tambor 11	10	22	12,1	3,2	90	liso
Hem	Tambor 11	11	30,8	13,8	6,4	90 e 45	liso

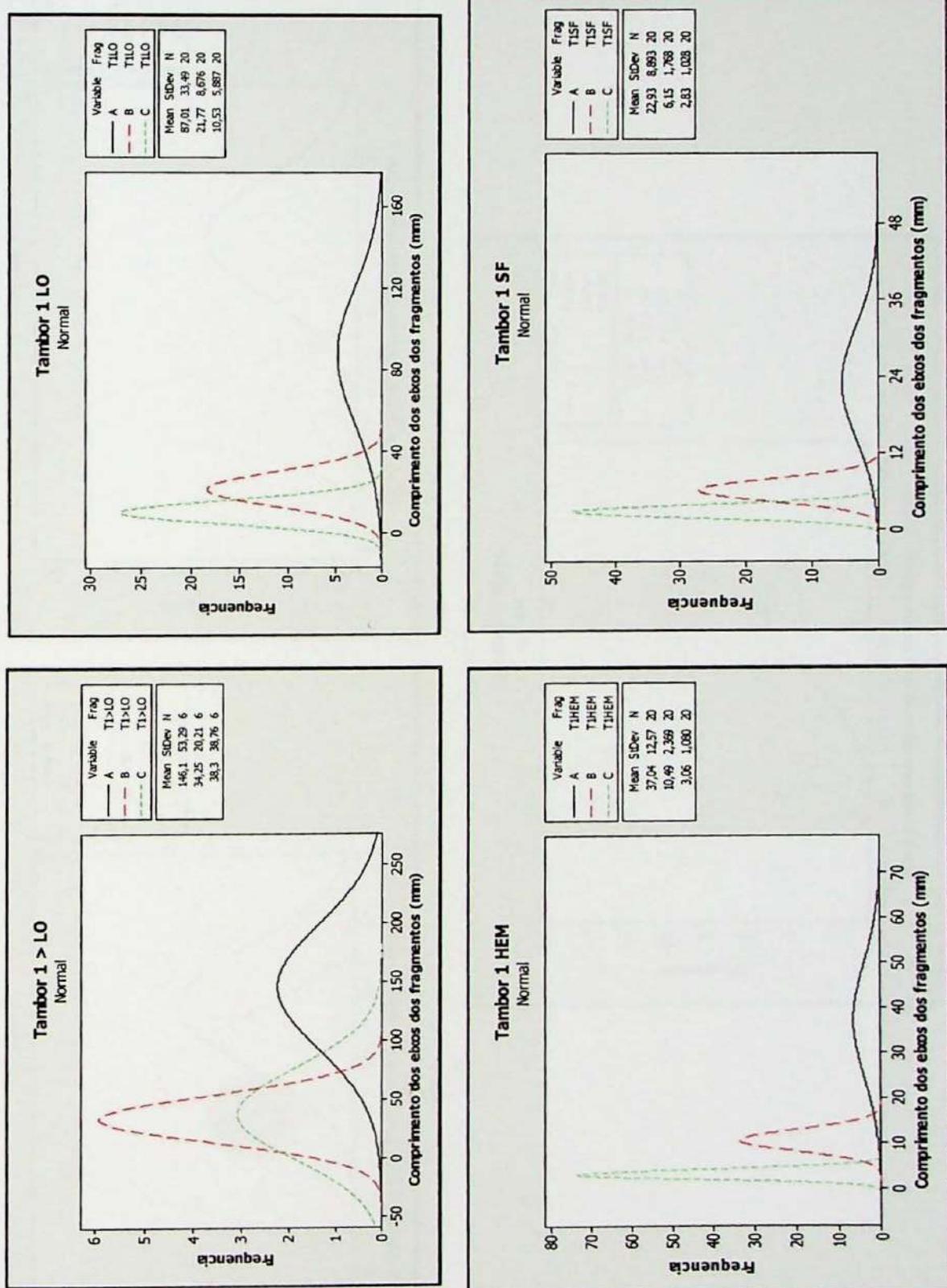
Hem	Tambor 11	12	30,1	14,7	3,3	90	liso
Hem	Tambor 11	13	23,4	11,5	3,9	90	liso
Hem	Tambor 11	14	23,2	7,7	2	90	liso
Hem	Tambor 11	15	14,1	13,1	2,9	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	16	17,7	10,1	5,8	60	rugoso
Hem	Tambor 11	17	14,8	13,1	2,1	90	liso
Hem	Tambor 11	18	21,6	16,8	2,7	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	19	23,5	11,6	3,1	90	liso e estriado
Hem	Tambor 11	20	28,9	15,5	3,7	90 e 45	liso
Hem	Tambor 12	1	30,2	12,3	8,7	90 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	2	26,3	13,6	9,5	90 e 45 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	3	22,9	12,1	6,5	90 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	4	24,8	11,1	7,1	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 12	5	34,1	12,5	6,2	arredondada	estriado
Hem	Tambor 12	6	25,9	4,1	7,3	60 e 45	estriado
Hem	Tambor 12	7	18,7	15,1	7,2	90 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	8	23,2	13,7	6,9	90 e 60	estriado
Hem	Tambor 12	9	26,5	11,1	9,4	90 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	10	26,4	12,2	6,2	90	rugosa e estriada
Hem	Tambor 12	11	25,1	10,7	5,8	90	rugosa e estriada
Hem	Tambor 12	12	26	16,1	6,5	60 e 45	rugosa
Hem	Tambor 12	13	21,5	11,9	9	60 e 45	rugosa
Hem	Tambor 12	14	13,9	10,5	7,8	90 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	15	16,9	11,6	5,5	90 e 60	rugosa e estriada
Hem	Tambor 12	16	29,9	10,5	5	60 e 45	estriado
Hem	Tambor 12	17	21,5	9,8	7,2	90 e 70	rugosa e estriada
Hem	Tambor 12	18	25	15,1	6,3	60	rugosa e estriada
Hem	Tambor 12	19	25,9	8,3	4,9	60 arredondado	estriado
Hem	Tambor 12	20	28,7	15	4,1	90 e 45 arredondado	estriado
SF	Tambor 1	1	52,3	11,6	3,8	90 e 45	estriado
SF	Tambor 1	2	29,6	6,5	2,1	90 e 45	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	3	33,7	7,4	2,2	90 e 45	estriado
SF	Tambor 1	4	16,9	5,3	4,1	90 e 45	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	5	19,1	3,2	2,7	90 e 45	estriado
SF	Tambor 1	6	29,1	5,6	2,6	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	7	21,8	4,6	2,7	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	8	19,1	7,4	1,8	70 e 45	estriado
SF	Tambor 1	9	17,4	7,2	1,6	90 e 45	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	10	20,2	6,8	3,1	90 e 45	estriado
SF	Tambor 1	11	26,2	4,1	1,4	90 e 45	estriado
SF	Tambor 1	12	20,6	5,1	4,9	90	estriado
SF	Tambor 1	13	20,2	6,3	1,7	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	14	26,8	6,7	3,4	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	15	16,9	3,7	3,8	90	estriado
SF	Tambor 1	16	20,8	5,9	3,2	90	estriado
SF	Tambor 1	17	15,6	6,1	4,1	90	estriado
SF	Tambor 1	18	13,3	5,9	3,8	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 1	19	26,1	6,5	1,5	90	estriado
SF	Tambor 1	20	12,9	7,1	2,1	90	estriado e rugoso
SF	Tambor 5	1	11,5	5,7	4,5	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	2	10,7	6,3	4,8	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	3	10,7	3,6	3,5	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	4	10	5,3	4,5	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	5	11,5	6,5	3,7	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	6	11,9	5,7	4,3	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	7	9,5	5,8	3,1	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	8	9,8	5	2,9	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	9	11,7	4,8	5,1	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	10	9,1	6,2	4,6	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	11	10,9	5,6	5	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	12	9,6	6,8	4,9	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	13	8,5	6,1	3,1	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	14	11,1	6,1	3,5	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	15	8,4	4,1	3,8	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	16	7	5	3,2	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	17	7,2	6,8	3,1	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	18	10,2	5,6	3,3	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	19	7,7	4,3	3	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 5	20	11,8	5,7	2,8	arredondado	lisos a pouco rugosos
SF	Tambor 7	1	26,9	5,4	4,7	90 e 60 arredondado	estriado rugoso
SF	Tambor 7	2	13,8	6,1	3,7	90	estriado rugoso
SF	Tambor 7	3	14,1	6,9	4,6	fraturas aleatórias	estriado rugoso
SF	Tambor 7	4	15,9	5,6	5	90	estriado rugoso

SF	Tambor 7	5	10,4	5,1	4,1	90	estriado rugoso
SF	Tambor 7	6	12,6	6	3,6	60 e 45 arredondado	rugoso
SF	Tambor 7	7	17,1	8,1	3,4	60	estriado rugoso
SF	Tambor 7	8	11,8	6,6	4	60	estriado rugoso
SF	Tambor 7	9	17,1	7,3	3,9	90	rugoso
SF	Tambor 7	10	17,1	5	3,1	90 e 60	rugoso
SF	Tambor 7	11	16,5	6,3	4,1	fraturas aleatórias	rugoso
SF	Tambor 7	12	9,5	6,7	5,6	60	estriado rugoso
SF	Tambor 7	13	9,5	5,3	4,7	90	estriado rugoso
SF	Tambor 7	14	10,7	5,9	2,5	90	rugoso
SF	Tambor 7	15	8,2	5,4	2,7	90	rugoso
SF	Tambor 7	16	10,7	3,4	2,9	90	estriado rugoso
SF	Tambor 7	17	13,6	7,7	2,8	45	rugoso
SF	Tambor 7	18	9,1	5,2	2,7	90	rugoso
SF	Tambor 7	19	13,1	8	3,2	90 e 45	rugoso
SF	Tambor 7	20	8,6	7,7	1,9	90 e 60	rugoso
SF	Tambor 9	1	7,4	4,9	2,6	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	2	6,1	5,5	2,9	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	3	6,4	4,9	2,7	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	4	7,3	6,3	2,8	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	5	6,7	4,6	2,4	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	6	8,1	5,4	2,3	fraturas aleatórias	pouco rugoso
SF	Tambor 9	7	8,1	7,4	2,9	90	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	8	12,2	7,7	2,1	90	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	9	9,1	8,7	1,9	90	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	10	8,5	6,9	3,2	90 e 45	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	11	10,5	6,3	2,5	45	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	12	10,6	7,8	3,4	90 e 45	rugosa pouco estriada
SF	Tambor 9	13	10,1	3,2	2,9	90 arredondada	rugosa
SF	Tambor 9	14	11,3	5,5	4,1	90 arredondada	rugosa
SF	Tambor 9	15	11,6	6,1	2,8	90 e 60	rugosa
SF	Tambor 9	16	16,5	8,2	2,4	45	rugosa
SF	Tambor 9	17	10,6	4,1	2,3	90 e 45	rugosa
SF	Tambor 9	18	9,3	5,6	1,7	90 e 60	rugosa
SF	Tambor 9	19	12,7	6,5	1,5	90 e 45	rugosa
SF	Tambor 9	20	10,8	6,7	2,8	45	rugosa
SF	Tambor 10	1	11,1	6,1	4,2	90	rugoso
SF	Tambor 10	2	13,2	7,8	2,6	90 e 60	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	3	8,3	6,2	2,7	90 arredondado	rugoso
SF	Tambor 10	4	11,1	5,9	3,1	90 e 45	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	5	11,3	6,9	1,5	90	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	6	8,5	7,6	3,1	90	rugoso
SF	Tambor 10	7	6,1	4,9	2,3	91	rugoso
SF	Tambor 10	8	9,9	5,8	1,1	90 e 60	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	9	8,7	6,4	2,4	90 arredondado	rugoso
SF	Tambor 10	10	9,1	7,2	2,6	90	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	11	7,8	5,8	2,2	90 e 60	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	12	10,9	6,1	2,4	90 e 45	rugoso
SF	Tambor 10	13	8,2	3,6	2,2	91 e 45	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	14	10,7	3,5	1,9	45	rugoso e estriado
SF	Tambor 10	15	11	6,6	2,8	90 e 60	rugoso
SF	Tambor 10	16	15,6	5,7	3,8	90 e 60	rugoso
SF	Tambor 10	17	9,6	4,9	3,6	arredondado	pouco rugosa
SF	Tambor 10	18	9,1	4,1	2,6	arredondado	pouco rugosa
SF	Tambor 10	19	9,2	5,6	1,9	arredondado	pouco rugosa
SF	Tambor 10	20	6,1	5,1	2,9	arredondado	pouco rugosa
SF	Tambor 11	1	11,4	2,3	2,3	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	2	16,3	1,5	1,5	90 e 60	rugoso
SF	Tambor 11	3	17,7	2,7	2,7	90 e 90	liso e estriado
SF	Tambor 11	4	16,2	3,1	3,1	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	5	13,7	2,4	2,4	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	6	9,6	3,2	3,2	90 e 90	liso e estriado
SF	Tambor 11	7	10,4	1,6	1,6	90 e 45	liso e estriado
SF	Tambor 11	8	19,7	1,9	1,9	45 e 45	liso
SF	Tambor 11	9	21,9	4,2	4,2	90 e 90	liso e estriado
SF	Tambor 11	10	10,9	2,1	7,6	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	11	11,2	1,6	7,7	90 e 90	liso
SF	Tambor 11	12	7,8	3,4	4,1	90 e 90	rugoso
SF	Tambor 11	13	10,3	3,4	5,5	90 e 60	liso
SF	Tambor 11	14	16,2	1,2	3,7	90 e 90	liso
SF	Tambor 11	15	10,3	1,5	6,3	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	16	16,4	1,5	5,1	90 e 45	rugoso
SF	Tambor 11	17	12,9	2,7	6,2	90 e 45	liso
SF	Tambor 11	18	10,1	2,9	7,6	90 e 90	liso e estriado

