

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS HOSPEDADAS
NA FAIXA METAVULCANO-SEDIMENTAR
JACUÍ-BOM JESUS DA PENHA –
SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Jorge Luiz Feola

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Gomes de Carvalho

Tese de Doutorado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geociência –
Área de Concentração em Geologia Regional,
Para a obtenção do Título de Doutor em
Geociências.

Rio Claro/SP, fevereiro de 2004.

553.0981 Feola, Jorge Luiz

F344m Mineralizações auríferas hospedadas na faixa metavulcano-sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha - sudoeste de Minas Gerais / Jorge Luiz Feola. – Rio Claro : [s.n.], 2004
211 f. : il., gráfs., tabs., quadros, fots.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Sebastião Gomes de Carvalho

1. Geologia econômica – Brasil. 2. Ouro. 3. Zona de cisalhamento. 4. Química mineral. 5. Hidrotermalismo. 6. Processo metamórfico-hidrotermal. I. Título

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

Comissão Examinadora

Prof. Dr. SEBASTIÃO GOMES DE CARVALHO (orientador)

Prof. Dr. YOCITERU HASUI

Prof. Dr. ANTENOR ZANARDO

Prof. Dr. JOÃO BATISTA MORESCHI

Prof. Dr. RUBENS BORGES DA SILVA

Jorge Luiz Feola

Rio Claro, 27 de fevereiro de 2004.

Resultado:_____

SUMÁRIO

Índice.....	<i>i</i>
Índice de Figuras.....	<i>v</i>
Índice de Fotografias.....	<i>ix</i>
Índice de Fotomicrografias.....	<i>x</i>
Índice de Imagens.....	<i>xiii</i>
Resumo.....	<i>xv</i>
Abstract.....	<i>xvi</i>
1. Introdução.....	01
2. Aspectos da Geologia Regional.....	05
3. Geologia Local.....	15
4. Caracterização Geoquímica.....	83
5. Controles e Processos Associados à Mineralização Aurífera Primária.....	110
6. Paragêneses de Minério e Minerais Associados.....	125
7. Condições Físico-Químicas da Mineralização.....	165
8. Conclusões.....	200
Referências Bibliográficas.....	204

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO ÀS ÁREAS DE ESTUDO	01
1.2. OBJETIVOS.....	03
1.3. MÉTODO DE TRABALHO.....	03
2. ASPECTOS DA GEOLOGIA REGIONAL	05
2.1. COMPLEXO GUAXUPÉ	06
2.2. COMPLEXO BARBACENA	08
2.2.1. <i>Greenstone Belt</i> Morro do Ferro.....	08
2.3. GRUPO ARAXÁ/CANASTRA	09
2.3.1. Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha	10
2.4. GRUPO BAMBUÍ	11
2.5. CONTEXTO GEOTECTÔNICO	12
2.6. CONCENTRAÇÕES MINERAIS DESCRITAS NA REGIÃO	13
3. GEOLOGIA LOCAL.....	15
3.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GERAIS DAS ÁREAS ESTUDADAS....	15
3.1.1 Prospecto Boa Vista.....	15
3.1.2. Prospecto Lenhoso	19
3.1.3. Prospecto Gravatá	24
3.1.4. Prospecto Colônia	27
3.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	31
3.2.1. Complexo Barbacena	31
Gnaisses tonalíticos	31
Gnaisses granodioríticos.....	33
Gnaisses monzograníticos	34
3.2.2. Seqüência Metavulcânica/plutônica Máfica/Ultramáfica.....	34
Xistos/ <i>Fels</i>	34
3.2.3. Seqüência Metassedimentar.....	44
Quartzitos	44
Muscovita/sericita-quartzo xistos e quartzo-sericita xistos.....	45
Rochas calcissilicáticas	46
Muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos.....	49
Metachertes.....	49
Formações Ferríferas	50
Paragnaisses.....	53
3.2.4. Protólitos e Metamorfismo	56
Seqüência metavulcânica/plutônica.....	57
Seqüência metassedimentar.....	58
Mobilizados granitóides de natureza pré- a sintectônica (ortognaisses)	60
3.2.5. Síntese do Estudo Petrográfico	60
3.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL	62
3.3.1. Padrão Estrutural Regional	62
3.3.2. Caracterização Estrutural dos Prospectos Auríferos.....	68
Bandamento Composicional.....	68
Foliações.....	68
Falhas.....	71