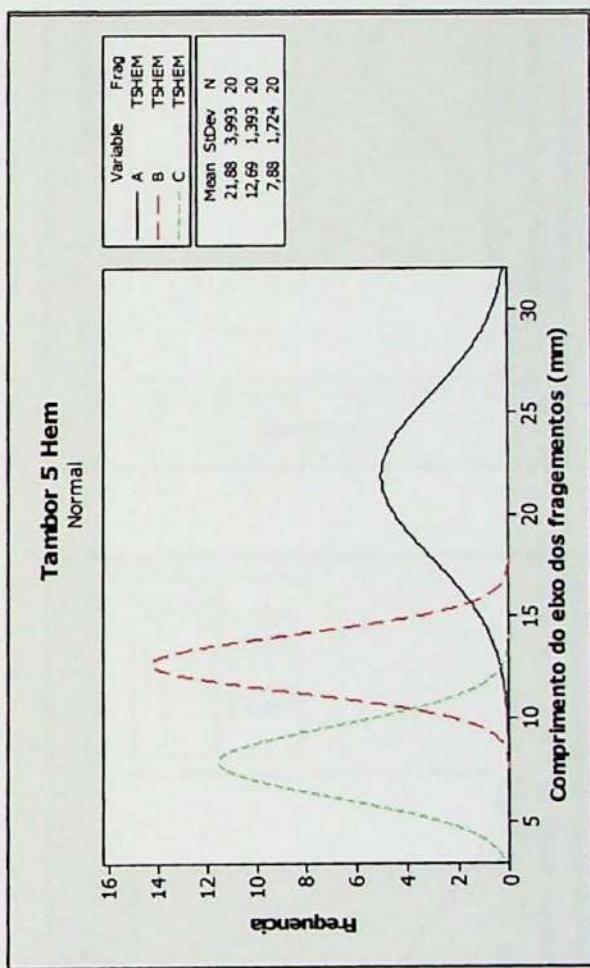
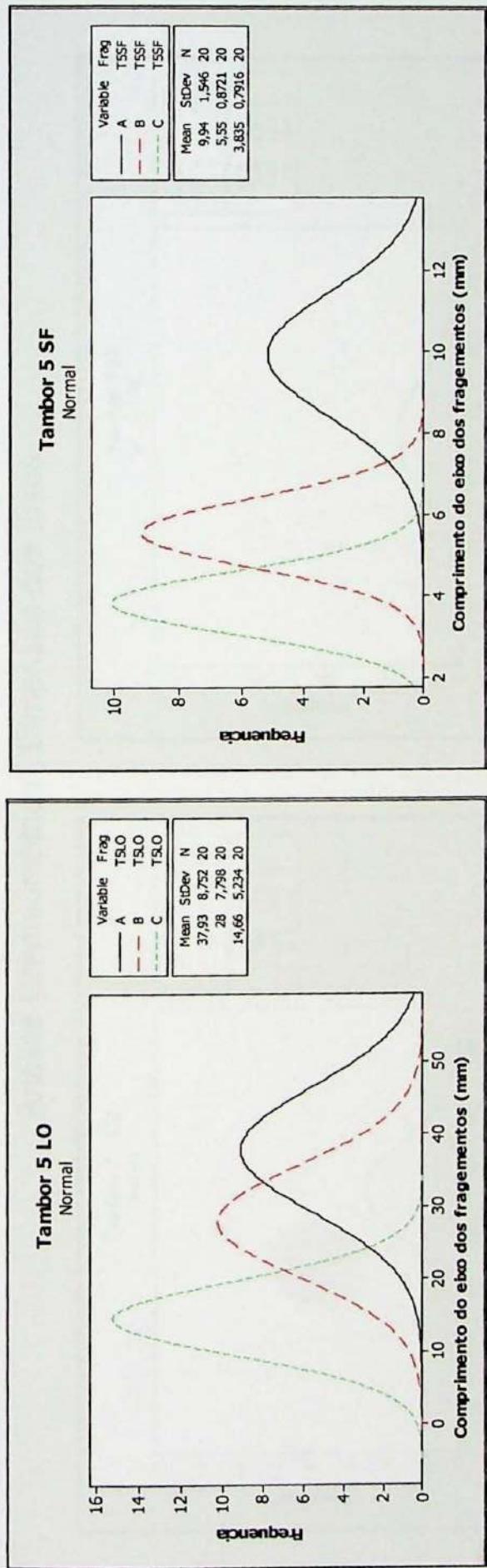
SF	Tambor 11	19	15,2	1,8	7,3	90 e 60	liso e estriado
SF	Tambor 11	20	10	2,9	7,2	Frat. Irregulares	liso
SF	Tambor 12	1	22,3	6,1	3,7	90 e 45	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	2	18,6	8,1	3,8	90 e 60	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	3	14,4	6,5	4,9	90 arredondado	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	4	11,6	8,4	3,1	90 e 45	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	5	14,1	6,7	4,1	90 arredondado	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	6	19,5	5,9	3,5	45	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	7	10,9	5,7	5	90 arredondado	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	8	13,1	6,5	2,9	90 e 60	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	9	11,3	6,1	5	arredondado	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	10	14,1	4,9	3,7	90 e 45	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	11	10,1	4,1	2,6	90	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	12	11,9	6,1	3,7	90 e 45	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	13	11,9	6,3	3,9	90 e 45	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	14	10,1	5,2	2,6	90 e 45	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	15	11,1	6,2	2,8	90 e 60	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	16	9,9	6,6	4,9	fraturas aleatórias	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	17	12,8	6,7	3,2	60 e 45	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	18	9,8	4,3	2,1	90	estriado pouco rugoso
SF	Tambor 12	19	10,2	5,9	1,8	90 e 45	liso pouco estriado
SF	Tambor 12	20	11,8	6,4	2,8	60 e 45	estriado pouco rugoso

Anexo 15: Histogramas de Dimensões dos Fragmentos de Minério de Ferro
Itabirítico por Fração Granulométrica

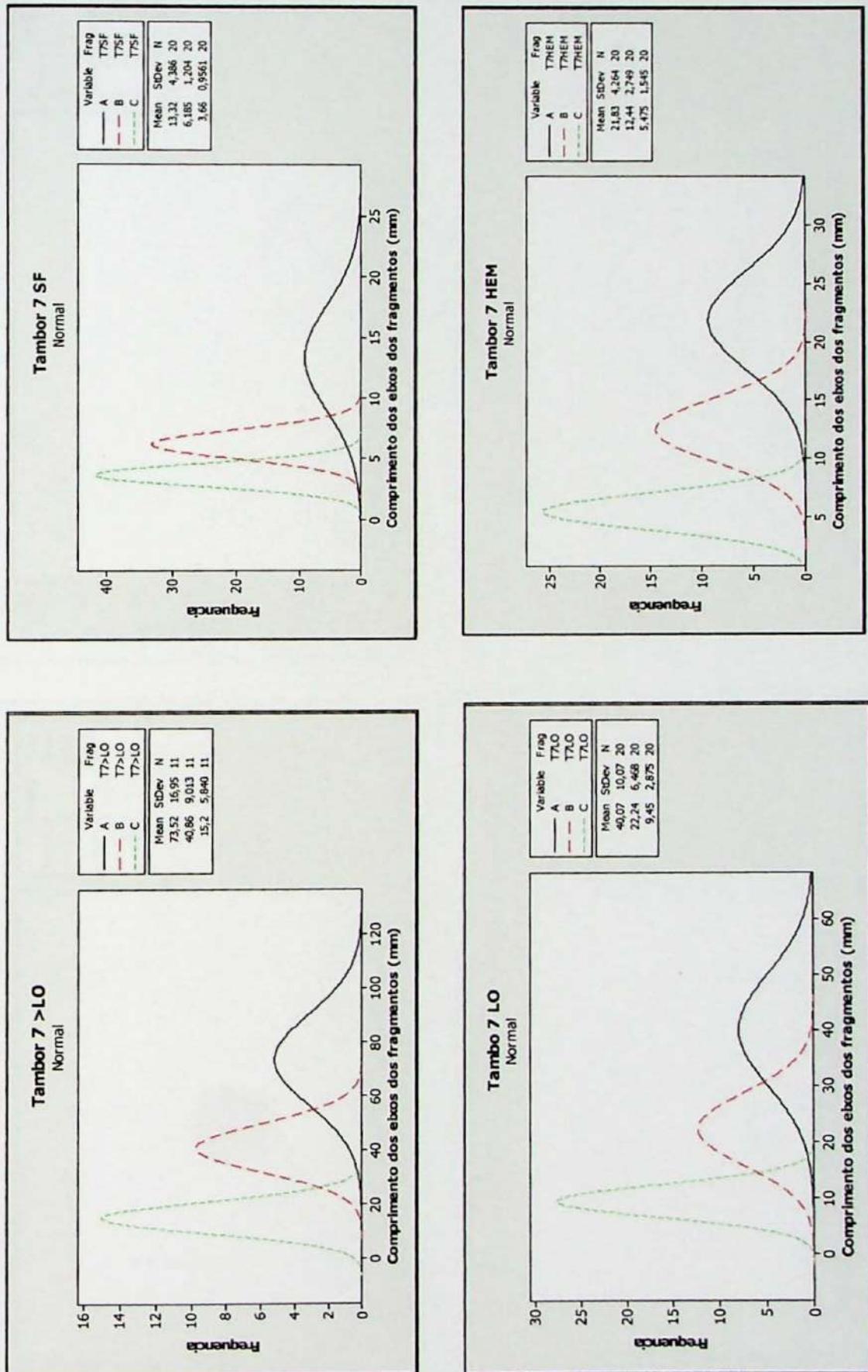
Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos



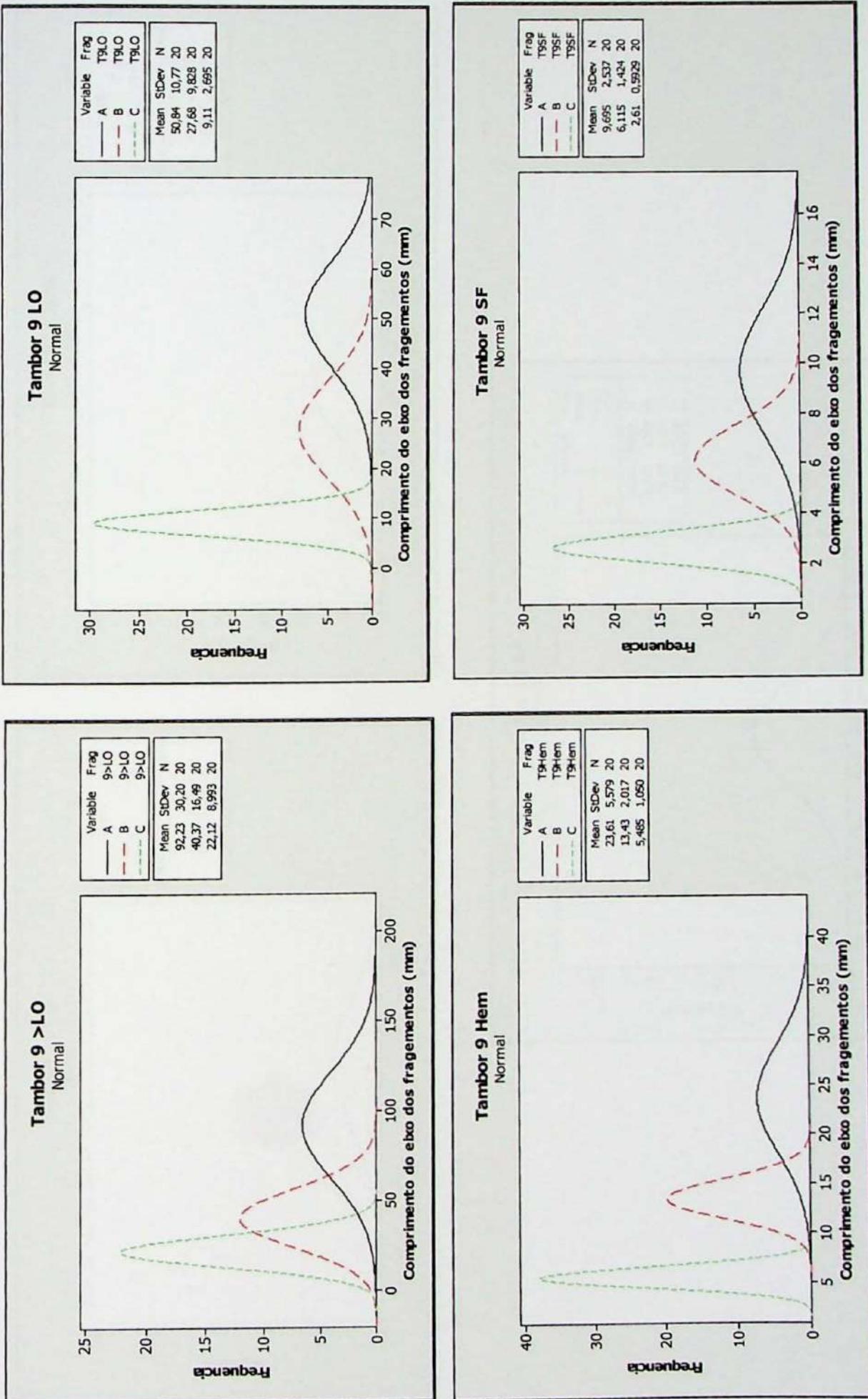
Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos



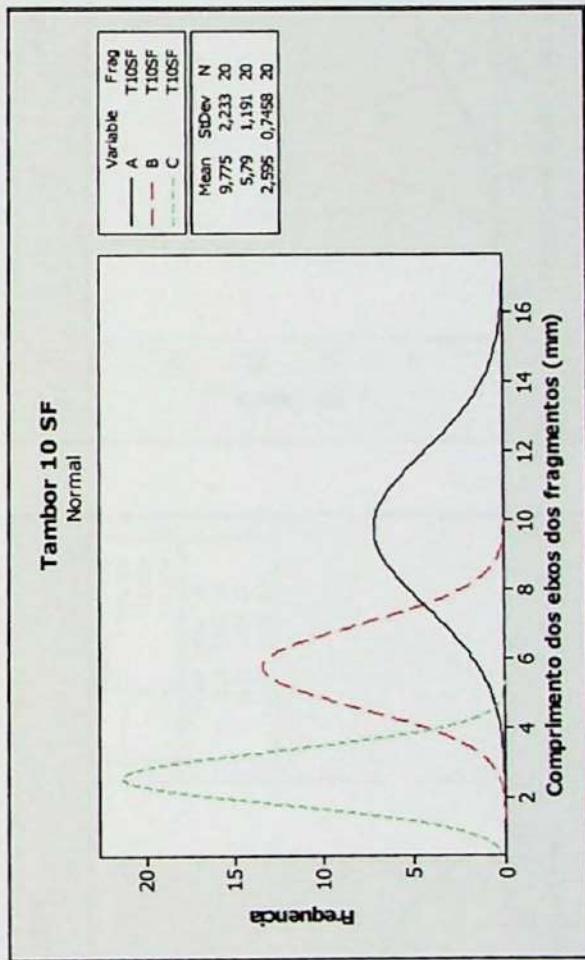
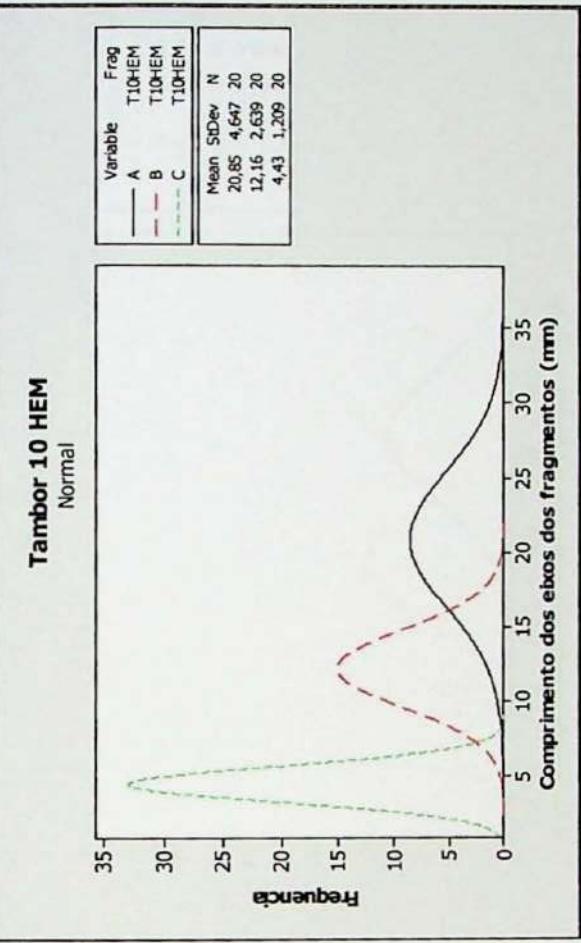
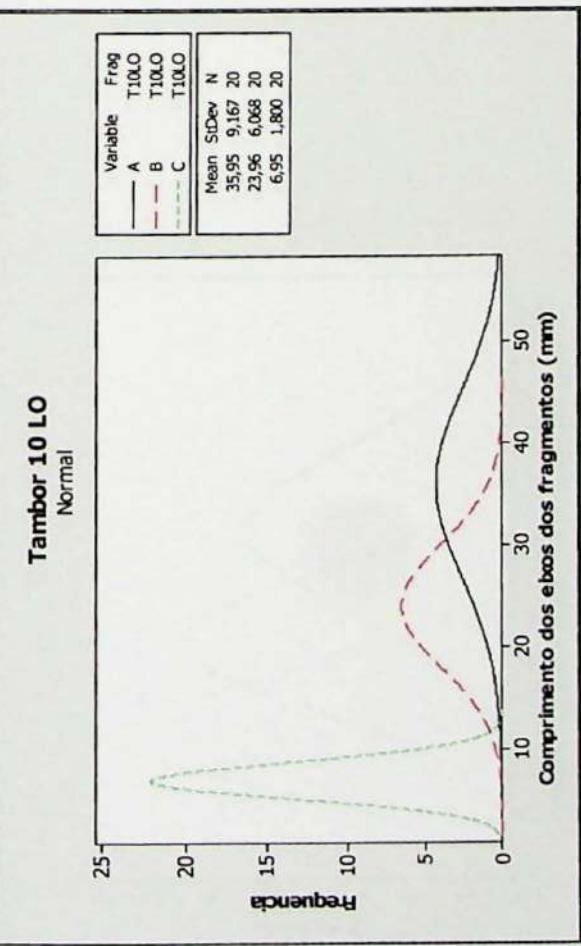
Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos



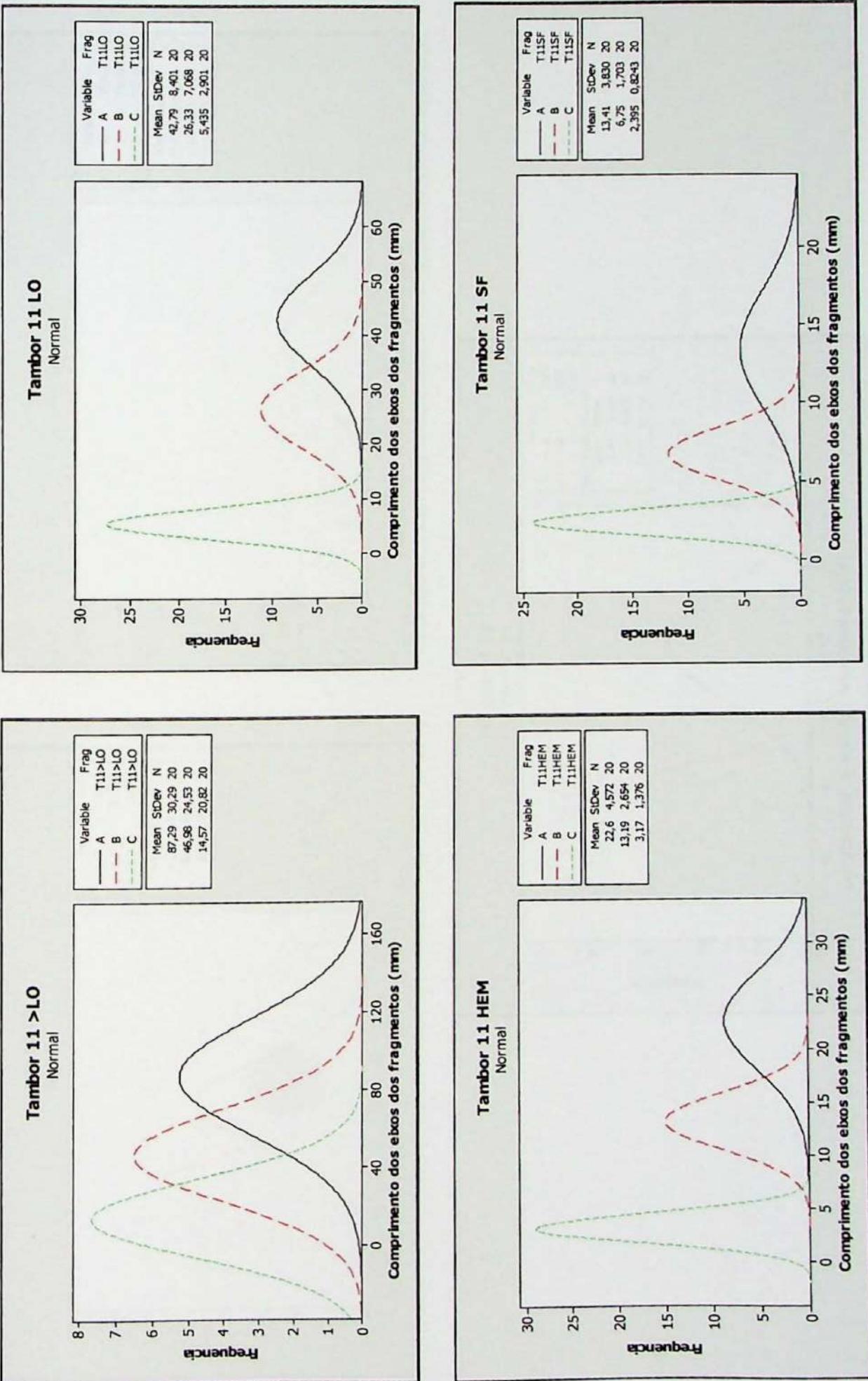
Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos



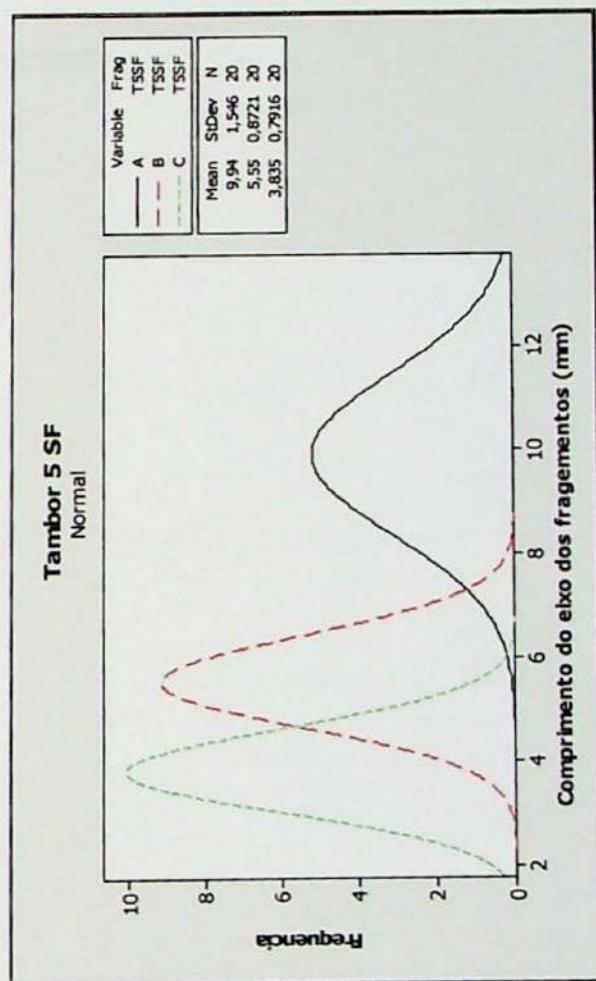
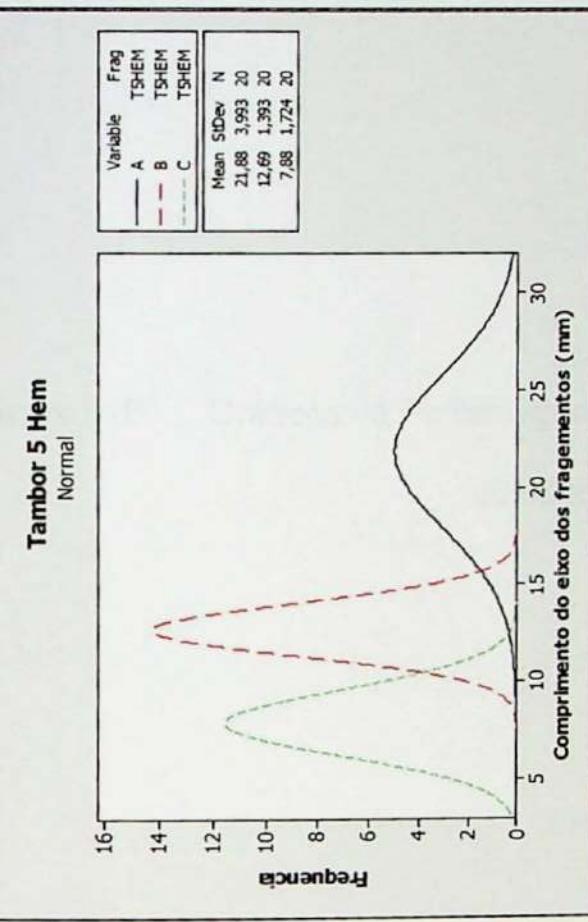
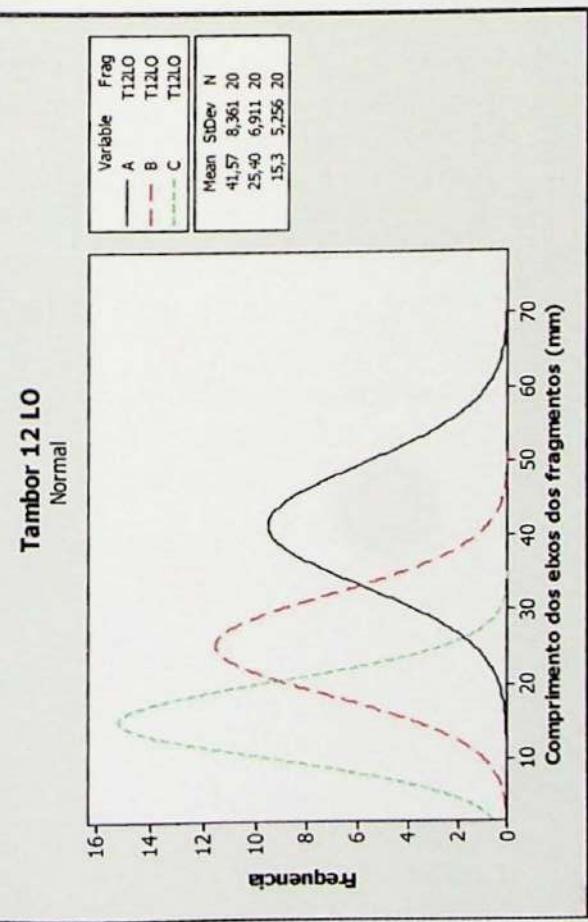
Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos



Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos

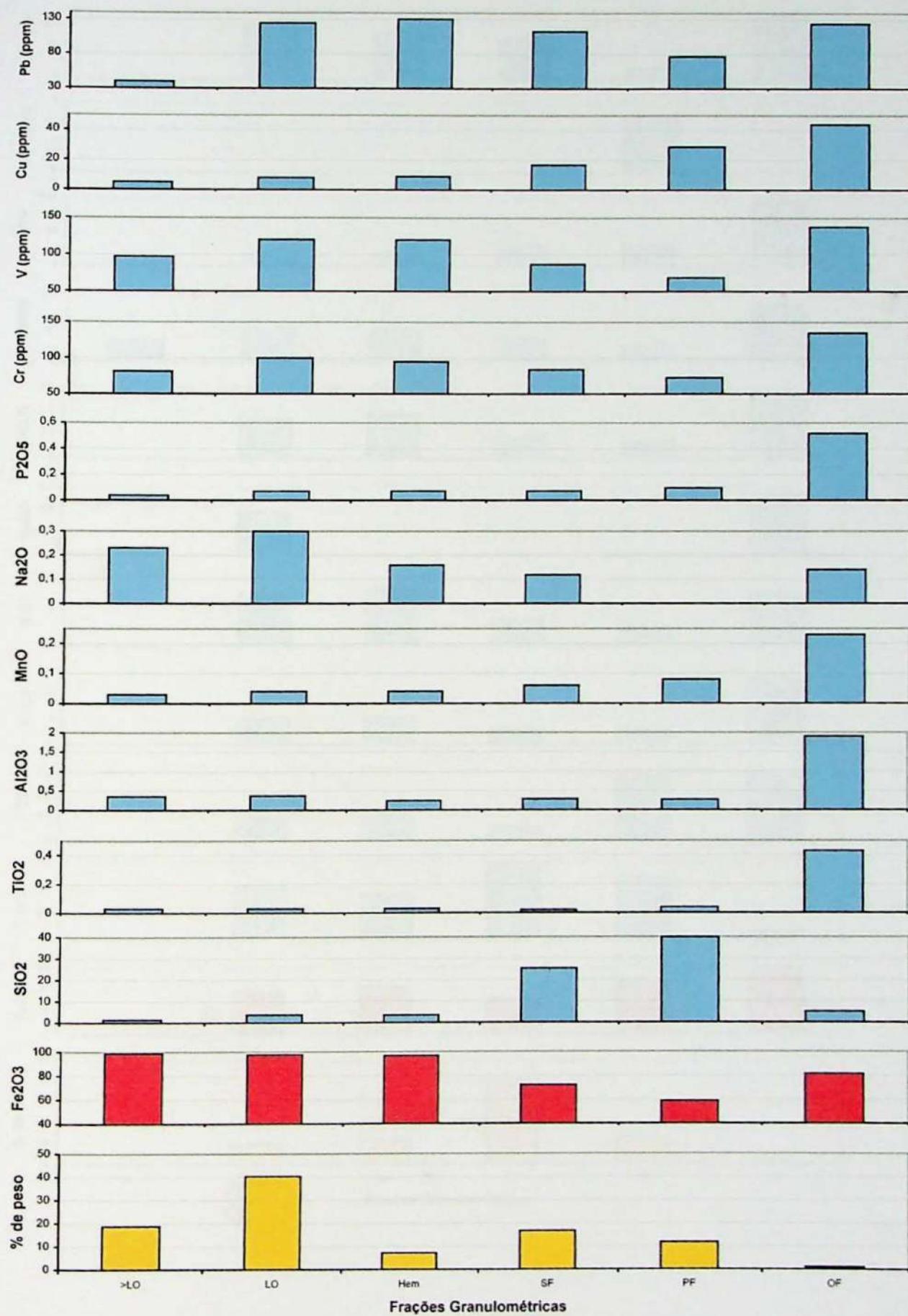


Análise Granulométrica - Dimensão dos Eixos

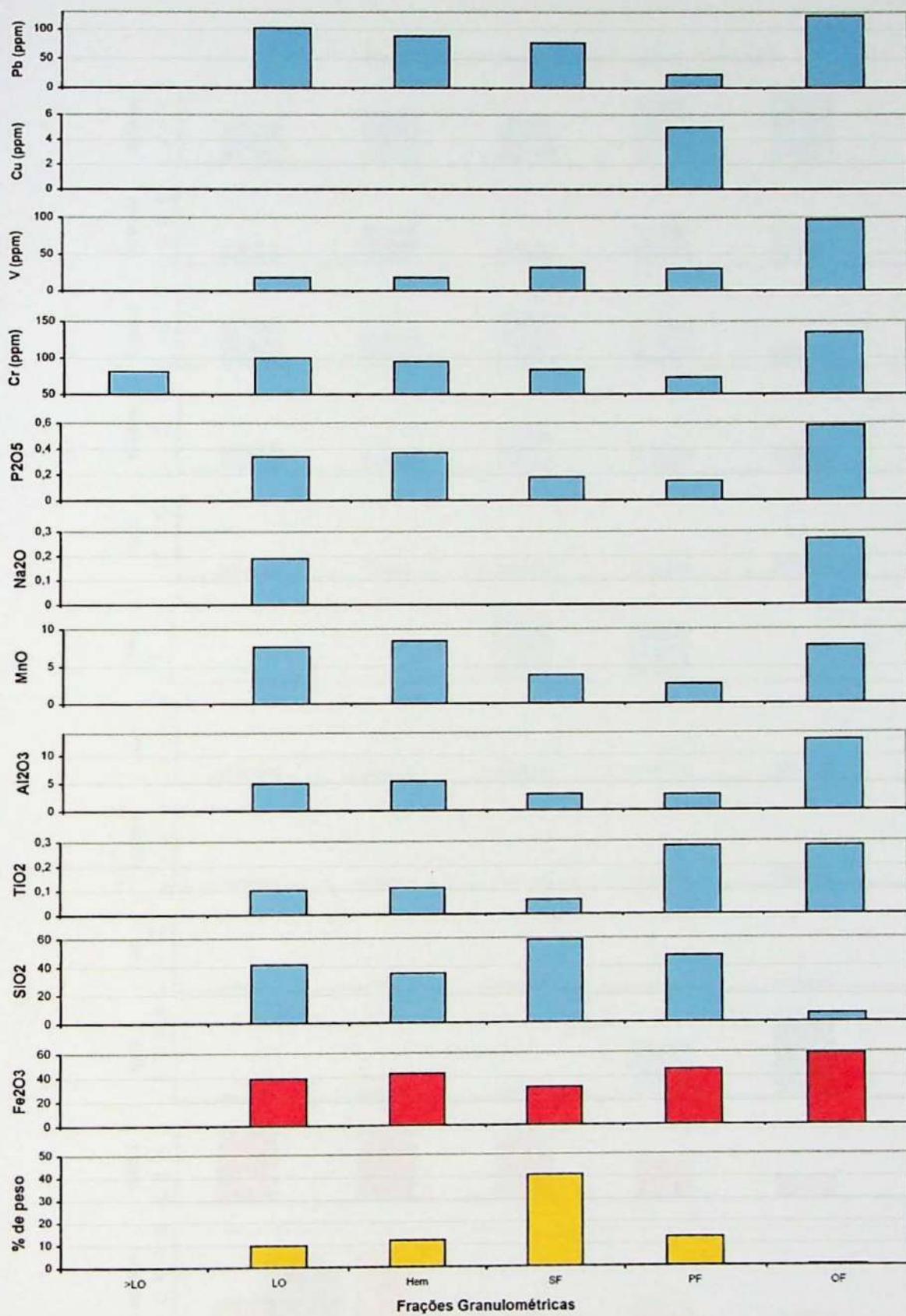


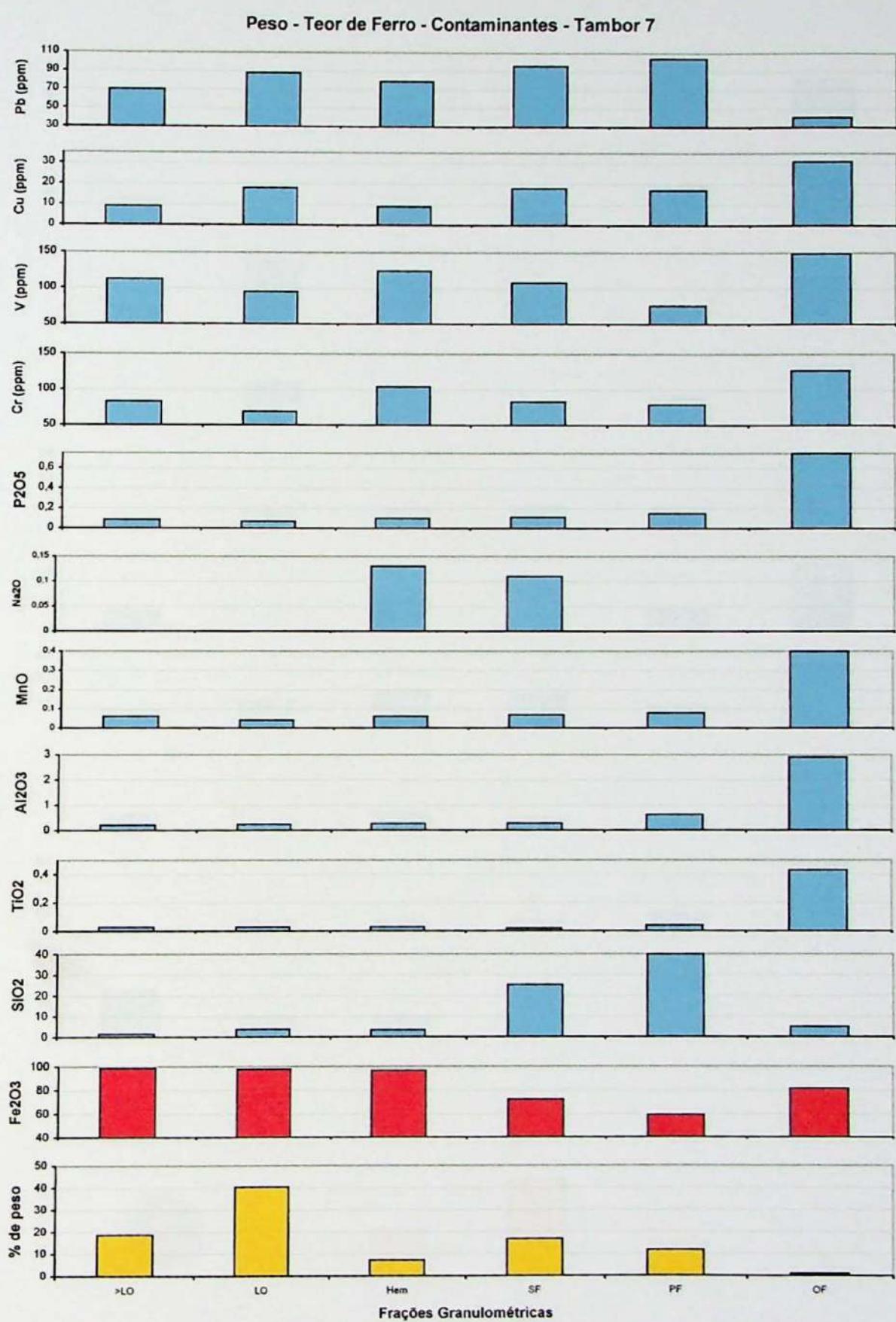
Anexo 16: Gráficos da Porcentagem em Peso por Fração, do Teor de Ferro e
dos Contaminantes

Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 1

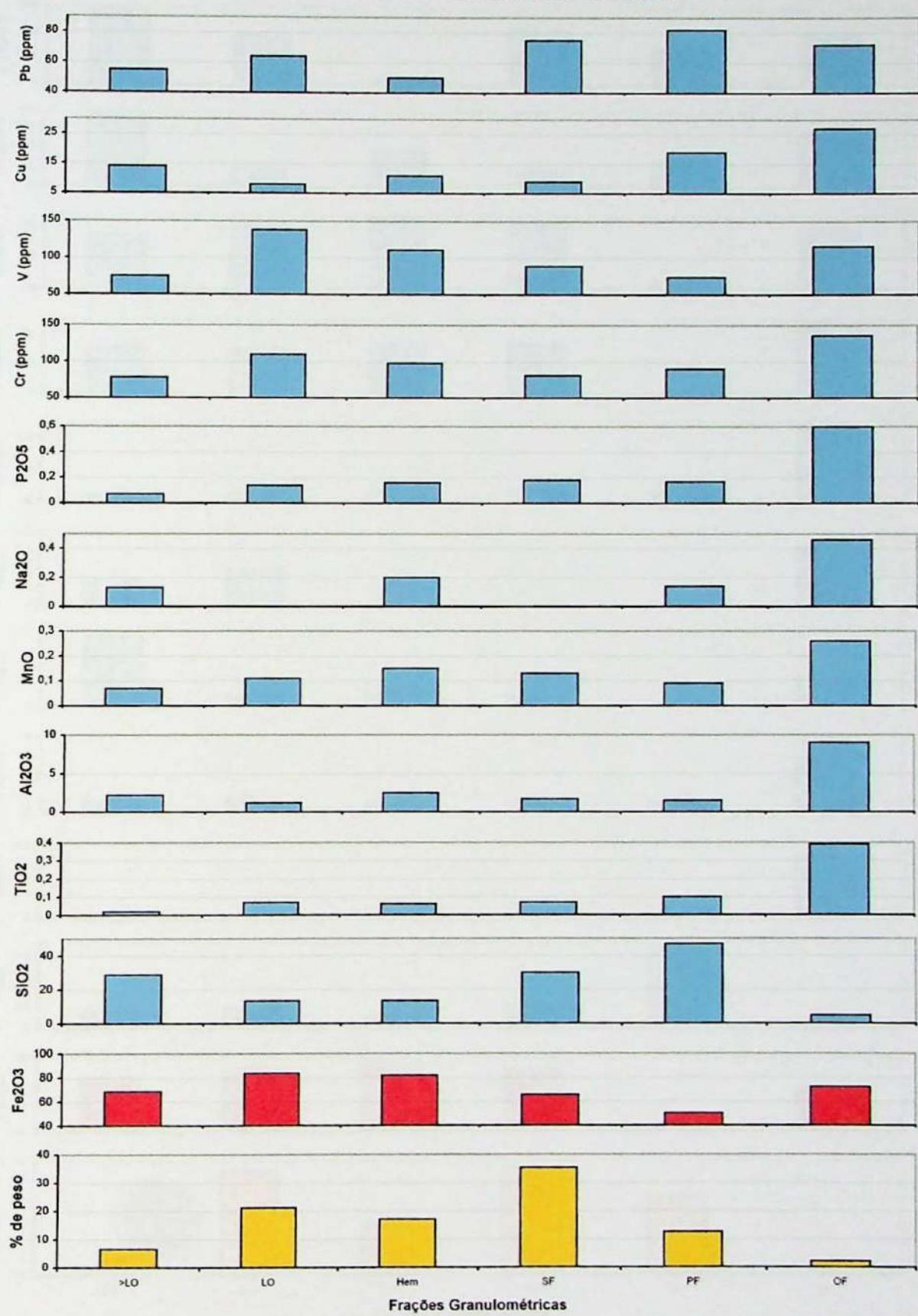


Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 5

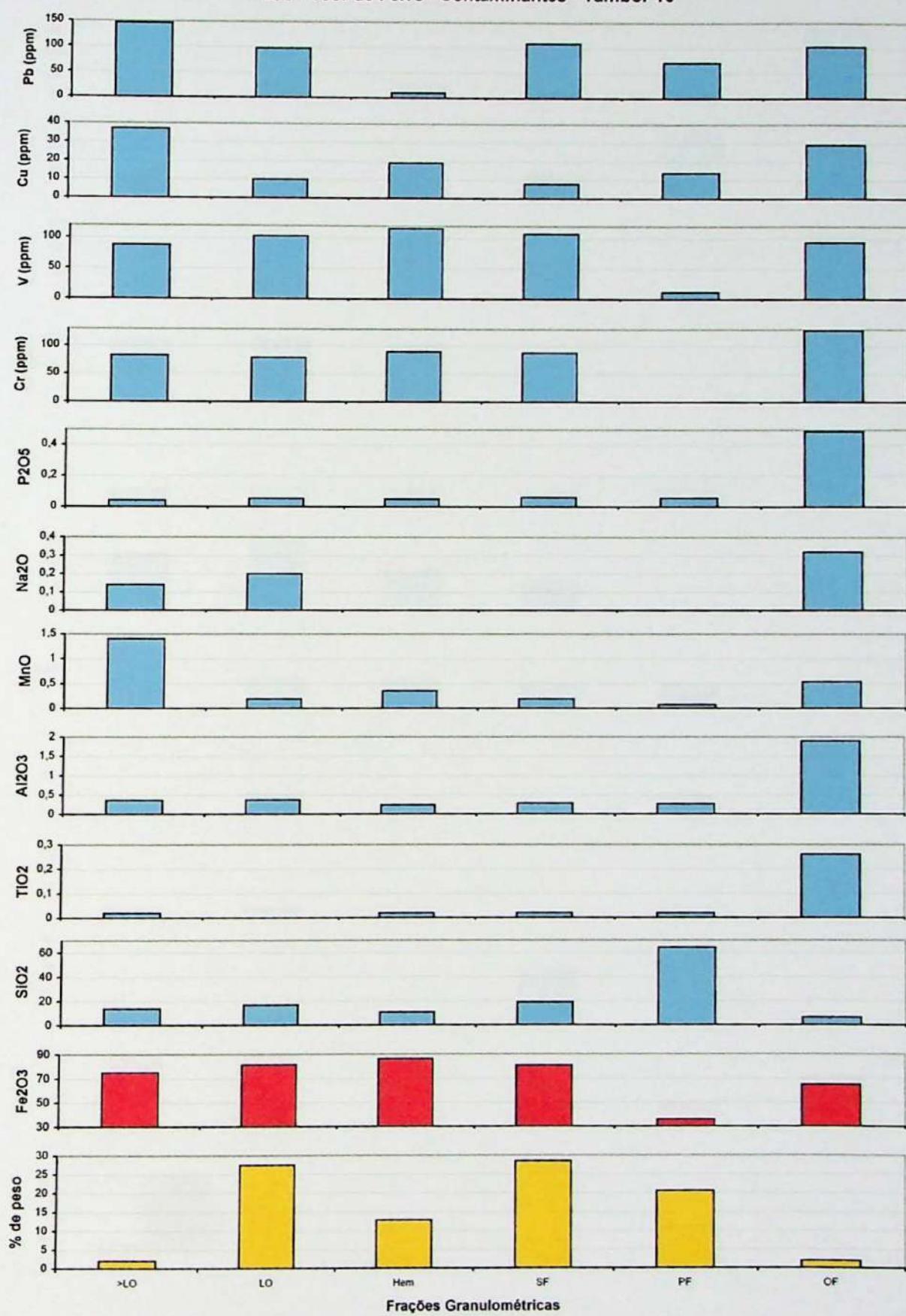




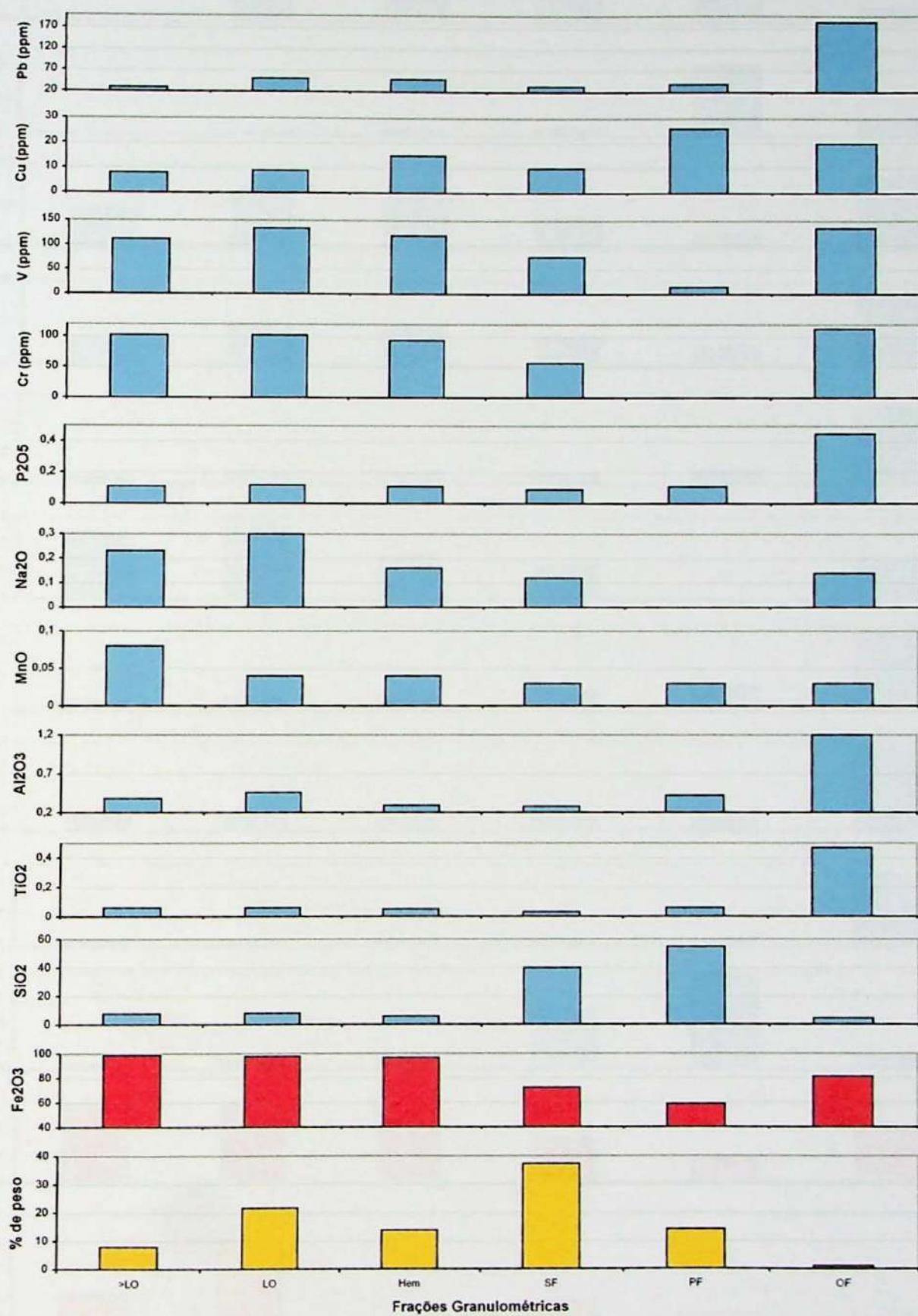
Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 9