Fraturas	75
Lineações de estiramento	76
Veios	77
3.3.3. Padrão Estrutural de Inclusões Fluidas Secundarias	80
3.3.4. Síntese do Padrão Estrutural	81
4. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA	83
4.1. INTRODUÇÃO	83
4.2. ROCHAS METASSEDIMENTARES/HIDROTERMAIS	83
4.2.1. Elementos Maiores	83
4.2.2. Elementos traços	86
4.2.3. Elementos terras raras	88
4.2.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis	91
4.3. ROCHAS METAVULCÂNICAS/PLUTÔNICAS BÁSICAS/ULTRABÁSICAS	91
4.3.1. Elementos Maiores	91
4.3.2. Elementos traços	94
4.3.3. Elementos terras raras	97
4.3.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis	98
4.3.5. Ambiência geotectônica	99
4.4. ROCHAS GNÁISSICAS	101
4.4.1. Elementos maiores	101
4.4.2. Elementos traços	103
4.4.3. Elementos terras raras	105
4.4.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis	106
4.4.5. Ambiência geotectônica	106
4.5. SÍNTESE DA ANÁLISE DOS PADRÕES GEOQUÍMICOS	108
5. CONTROLES E PROCESSOS ASSOCIADOS À MINERALIZAÇÃO	
AURÍFERA PRIMÁRIA	110
5.1. CONTROLE ESTRUTURAL	110
5.2. CONTROLE LITOLÓGICO	114
5.3. METAMORFISMO E ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	118
5.3.1. Veios de Quartzo	121
5.4. ALTERAÇÃO SUPERGÊNICA	123
5.5. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES RELATIVAS A CONTROLES E PROCESSOS ASSOCIADOS A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA	123
6. PARAGÊNESES DE MINÉRIO E MINERAIS ASSOCIADOS	125
6.1. SULFETOS	125
6.1.1. Pirita	127
6.1.2. Pirrotita	128
6.1.3. Calcopirita	129
6.1.4. Arsenopirita	130
6.1.5. Esfalerita	131
6.1.6. Galena	132
6.1.7. Pentlandita	133
6.1.8. Molibdenita	134
6.1.9. Cobaltita	134
6.1.10. Argentita	134

6.2. ÓXIDOS.....	135
6.2.1. Magnetita	135
6.2.2. Hematita.....	138
6.2.3. Ilmenita	138
6.2.4. Cromita	140
6.2.5. Cuprita/Paramelaconita/Tenorita	140
6.2.6. Rutilo/Leucoxênio	142
6.2.7. Tantalita	142
6.2.8. Zincita	143
6.2.9. Platenerita/Scrutinyita.....	143
6.2.10.Óxidos de Ni e Ni-Y	144
6.3. HIDRÓXIDOS	145
6.4. CARBONATOS.....	146
6.4.1. Calcita	146
6.4.2. Cerussita/Hidrocerussita	146
6.4.3. Ankerita/Siderita	148
6.4.4. Carbonato de Terras Raras.....	148
6.5. FOSFATOS	149
6.5.1. Monazita	149
6.5.2. Xenotímio/Weinschenkita	150
6.5.3. Plumbogummita	150
6.6. SULFATOS.....	150
6.6.1. Calcokianita	150
6.6.2. Barita.....	151
6.6.3. Anidrita	151
6.7. METAIS NATIVOS	152
6.8. OURO/AUROCUPRITA	152
6.9. SILICATOS	156
6.9.1. Micas brancas	156
6.9.2. Clorita	159
6.9.3. Biotita.....	160
6.9.4. Turmalina.....	161
6.10. SÍNTESE DO ESTUDO DO QUIMISMO MINERAL.....	162
7. CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DA MINERALIZAÇÃO	165
7.1. ESTIMATIVA DA TEMPERATURA.....	165
7.1.1. Cristalização das cloritas	165
7.1.2. Cristalização das micas brancas.....	166
7.1.3. Cristalização de Sulfetos.....	168
Sistema Cu-Fe-S	168
Sistema Fe-S.....	168
Sistema As-Fe-S	171
7.2. CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DOS FLUIDOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO METAMÓRFICO-HIDROTHERMAL	173
7.2.1. Amostras Analisadas.....	173
7.2.2. Preparação das Amostras e Procedimentos Analíticos	174
7.2.3. Modo de Ocorrência e Classificação das Inclusões Fluidas.....	175
Inclusões Primárias.....	176
Inclusões Pseudo-secundárias	178
Inclusões Secundárias.....	179

7.2.4. Análise Microtermométrica	180
Inclusões Aquosas	181
Inclusões Carbônicas	184
Inclusões Aquo-carbônicas.....	186
7.2.5. Composições, salinidades, densidades e temperaturas mínimas de aprisionamento dos fluidos.....	191
Fluidos aquosos	191
Fluidos carbônicos.....	194
Fluidos aquo-carbônicos.....	195
7.2.6. Considerações sobre a evolução dos fluidos e as condições físico-químicas..	197
7.3. SÍNTESE DO ESTUDO SOBRE AS CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS QUE CONDICIONARAM A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA.....	199
8. CONCLUSÕES.....	200
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204
APÊNDICES	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 –	Localização geral e principais vias de acesso à área de estudo.....	02
Figura 1.2 –	Localização e vias de acesso dos prospectos auríferos estudados.....	02

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 –	Mapa geológico regional esquemático da região sudoeste do Estado de Minas Gerais, ilustrando o padrão estrutural e a distribuição das principais unidades litoestratigráficas.....	05
Figura 2.2 –	Mapa geológico simplificado, ilustrando a distribuição dos terrenos granito- <i>greenstone</i> e da seqüência ofiolítica.....	06
Figura 2.3 –	Mapa geológico da região entre Jacuí-Bom Jesus da Penha-Nova Resende.....	07