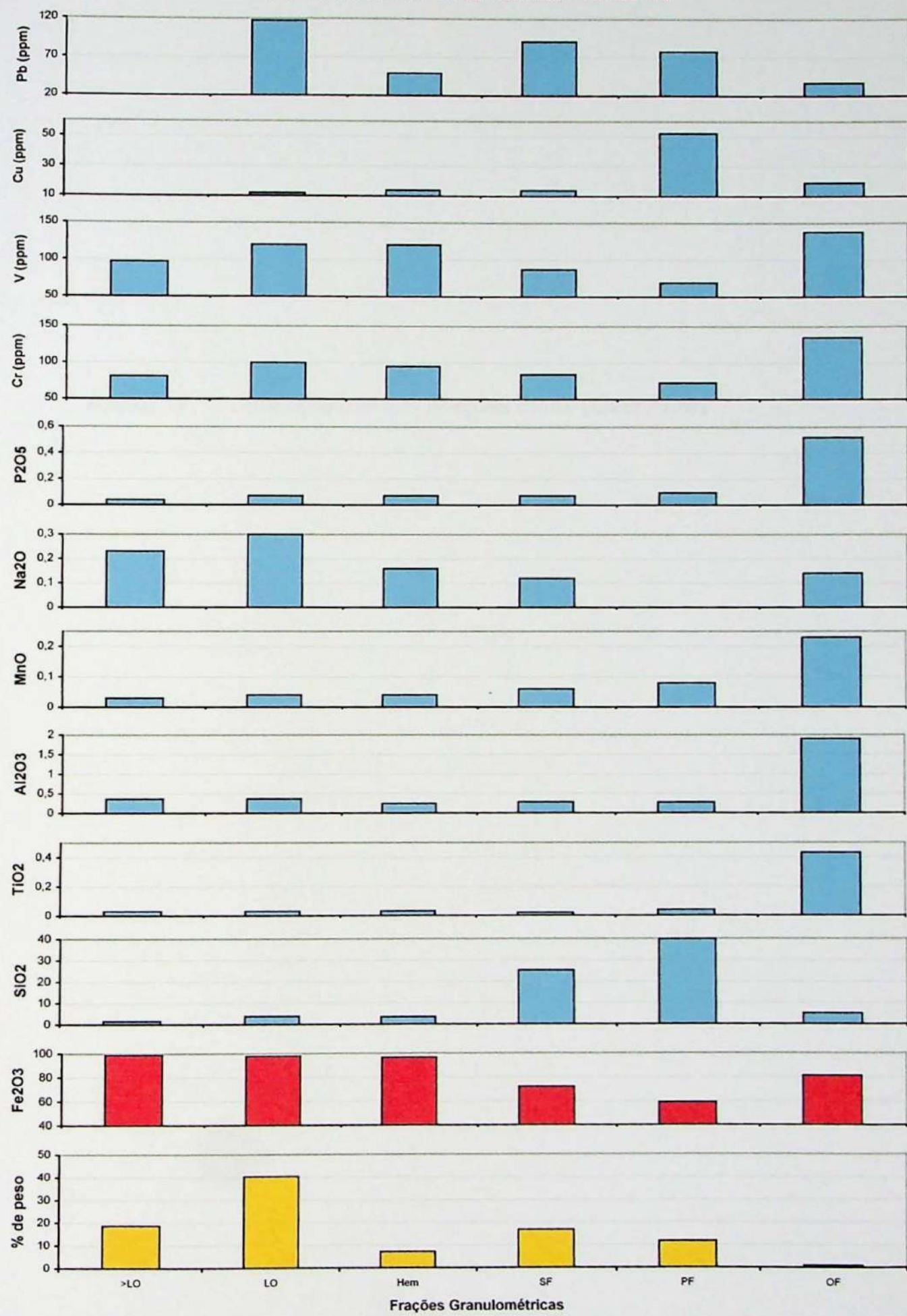
Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 10



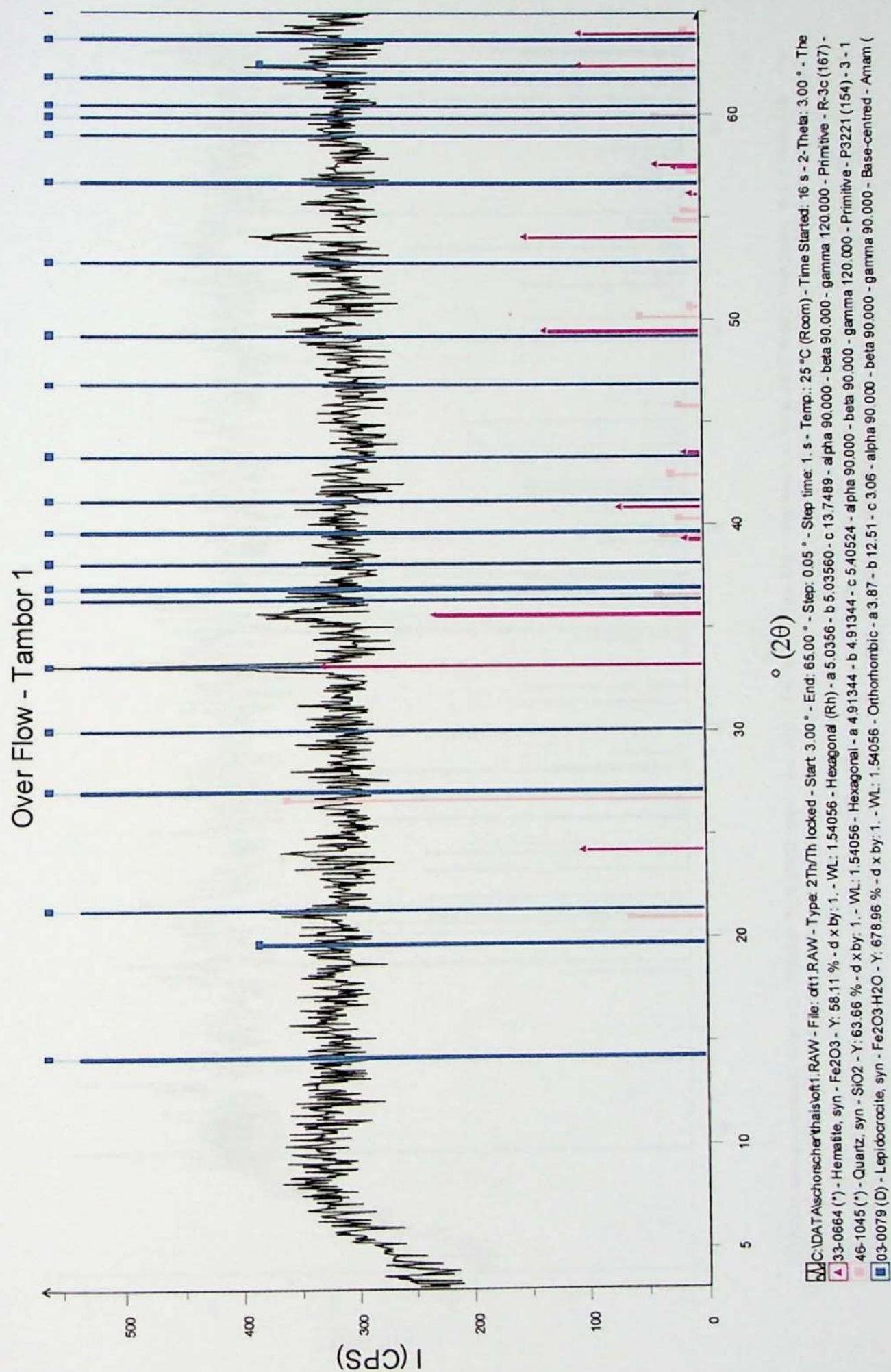
Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 11

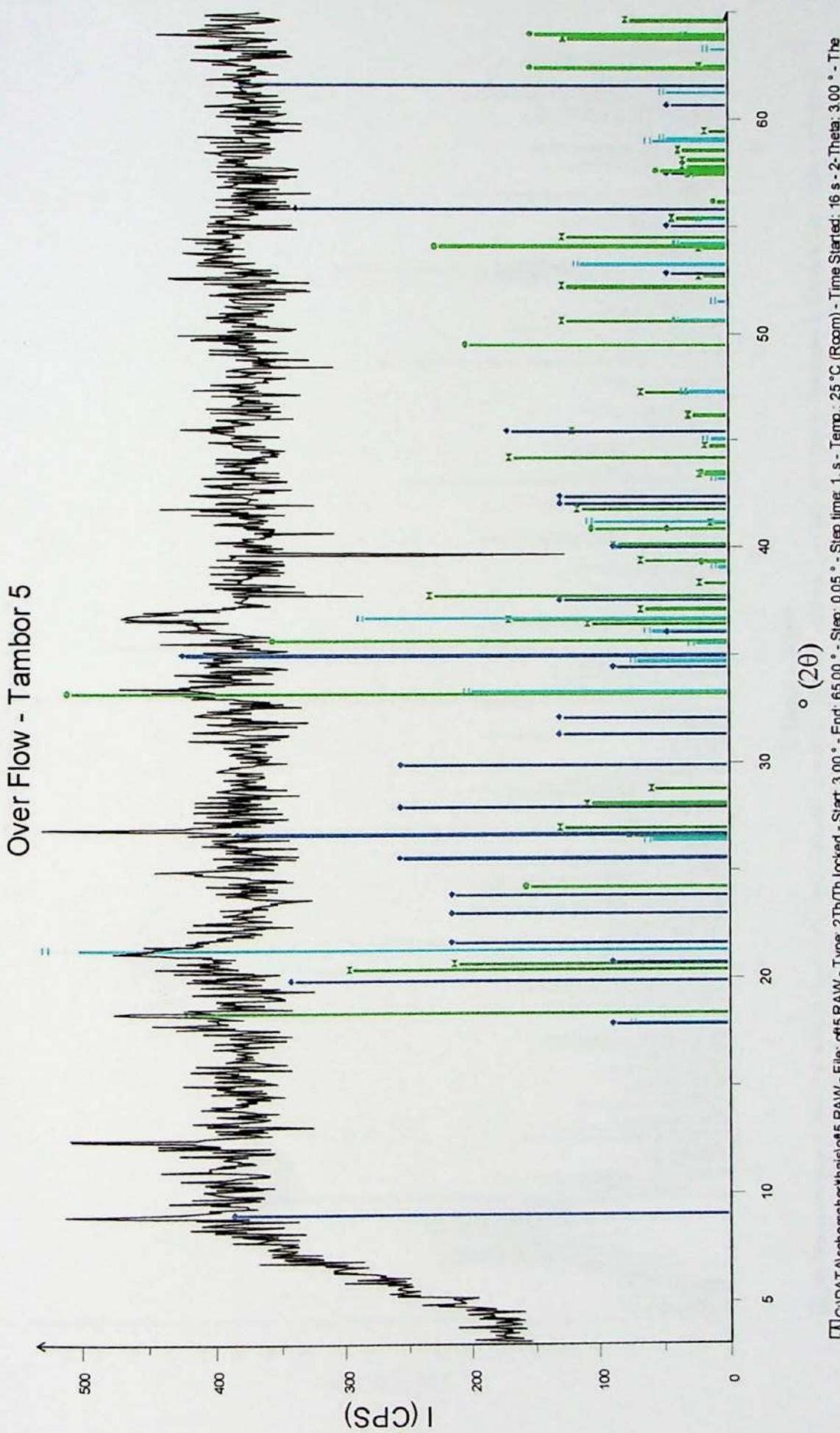


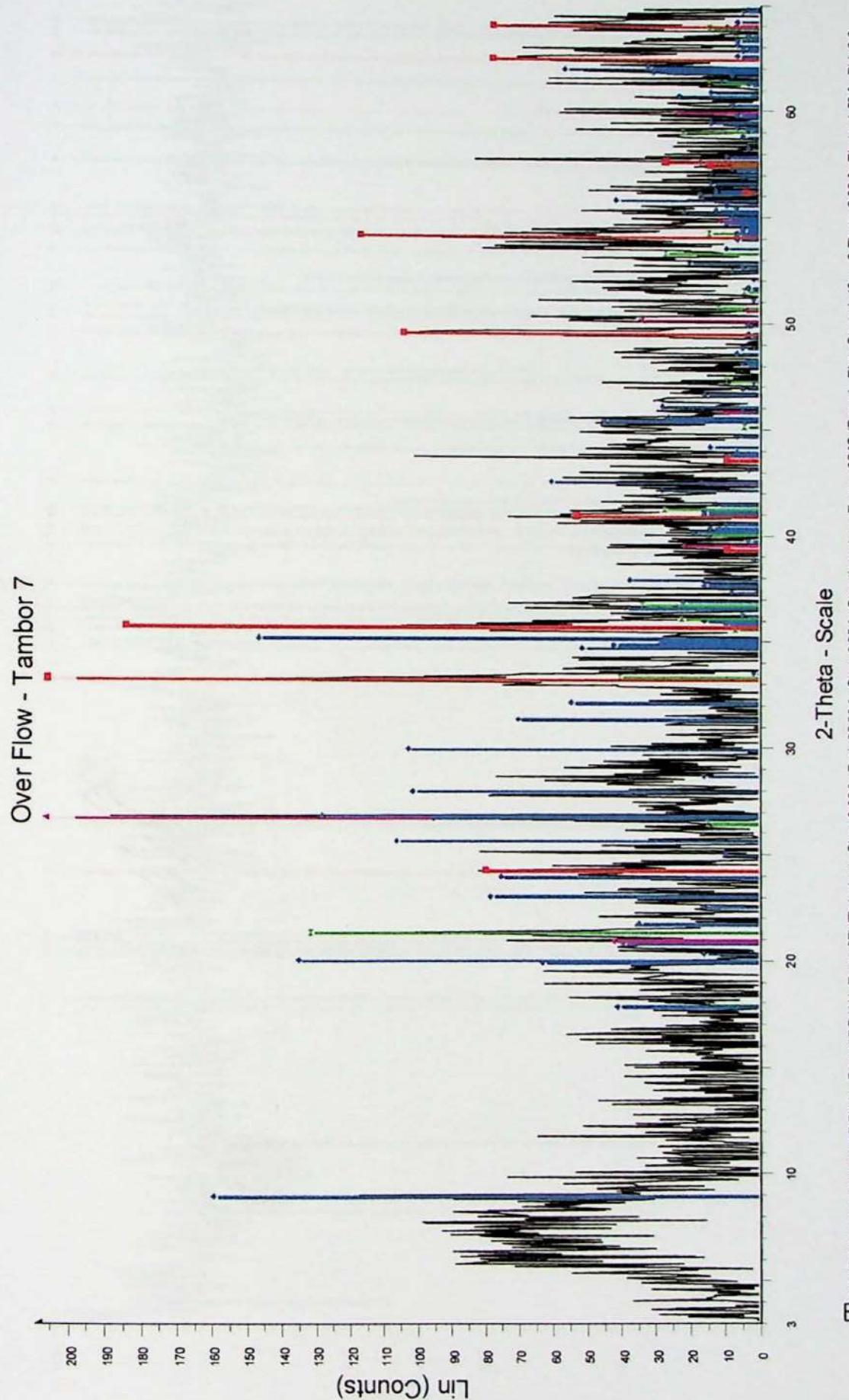
Peso - Teor de Ferro - Contaminantes - Tambor 12