CAPÍTULO 3

Figura 3.1-1. –	Mapa geológico do Prospecto Boa Vista.....	17
Figura 3.1-2. –	Seções geológicas interpretativas com base em furos de sondagem – Prospecto Boa Vista.....	21
Figura 3.1-3. –	Mapa geológico do Prospecto Lenhoso.....	22
Figura 3.1-4. –	Seções geológicas interpretativas com base em furos de sondagem – Prospecto Lenhoso.....	24
Figura 3.1-5. –	Mapa geológico do Prospecto Gravatá.....	25
Figura 3.1-6. –	Seções geológicas interpretativas com base em furos de sondagem – Prospecto Gravatá.....	27
Figura 3.1-7. –	Mapa geológico do Prospecto Colônia.....	28
Figura 3.1-8. –	Seções geológicas interpretativas com base em furos de sondagem – Prospecto Colônia.....	29
Figura 3.3-1. –	Diagramas de rosetas para lineamentos correspondentes a prováveis descontinuidades.....	63
Figura 3.3-2. –	Relação entre lineamentos NW-SE e relevo da região estudada.....	64
Figura 3.3-3. –	Relação entre lineamentos NE-SW e relevo da região estudada.....	65
Figura 3.3-4. –	Relação entre lineamentos N-S e relevo da região estudada.....	66
Figura 3.3-5. –	Relação entre lineamentos E-W e relevo da região estudada.....	67
Figura 3.3-6. –	Estereogramas ilustrando o padrão de orientação das foliações.....	70
Figura 3.3-7. –	Padrão estrutural dos prospectos Boa Vista e Lenhoso.....	72
Figura 3.3-8. –	Estereogramas ilustrando o padrão de orientação das fraturas.....	75
Figura 3.3-9. –	Estereogramas ilustrando o padrão de orientação das lineações de estiramento.....	76
Figura 3.3-10. –	Estereogramas ilustrando o padrão de orientação de veios.....	77
Figura 3.3-11. –	Diagramas de roseta ilustrando as direções preferenciais de microfraturas cicatrizadas portadoras de inclusões fluidas.....	80

CAPÍTULO 4

Figura 4.2-1. –	Diagramas de Harker aplicada às rochas metassedimentares.....	84
Figura 4.2-2. –	Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços de rochas metassedimentares.....	87
Figura 4.2-3. –	Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços de rochas metassedimentares.....	89
Figura 4.2-4. –	Diagramas ilustrando o padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas metassedimentares.....	89

Figura 4.2-5. –	Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis de rochas metassedimentares.....	91
Figura 4.3-1. –	Diagramas de Harker aplicada às rochas metavulcânicas.....	92
Figura 4.3-2. –	Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços de rochas metavulcânicas.....	95
Figura 4.3-3. –	Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços de rochas metavulcânicas.....	96
Figura 4.3-4. –	Diagramas ilustrando o padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas metavulcânicas.....	97
Figura 4.3-5. –	Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis de rochas metavulcânicas.....	99
Figura 4.3-6. –	Diagramas classificatórios de rochas básicas/ultrabásicas.....	100
Figura 4.3-7. –	Diagramas de Pearce <i>et al.</i> (1977) aplicado às rochas metavulcânicas.....	100
Figura 4.3-8. –	Diagramas de Coleman (1977) aplicado às rochas metavulcânicas...	100
Figura 4.4-1. –	Diagrama $K_2O/Al_2O_3 - Na_2/Al_2O_3$ aplicado às rochas gnáissicas....	101
Figura 4.4-2. –	Diagramas de Harker aplicada às rochas gnáissicas.....	102
Figura 4.4-3. –	Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços de rochas gnáissicas.....	103
Figura 4.4-4. –	Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços de rochas gnáissicas.....	104
Figura 4.4-5. –	Diagramas ilustrando o padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas gnáissicas.....	105
Figura 4.4-6. –	Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis de rochas gnáissicas.....	106
Figura 4.4-7. –	Diagramas classificatórios para granitóides aplicado às rochas gnáissicas.....	107
Figura 4.4-8. –	Diagramas de interpretação tectônica aplicados às rochas gnáissicas.....	107
Figura 4.4-9. –	Diagrama de Batchelor e Bawden (1985) aplicado às rochas gnáissicas.....	108
Figura 4.4-10. –	Diagrama Sr-Rb aplicado às rochas gnáissicas.....	108

CAPÍTULO 5

Figura 5.1-1. –	Mapa de anomalias auríferas – sedimento de corrente.....	110
Figura 5.1-2. –	Mapas de anomalias auríferas – terraços aluvionares.....	111
Figura 5.1-3. –	Mapas de isolinhas e representação tridimensional das anomalias auríferas – Prospecto Boa Vista.....	112
Figura 5.1-4. –	Mapa de isolinhas de pintas de ouro em solo – Prospecto Lenhoso..	112
Figura 5.1-5. –	Representação tridimensional – detalhe da Fig. 5.1-4.....	113
Figura 5.1-6. –	Mapa de isolinhas e representação tridimensional das anomalias auríferas – Prospecto Gravatá.....	113
Figura 5.1-7. –	Mapa de isolinhas e representação tridimensional das anomalias auríferas – Prospecto Gravatá.....	114
Figura 5.2-1. –	Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos – Prospecto Boa Vista.....	115
Figura 5.2-2. –	Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos – Prospecto Gravatá.....	116
Figura 5.2-3. –	Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos – Prospecto Colônia.....	117