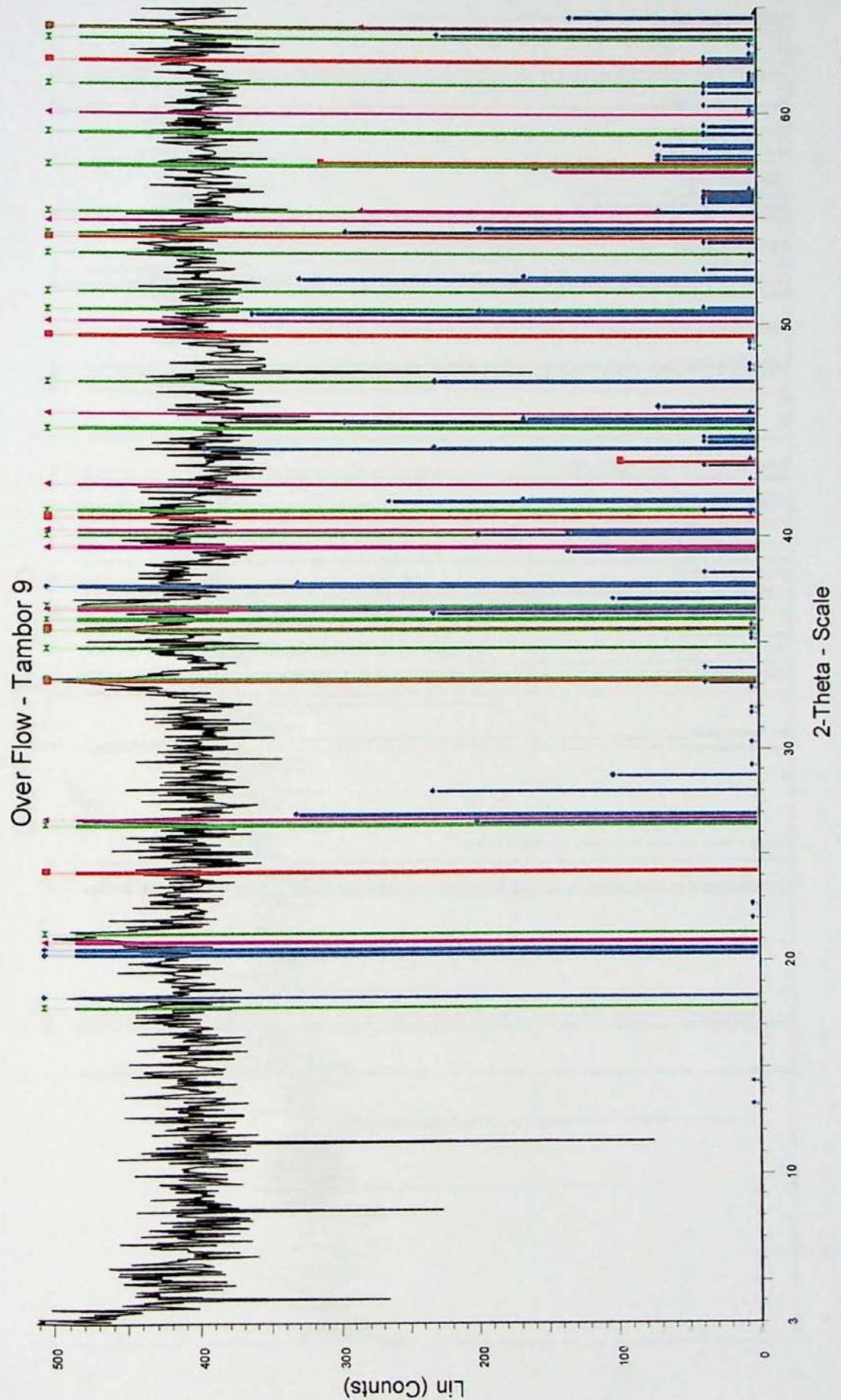
Anexo 17: Difratogramas das Frações Finas (*Over Flow*)

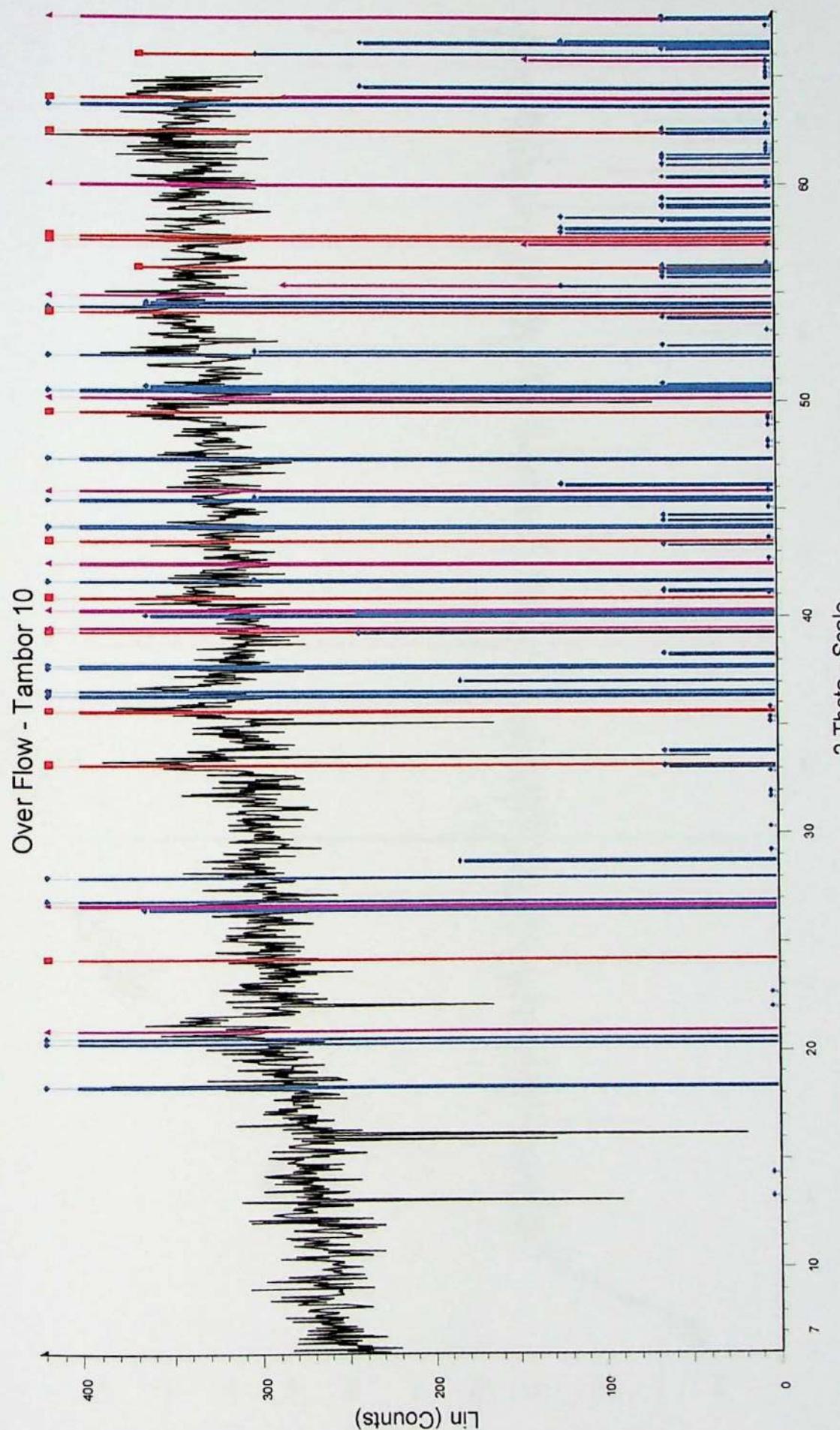




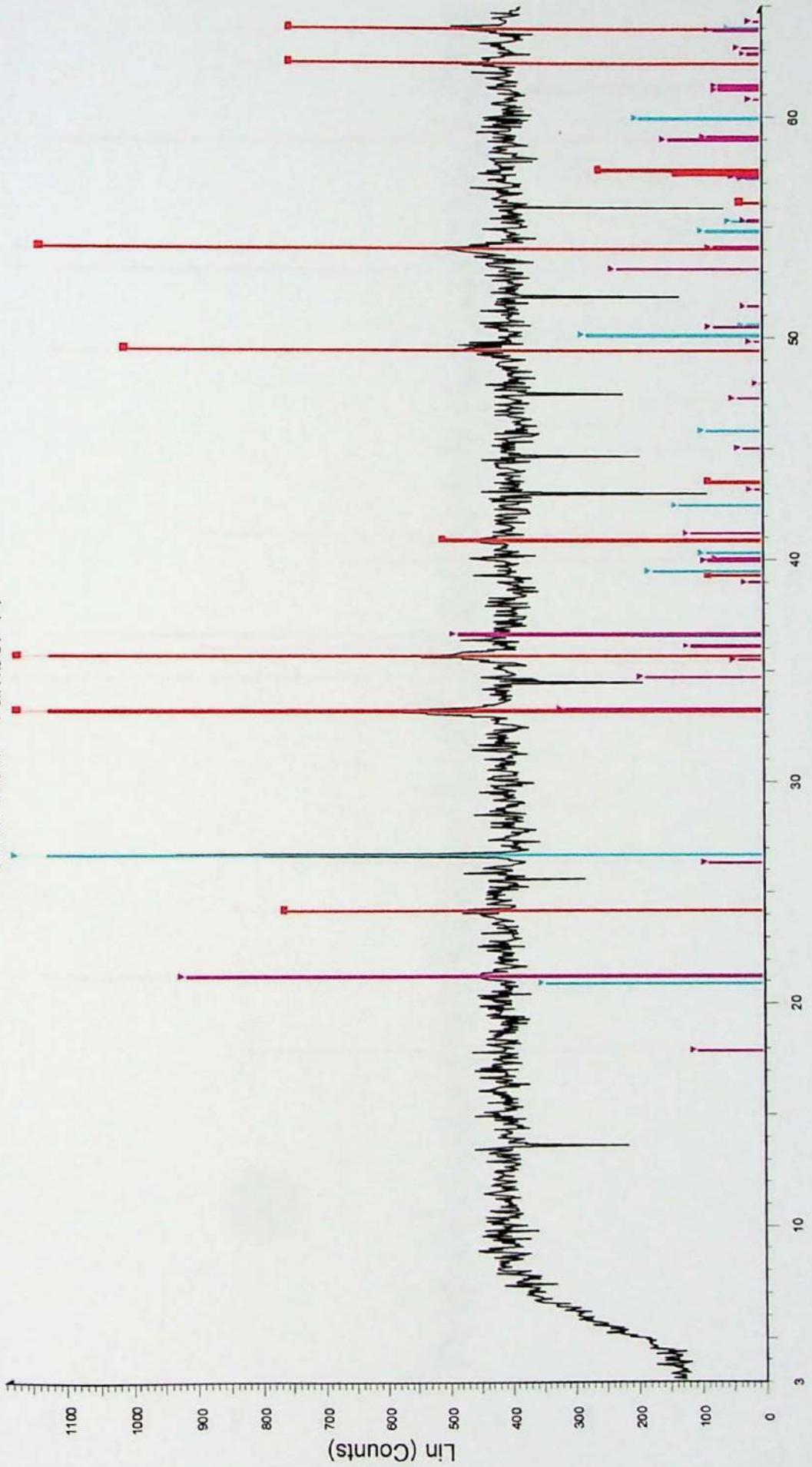


W:\C\DATA\Achorschartnais7.RAW - File: d17.RAW - Type: 27h/locked - Start 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step 0.05 ° - Step time: 1 s - Temp.: 25°C (Room) - Time Started: 16:52 - 2-Theta: 300 ° - Theta: 1.50 ° - Phi: 0.0 °
Operations: Background 1.202,1000 (Background 1.202,1,000) Import
■ 33-0654 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 139.38 % - d by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rt) - a 5.0356 - b 5.03560 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
■ 11-0536 (D) - Goethite - Fe3(OH) - Y: 69.33 % - d by 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 4.596 - b 9.957 - c 3.021 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbnm (62) - 4 - 138.248 - Ic PDF 1. - S
■ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 135.79 % - d by 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P-3221 (154) - 3 - 113.010 - Ic PDF
■ 86-1386 (C) - Muscovite 2M1 - K0.94Al1.86(Al0.96Si2.85O10)(OH)1.744FO2.26I - Y: 83.63 % - d by 1. - WL: 1.54056 - Monolithic - a 5.18050 - b 8.99400 - c 20.08600 - alpha 90.000 - beta 95.740 - gamma 90.000 -