CAPÍTULO 6

Figura 6.1-1. –	Relação Fe-S de cristais de pirita.....	127
Figura 6.1-2. –	Relação Fe-S de cristais de pirrotita.....	128
Figura 6.1-3. –	Relação Fe-Cu-S e Fe-Cu de cristais de calcopirita.....	129
Figura 6.1-4. –	Relação Fe-As-S de cristais de arsenopirita.....	130
Figura 6.1-5. –	Relação Fe-Zn-S e Fe-Zn de cristais de esfalerita.....	131
Figura 6.1-6. –	Relação Pb-S de cristais de galena.....	132
Figura 6.1-7. –	Relação Fe-Ni-S de cristais de pentlandita.....	133
Figura 6.1-8. –	Espectro ilustrando a composição de molibdenita.....	134
Figura 6.2-1. –	Relação TiO_2 -FeO- Fe_2O_3 de cristais de magnetita.....	137
Figura 6.2-2. –	Média de elementos traços de cristais de magnetita.....	138
Figura 6.2-3. –	Relação entre vários compostos de cristais de ilmenita.....	139
Figura 6.2-4. –	Relação entre vários compostos de cristais de cromita.....	140
Figura 6.2-5. –	Relação Cu-O de cristais de cuprita/paramelaconita/tenorita.....	141
Figura 6.2-6. –	Relação Ti-O de cristais de rutilo.....	142
Figura 6.2-7. –	Espectro ilustrando composição de tantalita.....	142
Figura 6.2-8. –	Relação Pb-O de cristais de platenerita/scrutinyita.....	143
Figura 6.2-9. –	Espectro ilustrando composição de óxidos de Ni-Y.....	144
Figura 6.3-1. –	Média de elementos traços de cristais de goethita.....	145
Figura 6.4-1. –	Espectro ilustrando a composição de carbonato de chumbo.....	146
Figura 6.4-2. –	Teores de elementos maiores de cristais de ankerita/siderita.....	147
Figura 6.4-3. –	Espectro ilustrando a composição de carbonato de terras raras.....	148
Figura 6.5-1. –	Espectro ilustrando a composição de monazita.....	149
Figura 6.5-2. –	Teores de Ce (% de peso) observados em monazita.....	149
Figura 6.5-3. –	Espectro ilustrando a composição de plumbogummita.....	150
Figura 6.6-1. –	Espectro ilustrando a composição de calcokianita.....	151
Figura 6.6-2. –	Espectro ilustrando a composição de barita.....	151
Figura 6.8-1. –	Espectros ilustrando a composição de grãos de ouro.....	154
Figura 6.8-2. –	Espectros ilustrando a composição de grãos de aurocuprita / tetra-aurocuprita.....	155
Figura 6.8-3. –	Relação Au-Cu de grãos de aurocuprita/tetra-aurocuprita.....	156
Figura 6.9-1. –	Relação Al_2O_3 -FeO- K_2O de micas brancas.....	157
Figura 6.9-2. –	Representação quimiográfica de micas brancas.....	158
Figura 6.9-3. –	Relação Na/(Na+K) de micas brancas.....	158
Figura 6.9-4. –	Classificação de cristais de clorita no diagrama Si-Mg/(Mg+Fe).....	159
Figura 6.9-5. –	Relação FeO- Al_2O_3 -MgO de cristais de clorita.....	159
Figura 6.9-6. –	Diagrama Al-Fe/(Fe+Mg) aplicada a cristais de biotita.....	160
Figura 6.9-7. –	Diagrama Si-Fe/(Fe+Mg) e Ti-Fe/(Fe+Mg) aplicado aos cristais de biotita.....	160
Figura 6.9-8. –	Diagramas classificatórios aplicados a cristais de turmalina.....	161

CAPÍTULO 7

Figura 7.1-1. –	Relação entre temperaturas estimadas para cristalização de clorita...	165
Figura 7.1-2. –	Diagrama $M^2(Fe+Mg)$ -Al-Si aplicado às micas brancas.....	166
Figura 7.1-3. –	Intervalos de temperatura indicando o posicionamento das micas brancas estudadas.....	167
Figura 7.1-4. –	Diagrama de fase para o sistema Cu-Fe-S aplicado aos sulfetos estudados.....	169
Figura 7.1-5. –	Diagrama de fase – sistema Fe-S – aplicado aos sulfetos estudados.	170
Figura 7.1-6. –	Detalhe do diagrama da Fig. 7.1-5.....	171
Figura 7.1-7. –	Relações de fases do sistema Fe-As-S e pseudobinário temperatura-composição.....	172

Figura 7.2-1. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões aquosas – veios mineralizados dos quatro prospectos.....	183
Figura 7.2-2. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões aquosas – veios não mineralizados do prospecto Gravatá.....	183
Figura 7.2-3. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões carbônicas – veios mineralizados dos quatro prospectos.....	185
Figura 7.2-4. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões carbônicas – veios não mineralizados dos prospectos Gravatá e Colônia.....	186
Figura 7.2-5. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões aquo-carbônicas – veios mineralizados dos quatro prospectos.....	188
Figura 7.2-6. –	Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos de inclusões aquo-carbônicas – veios não mineralizados dos prospectos Gravatá e Colônia.....	190

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

CAPÍTULO 3

Fotografia 3.1-1. –	Gnaiss tonalítico maciço – Prospecto Lenhoso.....	20
Fotografia 3.1-2. –	Actinolita/tremolita xisto alterado – Prospecto Colônia.....	20
Fotografia 3.1-3. –	Muscovita/sericita-quartzo xisto – Prospecto Boa Vista.....	20
Fotografia 3.1-4. –	Detalhe de muscovita/sericita-quartzo xisto, ilustrando a ocorrência de finos leitos composicionalmente distintos – Prospecto Lenhoso.....	20
Fotografia 3.1-5. –	Granada-muscovita/sericita(biotita) xistos dos prospectos Prospecto Boa Vista e Prospecto Lenhoso.....	20
Fotografia 3.1-6. –	Metachertes que ocorrem nos prospectos Boa Vista, Lenhoso e Gravatá.....	20
Fotografia 3.1-7. –	Metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	20
Fotografia 3.1-8. –	Paragnaisse do Prospecto Gravatá exibindo banda quartzo feldspática.....	20
Fotografia 3.3-1. –	Drenagem encaixada em fratura/falha - Prospecto Boa Vista.....	73
Fotografia 3.3-2. –	Drenagem alojada em falha do Prospecto Lenhoso.....	73
Fotografia 3.3-3. –	Fraturas conjugadas em muscovita/sericita-quartzo xisto - Prospecto Boa Vista, e fraturas desenvolvidas no mesmo tipo litológico do Prospecto Gravatá	73
Fotografia 3.3-4. –	Fraturas em rochas quartzíticas e em rochas metabásicas do Prospecto Lenhoso, resultantes do desenvolvimento de falhas secundárias associadas à Zona de Cisalhamento Riacho Fundo...	73
Fotografia 3.3-5. –	Microfalhas que deslocam localmente parte de nível quartzo-feldspático de rocha gnáissica do Prospecto Gravatá.....	73
Fotografia 3.3-6. –	Fraturas marcantes em rochas metabásicas do Prospecto Colônia.....	73
Fotografia 3.3-7 –	Veios de quartzo encaixados em muscovita/sericita-quartzo xisto – veios ondulados do Prospecto Boa Vista e veios fraturados do Prospecto Gravatá.....	78
Fotografia 3.3-8 –	Enxame de venulações onduladas em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Boa Vista, e lentes quartzosas encaixadas em metacherte e em rocha metabásica do Prospecto Lenhoso.....	78
Fotografia 3.3-9 –	Veio de quartzo dobrado e fraturado que ocorre em rocha gnáissica do Prospecto Boa Vista, e lente quartzosa fraturada hospedada em rocha metabásica do Prospecto Lenhoso e bolsão de quartzo encaixado em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Gravatá.....	78
Fotografia 3.3-10 –	Veio de quartzo ondulado e veio formando dobra em “S”, dispostos em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso.....	78
Fotografia 3.3-11 –	Padrão de dobramento exibido por lente quartzosa hospedada por muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso.....	78
Fotografia 3.3-12 –	Lente de quartzo boudinada encaixada em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Gravatá.....	78

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

CAPÍTULO 3

Fotomicrografia 3.2-1 –	Feição de brechação exibida por gnaiss tonalítico – Prospecto Lenhoso.....	32
Fotomicrografia 3.2-2 –	Aspecto cataclástico de gnaiss granodiorítico – Prospecto Lenhoso.....	32
Fotomicrografia 3.2-3 –	Feição sigmoidal indicativa de movimentação sinistral em antofilita-cummingtonita-clorita xisto – Prospecto Gravatá.....	32
Fotomicrografia 3.2-4 –	Foliação incipiente marcada por cristais de cummingtonita em talco-antofilita-clorita-cummingtonita xisto - Prospecto Colônia.....	32
Fotomicrografia 3.2-5 –	Cristal de cianita de granulação grossa que ocorre associado a anfibólios em cummingtonita xisto/fel - Prospecto Colônia.....	32
Fotomicrografia 3.2-6 –	Foliações em talco xisto, que geram padrões de dobramentos irregulares - Prospecto Lenhoso.....	32
Fotomicrografia 3.2-7 –	Associação de hornblenda de granulação média a cristais finos de antofilita, que ocorrem orientados caracterizando a xistosidade em hornblenda xisto – Prospecto Colônia.....	32
Fotomicrografia 3.2-8 –	Aspecto de quartzo-andesina-hornblenda xisto evidenciando o predomínio de minerais de anfibólio – Prospecto Colônia.....	32
Fotomicrografia 3.2-9 –	Porfiroblastos de carbonato em meio a matriz hornblendítica, que ocorre em quartzo-andesina-calcita-hornblenda xisto - Prospecto Colônia.....	40
Fotomicrografia 3.2-10 –	Acima: cristais de andesina associados a hornblenda em rocha anfibolítica - Prospecto Colônia, Abaixo: associação de andesina, quartzo e hornblenda em rocha anfibolítica - Prospecto Gravatá.....	40
Fotomicrografia 3.2-11 –	Cristal de granada associado a hornblenda, plagioclásio e quartzo em granada anfibolito – Prospecto Gravatá.....	40
Fotomicrografia 3.2-12 –	Acima: associação de hornblenda, quartzo e granada (em processo de epidotização –ep-), Abaixo: granada e agregados de cianita . Ambos em granada anfibolito – Prospecto Colônia.....	40
Fotomicrografia 3.2-13 –	Feição deformacional exibida por bandamento composicional tectônico marcante desenvolvido em rocha quartzítica (ultramilonítica) - Prospecto Boa Vista.....	40
Fotomicrografia 3.2-14 –	Goethita ocorrendo em microfraturas e limites de grãos, e formando venulações irregulares em quartzito - Prospecto Lenhoso.....	40
Fotomicrografia 3.2-15 –	Nível sericítico com cristais de magnetita associados, que ocorre ao longo de microfratura em quartzito – Prospecto Boa Vista.....	40
Fotomicrografia 3.2-16 –	Foliação milonítica de muscovita/sericita-quartzo xisto – Prospecto Lenhoso.....	40