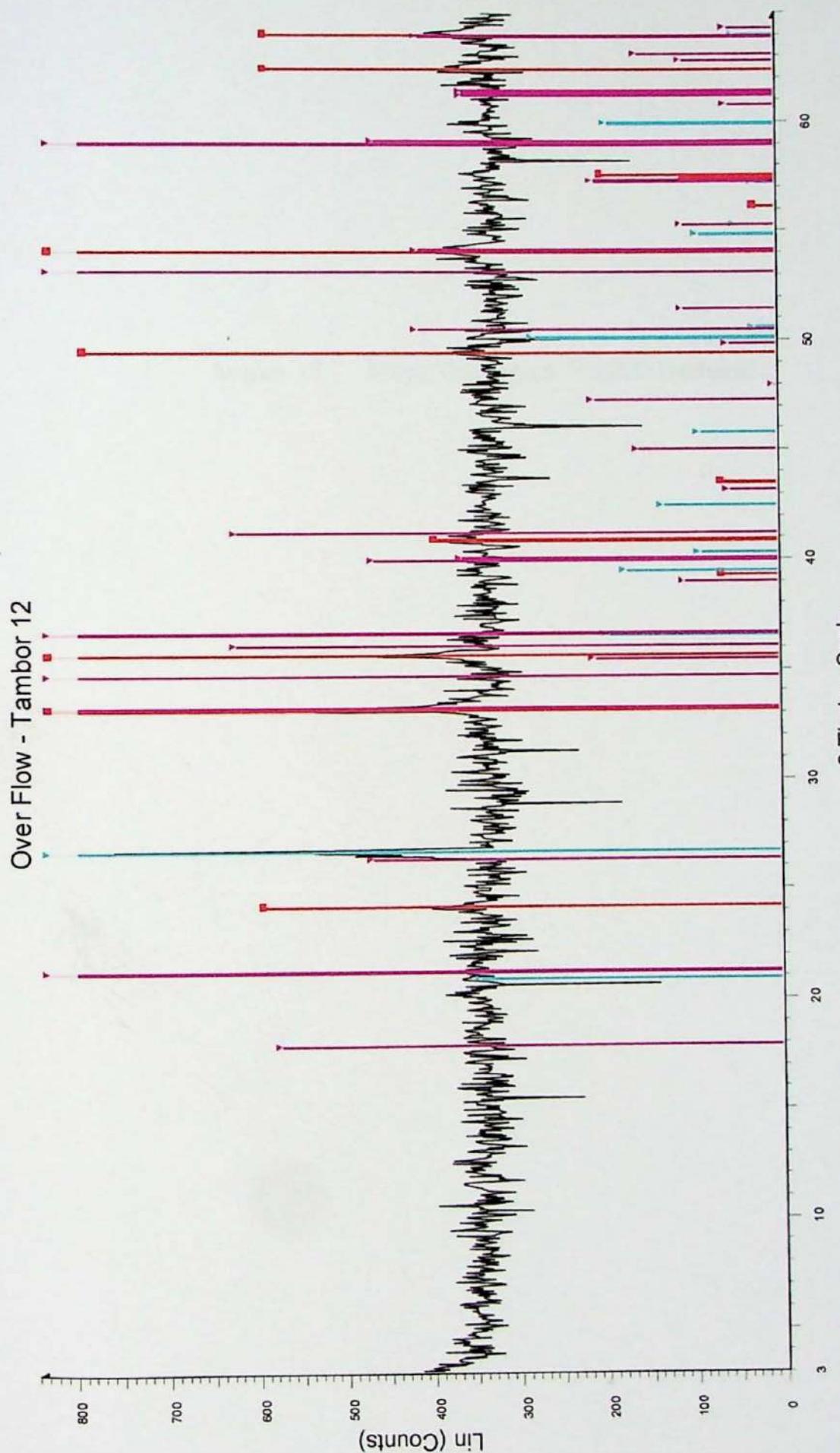




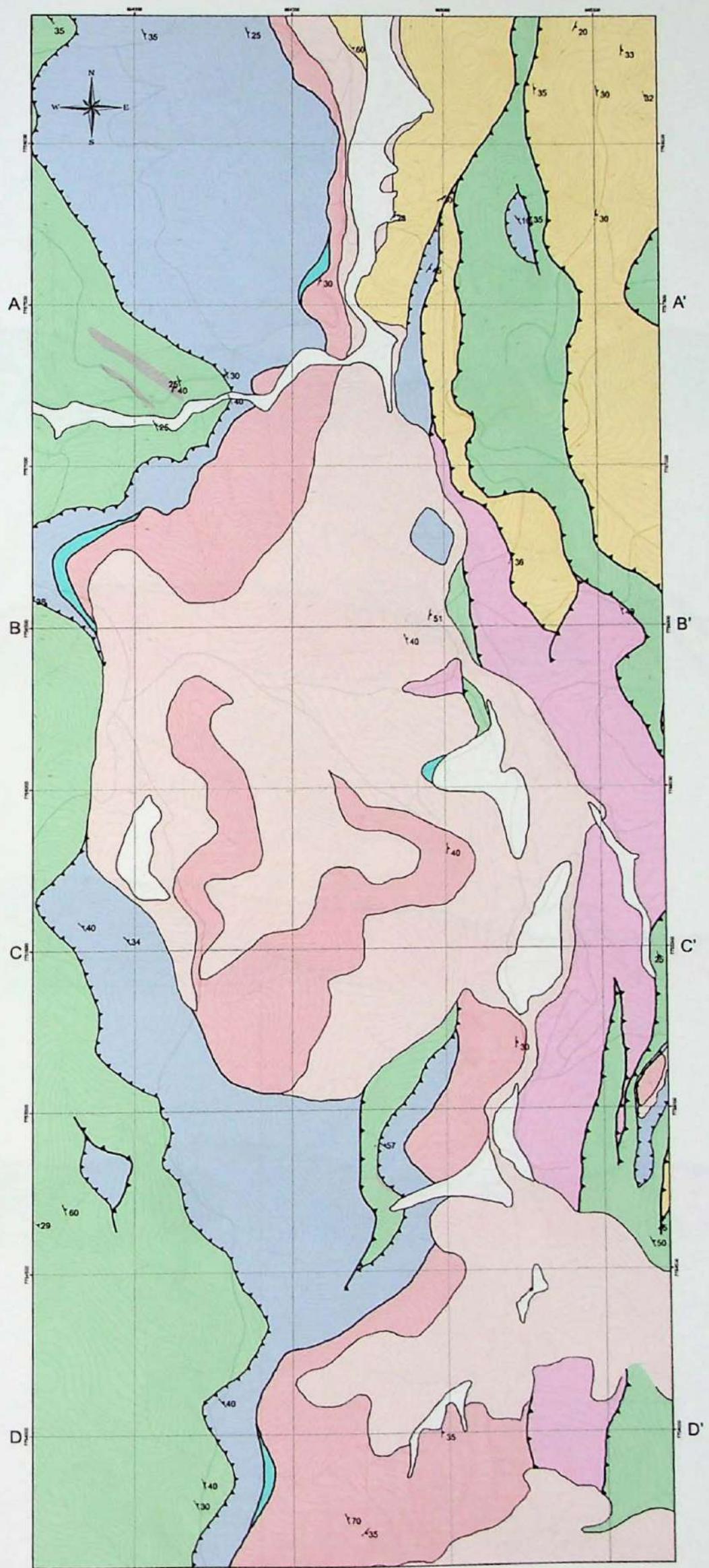
Over Flow - Tambor 11

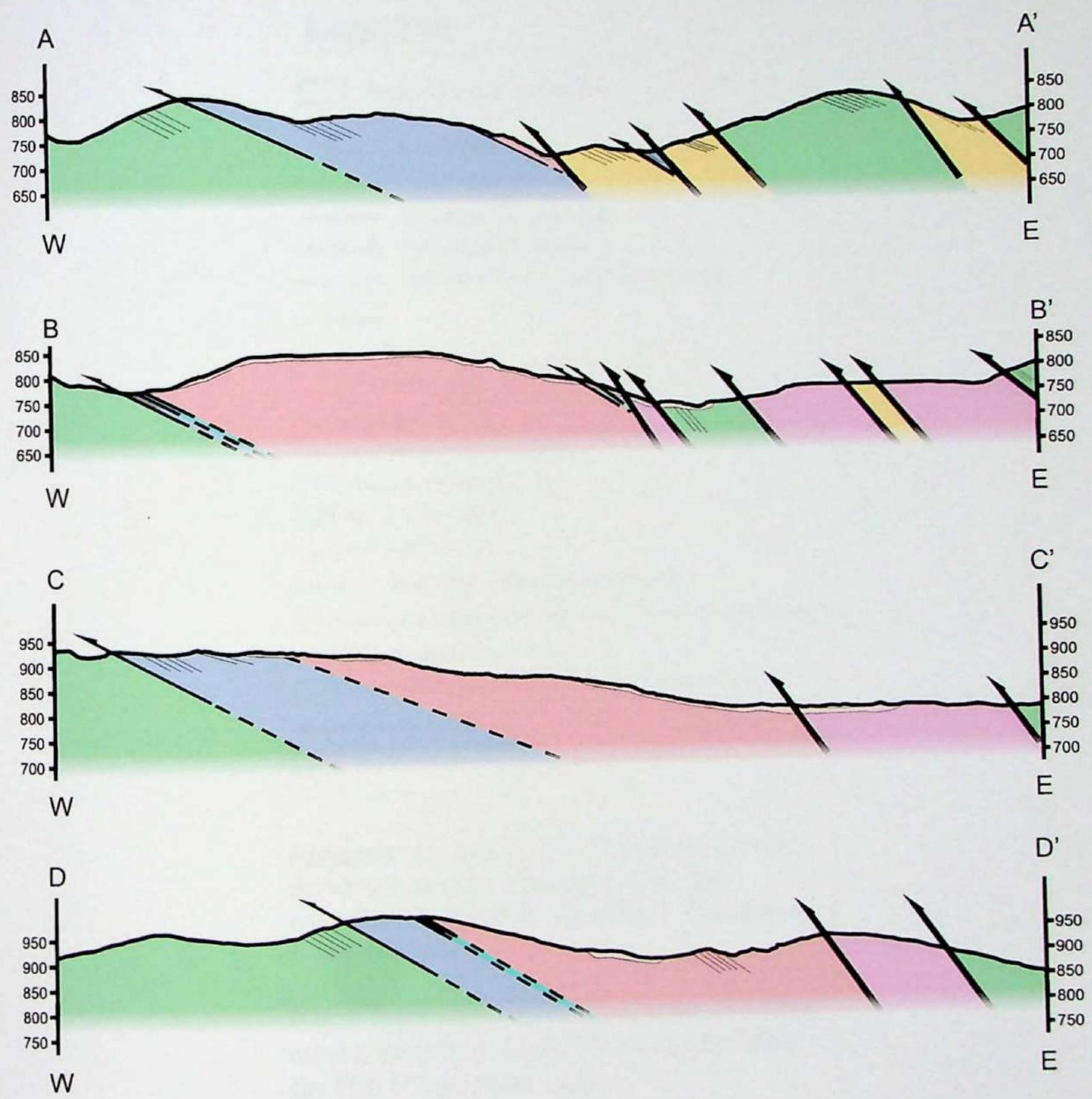


NCI-DATAaachse\thaist\ott11.RAW - File: ott11.RAW - Type: 2Th/m locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00 ° - Theta: 1.50 ° - Phi: 0
Operations Import
33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 235.65 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.7489 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - primitive - R-3c (167) - 6 - 301.926 - I/c
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 199.08 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - primitive - P3221 (154) - 3 - 113.010 - Ic PDF
81-0462 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 85.42 % - d xby: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 4.61880 - b 8.95280 - c 3.02360 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - primitive - Pbnm (62) - 4 - 138.995 - Ic



Anexo 18: Mapa Geológico 1:5.000 Reduzido





Mapa Geológico de Detalhe da Área da Fazenda Gualaxo

Legenda

- Polígono da área da Fazenda Gualaxo
- 30 Foliação (Sn)
- Contato sedimentar
- Contato sedimentar tectonizado
- Falha inversa de alto ângulo
- Falha inversa de baixo ângulo (contato de nappe)

Cenozóico

- Aluvião
- Cobertura de canga

Precambriano

Supergrupo Minas (Paleoproterozóico)

- Formação Cercadinho
- Formação Gandarela
- Formação Cauê

Seqüência da Serra da Boa Vista (Paleoproterozóico)

- Quartzitos, conglomerados, mica xistos com mineralizações de ouro

Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano)

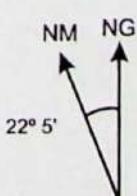
- Grupo Nova Lima; níveis de formação ferrífera bandada (BIF)

Rochas Graníticas (Arqueano)

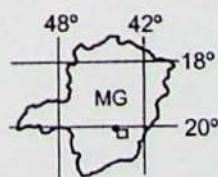
- Milonito gnaisses graníticos *lato sensu*

Autores: G. Rossi; T.N. Battestin; J.H.D. Schorscher com a colaboração dos estagiários: E.S.T.B. do Valle T. Piacentini e M.A. Batoni.

Mapa elaborado em colaboração científica com a empresa MVRP Mineração Vale do Rio Piracicaba Ltda.



A declinação magnética
cresce 5' anualmente



Situação da área no
estado de Minas Gerais

Anexo 1: Mapa Geológico 1:25.000

Anexo 2: Mapa de Afloramentos 1:25.000

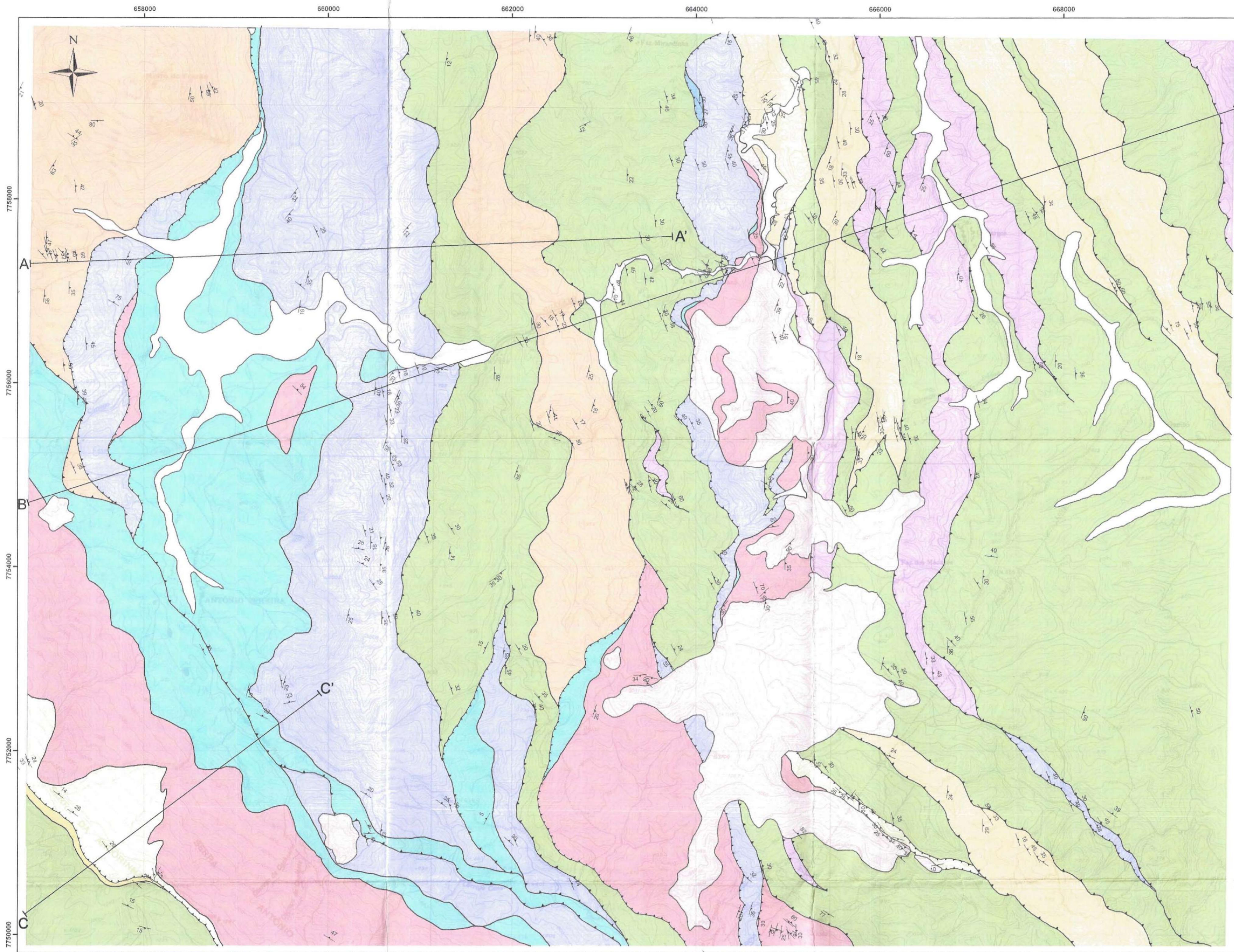
Anexo 3: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Cauê, Afloramento 33

Anexo 4: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Gandarela, Afloramento 386

Anexo 5: Coluna Estratigráfica Detalhada da Fm. Cercadinho, Afloramento 57

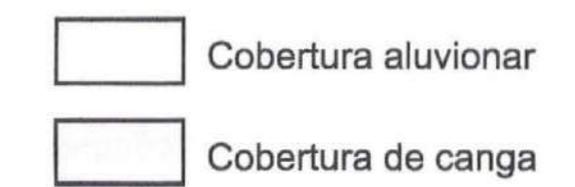


Mapa geológico da parte norte da quadrícula Antônio Pereira, QF, MG



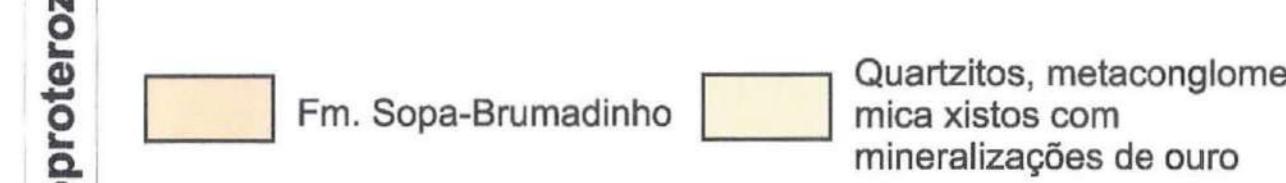
Legenda

- ← Foliação principal (Sn)
- Contato sedimentar tectonizado
- - Falha inversa de baixo ângulo (contato de nappe)
- Falha inversa de alto ângulo