Fotomicrografia 3.2-17 – Foliação anastomosada/deformada por clivagem de crenulação em muscovita/sericita-quartzo xisto – Prospecto Lenhoso.....	47
Fotomicrografia 3.2-18 – Associação de cristais de turmalina junto a sericita/muscovita fortemente orientadas que definem a foliação de muscovita/sericita-quartzo xisto - Prospecto Colônia.....	47
Fotomicrografia 3.2-19 – Minerais opacos associados à foliação em muscovita/sericita-quartzo xisto – Prospecto Lenhoso.....	47
Fotomicrografia 3.2-20 – Nível carbonático associado a granada em meio a cristais de hornblenda em xisto calcissilicático - Prospecto Colônia.....	47
Fotomicrografia 3.2-21 – Cristais de escapolita associados a carbonatos e biotita em xisto calcissilicático – Prospecto Colônia.....	47
Fotomicrografia 3.2-22 – Aspecto geral de metacherte hidrotermal evidenciando a ocorrência de minerais opacos – Prospecto Boa Vista.....	47
Fotomicrografia 3.2-23 – Magnetita metacherte com nível de óxidos dobrados – Prospecto Boa Vista.....	47
Fotomicrografia 3.2-24 – Cristal de granada que se apresenta totalmente alterado – granada metacherte – Prospecto Boa Vista.....	47
Fotomicrografia 3.2-25 – Granada em processo de alteração – metacherte hidrotermal – Prospecto Boa Vista.....	51
Fotomicrografia 3.2-26 – Camada hematítica irregular associada a quartzo – formação ferrífera – Prospecto Lenhoso.....	51
Fotomicrografia 3.2-27 – Óxidos de manganês secundários que preenchem fraturas em formação ferrífera – Prospecto Lenhoso.....	51
Fotomicrografia 3.2-28 – Cristais de oligoclásio que se apresentam em processo de alteração, associados a quartzo e muscovita – gnaiss tonalítico – Prospecto Gravatá.....	51
Fotomicrografia 3.2-29 – Associação de biotita e muscovita junto a quartzo e plagioclásio em gnaiss tonalítico – Prospecto Colônia.....	51
Fotomicrografia 3.2-30 – Gnaiss monzogranítico que exibe aspecto protomilonítico porfiróide – Prospecto Boa Vista.....	51
Fotomicrografia 3.2-31 – Níveis muscovíticos com cristais de diferentes granulações que definem a foliação em quartzo gnaiss – Prospecto Colônia.....	51
Fotomicrografia 3.2-32 – Sulfetos que ocorrem associados a quartzo e clorita nos planos da foliação de quartzo gnaiss – Prospecto Colônia.	51
Fotomicrografia 3.3-1. – Microcisalhamento e feições cataclásticas exibidas por rochas ortognássicas - Prospecto Lenhoso.	

73

CAPÍTULO 6

Fotomicrografia 6.1-1 - Cristal de pirita e nível hematítico que ocorre em rocha quartzítica, e ocorrência de esfalerita associada a pirrotita em nível parcialmente goethitizado hospedado em quartzito – prospectos Gravatá e Lenhoso.....	126
Fotomicrografia 6.1-2 – Cristais de pirrotita dispostos ao longo de microfraturas em goethita desenvolvida em magnetita que ocorrem em metacherte do Prospecto Boa Vista.....	126

Fotomicrografia 6.1-3 –	Associação de pirrotita, magnetita, ilmenita e goethita em clorita xisto do Prospecto Lenhoso.....	126
Fotomicrografia 6.2-1 –	Cristais de magnetita associados a nível muscovítico onde há geração de goethita disposta ao longo da foliação milonítica junto a cristais de quartzo em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso.....	135
Fotomicrografia 6.2-2 –	Cristais de hematita e goethita em meio a grãos de quartzo em formação ferrífera hematítica do Prospecto Lenhoso, e cristal de ilmenita com bordas corroídas que ocorre em meio a cristais de anfibólio em actinolita/tremolita xisto do Prospecto Boa Vista.....	135
Fotomicrografia 6.2-3 –	Hematita com aspecto pulverulento (martita) que ocorre em metacherte do Prospecto Boa Vista.....	135
Fotomicrografia 6.2-4 –	Cromita associada a hematita que ocorrem hospedadas na matriz quartzosa de metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	135
Fotomicrografia 6.2-5 –	Cristal de rutilo fraturado e com bordas tenuamente corroídas disposto em rocha gnáissica do Prospecto Lenhoso.....	135
Fotomicrografia 6.8-1 –	Ouro associado a nível goethítico hospedado na matriz quartzosa de metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	152
Fotomicrografia 6.8-2 –	Grãos de ouro associados a goethita em metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista (esquerda) e em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Gravatá.....	152
Fotomicrografia 6.8-3 –	Ouro ocorrendo em nível goethítico em metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	152