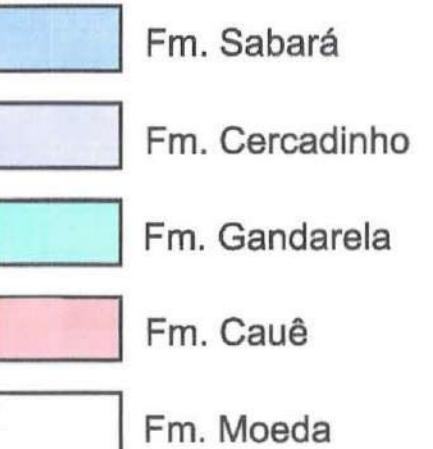


Supergrobo Espinhaço

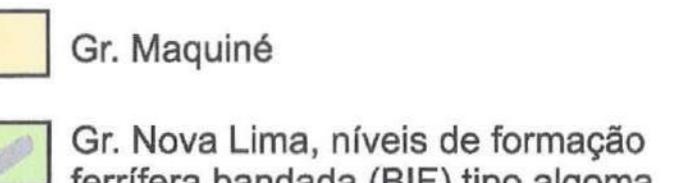
Seqüência da Serra da Boa Vista



Supergrobo Minas



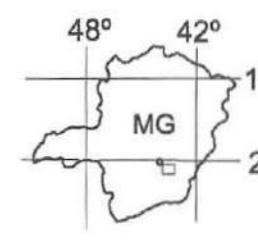
Supergrobo Rio das Velhas



Rochas Graníticas



1:25.000
km
0 1 2



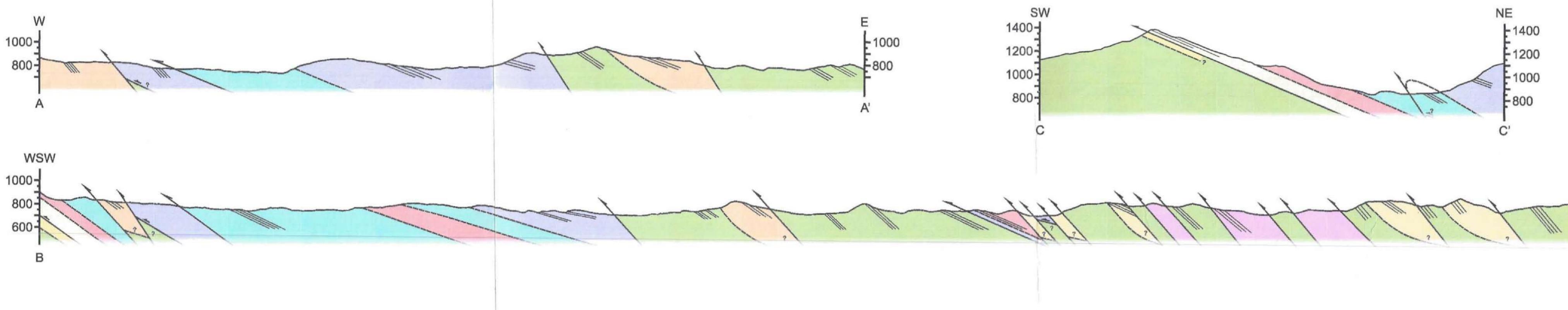
A declinação magnética cresce 5' anualmente

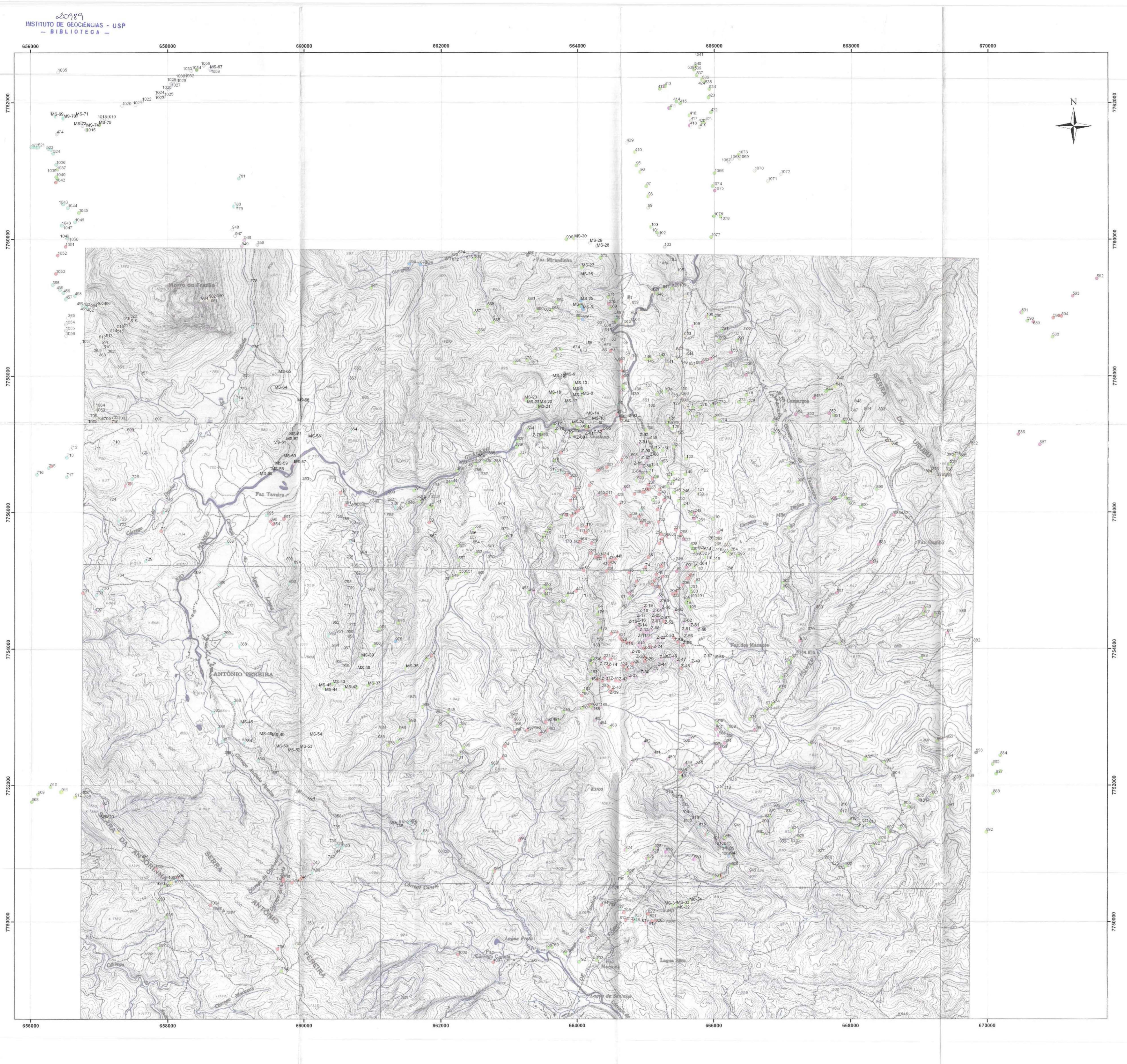
Situação da área no estado de Minas Gerais

Datum: Corrego Alegre

Autores: G. Rossi; T.N. Battestin; J.H.D. Schorscher com a colaboração dos estagiários: M.A. Batoni, E. Bento, L. Siqueira, T. Hypolito, Y. B. W. Miranda e L. P. Santos.

Mapa elaborado em colaboração científica com a empresa MVRP Mineração Vale do Rio Piracicaba Ltda.





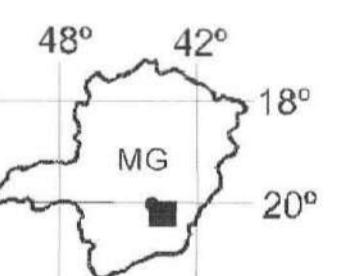
Mapa de afloramientos

1:25.000

KM

Legenda

- Ponto de Controle
 - Contato entre duas litologias
 - Cobertura Aluvionar
 - Cobertura de Canga
 - Fm. Sabara
 - Fm. Cercadinho
 - Fm. Gandarela
 - Fm. Caeue
 - Fm. Batatal
 - Fm. Moeda
 - Seqüência da Serra
da Boa Vista
 - Fm. Sopa Brumadinho
 - Gr. Nova Lima
 - Milonito Gnaisses
 - Graníticos *lato sensu*



A declinação magnética cresce 5' anualmente

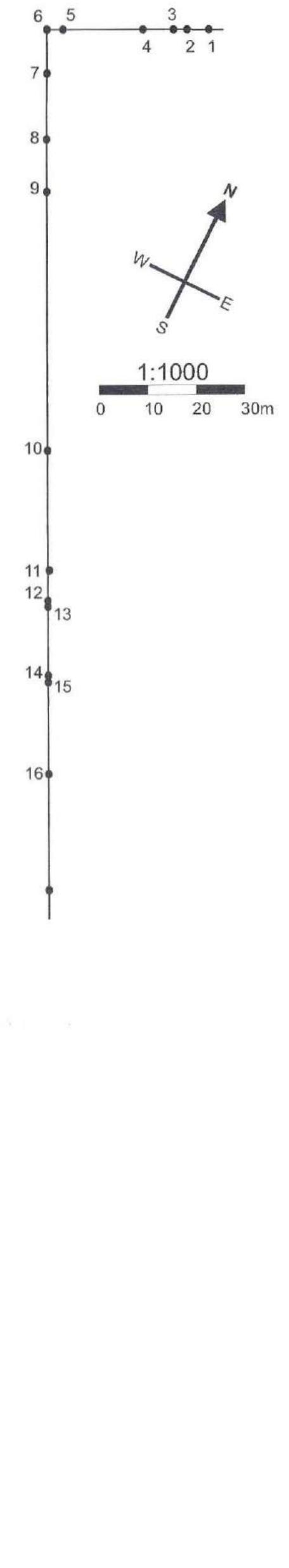
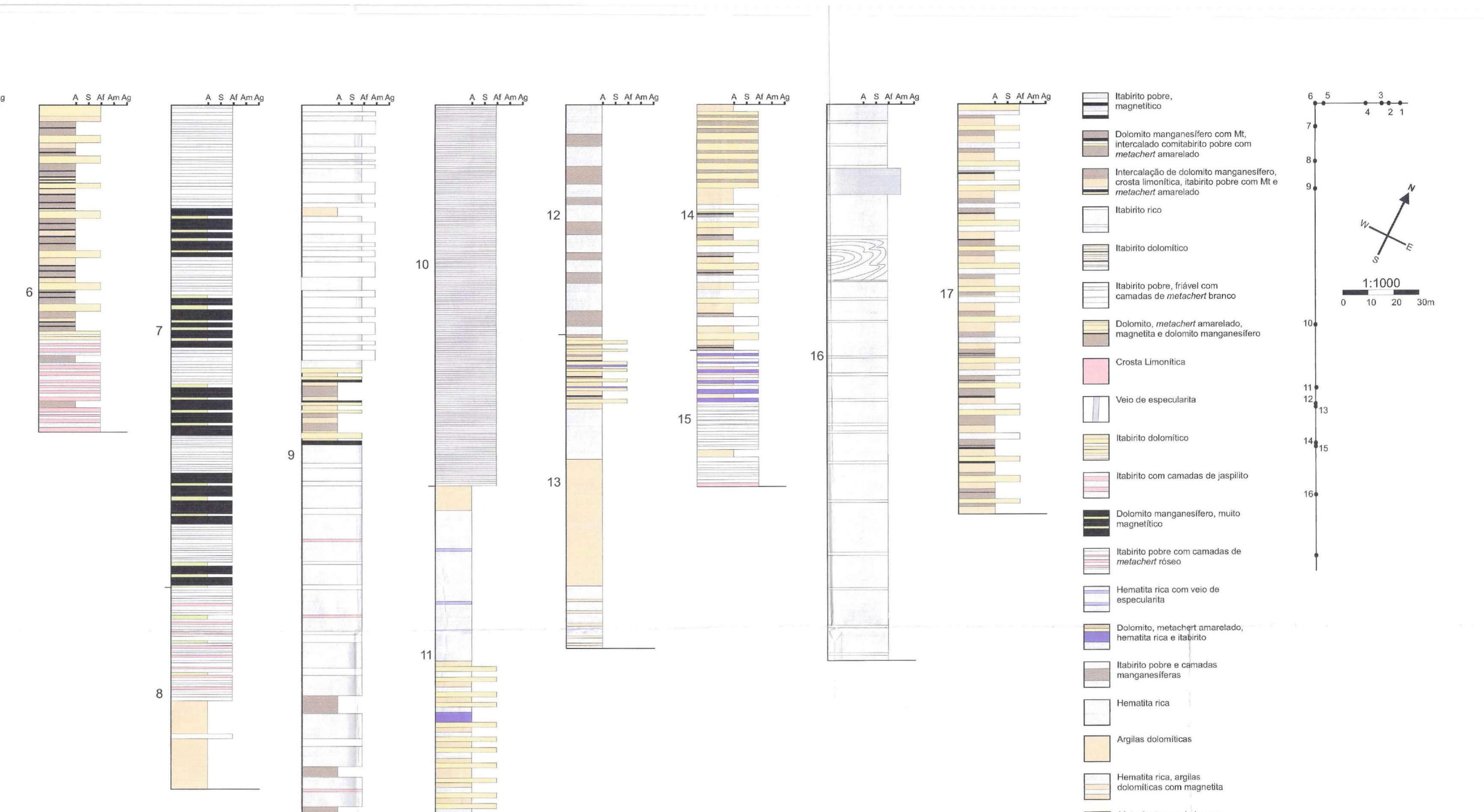
Situação da área no estado de Minas Gerais

Autores: G. Rossi; T.N. Battestin; J.H.D. Schorscher com a colaboração dos estagiários: M.A. Batoni, E. Bento, L. Queiroz, T. Hypolito, Y. B. W. Miranda e L. P. Santos.

apa elaborado em colaboração científica com a empresa VRP Mineração Vale do Rio Piracicaba Ltda.

Afloramento 33

1:100
0 100 200 300m



- Itabirito pobre, magnético
- Dolomito manganesífero com Mt, intercalado com itabirito pobre com metachert amarelo
- Intercalação de dolomito manganesífero, crosta limonítica, itabirito pobre com Mt e metachert amarelo
- Itabirito rico
- Itabirito dolomítico
- Itabirito pobre, friável com camadas de metachert branco
- Dolomito, metachert amarelo, magnetita e dolomito manganesífero
- Crosta Limonítica
- Veio de espesclarita
- Itabirito dolomítico
- Itabirito com camadas de jaspilito
- Dolomito manganesífero, muito magnético
- Itabirito pobre com camadas de metachert roséo
- Hematita rica com veio de espesclarita
- Dolomito, metachert amarelo, hematita rica e itabirito
- Itabirito pobre e camadas manganesíferas
- Hematita rica
- Argilas dolomíticas
- Hematita rica, argilas dolomíticas com magnetita
- Metachert amarelo com itabirito pobre
- Itabirito dolomítico
- Hematita rica com veio de espesclarita, argila dolomítica e itabirito

Afloramento 386

1:20
0 200 400 600m