CAPÍTULO 7

Fotomicrografia 7.2-1 –	Agrupamento de inclusões Pm definido pela ocorrência de inclusões aquosas, carbônicas e aquo-carbônicas, e aquosas e aquo-carbônicas – Prospecto Lenhoso.....	176
Fotomicrografia 7.2-2 –	Inclusões tipicamente primárias definidas pela disposição desordenada – Prospecto Gravatá.....	176
Fotomicrografia 7.2-3 –	Inclusões carbônicas monofásicas do tipo Pi que ocorrem em veios de quartzo dos prospectos Colônia e Boa Vista.....	176
Fotomicrografia 7.2-4 –	Inclusões bifásicas aquosas e aquo-carbônicas que exibem diferentes GP e formatos – Prospecto Gravatá.....	176
Fotomicrografia 7.2-5 –	Inclusões bifásicas com líquidos imiscíveis que ocorrem em veios de quartzo do Prospecto Gravatá.....	176
Fotomicrografia 7.2-6 –	Inclusões trifásicas do tipo Pi que ocorrem em veios de quartzo do Prospecto Lenhoso e cristal de halita associado a matriz quartzosa em veio do Prospecto Colônia.....	176
Fotomicrografia 7.2-7 –	Inclusões pseudosecundárias definidas pela disposição em arranjos planares – Prospecto Colônia.....	176
Fotomicrografia 7.2-8 –	Inclusões secundárias alojadas em microfraturas cicatrizadas dispostas em orientações diversas. Prospectos Boa Vista e Lenhoso e Prospecto Colônia.....	176

ÍNDICE DE IMAGENS

CAPÍTULO 6

Imagem 6.1-1 – Imagem de elétrons retroespalhados ilustrando cristal de pirita de granulação grossa, fraturado e com desenvolvimento de goethita em seu interior e bordas – Ortognaisse do Prospecto Lenhoso, e cristal de pirrotita e cristais de cromita hospedados na matriz quartzosa de metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	126
Imagem 6.1-2 – Imagem de elétrons retroespalhados ilustrando a ocorrência de cristais de pirita de granulação fina associados a cristais de galena de granulação fina a grossa em hornblenda gnaiss do Prospecto Colônia.....	126
Imagem 6.1-3 – Cristal de galena subédrico que ocorre hospedado em muscovita/sericita-quartzo.....	126
Reprodução de Imagem 6.1-1 – Reprodução de imagem obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura de cristal de argentita que ocorre em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso.....	126
Imagem 6.2-1 – Imagem de elétrons retroespalhados ilustrando a ocorrência de ilmenita associada a magnetita e ainda monazita em rocha quartzítica do Prospecto Boa Vista.....	135
Imagem 6.4-1 – Imagens de elétrons retroespalhados que ilustram a ocorrência de calcita em meio a nível goethítico associado a monazita – muscovita/sericita-quartzo xisto; cerussita associada a goethita hospedada em quartzito, e cristal de carbonato de terras raras que ocorre em gnaiss - Prospecto Lenhoso.....	146
Imagem 6.5-1 - Imagens de elétrons retroespalhados ilustrando agregado constituído por monazita que ocorre em contato com magnetita e muscovita na matriz quartzosa em rocha quartzítica do Prospecto Boa Vista, e cristal de plumbogummita disposto em microfratura desenvolvida em quartzito do Prospecto Lenhoso.....	146
Imagem 6.6-1 – Imagem de elétrons retroespalhados que ilustra grão de calcokianita incluso em feldspato que ocorre em rocha gnáissica do Prospecto Lenhoso.....	146
Imagem 6.8-1 – Imagem de elétrons retroespalhados ilustrando grão que exhibe diferentes tonalidades, refletindo distintas composições, determinadas como cuprita, aurocuprita e ouro – metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	152
Imagem 6.8-2 - Imagem de elétrons retroespalhados que ilustra a ocorrência de grão de ouro alongado, incluso em quartzo e próximo a nível goethítico hospedado em metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista, e grão de ouro incluso em quartzo caracterizado em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Gravatá.....	152
Imagem 6.8-3 - Imagens de elétrons retroespalhados ilustrando grão de ouro associado a fraturas desenvolvidas na matriz quartzosa e incluso em quartzo – Metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista.....	152
Imagem 6.8-4 - Imagens de elétrons retroespalhados que mostram grão de ouro incluso em quartzo que ocorre em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Gravatá, e grão de ouro com bordas corroídas associado a quartzo e muscovita que ocorre em quartzo-sericita xisto do Prospecto Colônia.....	152

Imagem 6.8-5 –	Imagens de elétrons retroespalhados ilustrando grão de ouro que ocorre na borda de nível goethítico, onde há amplo desenvolvimento de cristais de monazita – muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso.....	152
----------------	---	-----

RESUMO

As mineralizações auríferas hospedadas na Faixa Metavulcano-Sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha são controladas tectonicamente pelas zonas de cisalhamento Riacho Fundo, Bom Jesus da Penha e Mumbuca.

Nos prospectos da região de Jacuí são caracterizadas estruturas secundárias marcantes, principalmente cisalhantes Riedel de alto ângulo, enquanto naqueles da região de Bom Jesus da Penha/Nova Resende há ausência dessas feições, refletindo o estilo intra- e interzonas de cisalhamento.

O processo mineralizante está associado à ação metamórfico-hidrotermal, propiciada pelo evento dínamo-termal local. O condicionamento litológico da mineralização primária é evidenciado principalmente em rochas metassedimentares e hidrotermais, rochas gnáissicas diversas e veios de quartzo. Nessas rochas, o ouro ocorre livre, composicionalmente puro e ainda contendo prata. Entretanto, a ocorrência de aurocuprita/tetra-aurocuprita associada a cuprita, promovida pela alteração supergênica, permite a associação de ouro junto a sulfetos de cobre, que devem corresponder aos níveis mais preservados da mineralização.

Os veios de quartzo, comumente contendo sulfetos, carbonatos, filossilicatos, sulfatos e óxidos, são do tipo veios de cisalhamento a localmente do tipo *tension gashes*, que ocorrem predominantemente em estruturas Riedel do tipo D. Embora parte desses contenham ouro, a mineralização é predominantemente do tipo disseminada, principalmente em muscovita/sericita-quartzo xistos.

Embora vários processos de alteração hidrotermal sejam reconhecidos, normalmente apresentam-se não pervasivos. Destaca-se, entretanto, a interação fluido-rocha a partir de litotipos tanto de composição ácida como básica/ultrabásica.

São admitidas temperaturas da ordem de 500-600°C para a fase inicial do processo mineralizante. Em decorrência do abrandamento das condições P-T e variações de fO_2 e fS_2 , uma segunda fase, associada a sulfetação, é caracterizada por temperaturas em torno de 350-400°C. A fase final, eminentemente hidrotermal e desprovida de ouro, é caracterizada por temperaturas entre 270 a 310°C.

Os fluidos envolvidos no processo mineralizante são reconhecidos como aquosos, aquo-carbônicos e carbônicos, com características indicativas de imiscibilidade ou fusão. São representantes de uma evolução complexa, onde para a região de Jacuí é admitida interação entre fluidos metamórficos e magmáticos, enquanto para a região de Bom Jesus da Penha/Nova Resende predominaram fluidos metamórficos. Esses fluidos transportaram o ouro possivelmente sob a forma complexos clorados, sendo sua precipitação resultante além das distintas interações fluido-rocha, provavelmente da mistura e imiscibilidade dos fluidos.

As referidas características permitem associar as mineralizações locais a depósitos mesotermiais com Au (Ag) - modelo metamorfogênico dinâmico, possivelmente do tipo “filões e lentes quartzosas com Au livre microcristalino” (tipo *Bourneix*).

ABSTRACT

The gold mineralizations hosted in Jacuí-Bom Jesus da Penha Metavolcano-Sedimentary Belt are controlled in the tectonic by Riacho Fundo, Bom Jesus da Penha and Mumbuca shear zones.

In the Jacuí region are distinguished remarkable secondary structures, mainly high angle Riedel shears, while in the Bom Jesus da Penha/Nova Resende region there aren't this features, expressing the intrazone and interzone style of shear.

The mineralization is associated to metamorphic-hydrothermal process, caused by local dynamo-thermal event. The litologic conditioning of primary mineralization is mainly corroborated in hydrothermal and metasedimentary rocks, several gneissic rocks and quartz veins. In these rocks gold occurs free, pure and with some contents of silver. However, supergenic alteration produces auricupride/tetra-auricupride associated to cuprite. This reaction permits gold and copper sulphides association, that ought correspond the most preserved mineralization levels.

The quartz veins usually contain sulfides, carbonates, phyllosilicates, sulphates and oxides. These are shear veins to local type D Riedel structure. In spite of gold occurs in some of that veins, the mineralization is often disseminated type, mainly in muscovite/sericite-quartz schists.

Several hydrothermal alteration processes are recognized, but generally to show up not-pervasive. The fluid-rock interaction from acid and basic/ultrabasic composition lithotypes is emphasized.

Temperatures around 500-600°C are admitted to stage initial of the mineralization. The second stage is associated to sulphides forming and is marked by temperatures of 350-400°C. This stage results of more soft P-T conditions and fO_2 and fS_2 variations. In the last stage is widely hydrothermal, there is not gold and occurs at temperatures between 270 to 310°C.

The fluids involved in the mineralization process are accepted to be aqueous, aquo-carbonic and carbonic, with features that indicate unmixing or melting. They are representative of a complex evolution. In the Jacuí region is admitted magmatic and metamorphic fluids interaction. In the Bom Jesus da Penha/Nova Resende region predominates metamorphic fluids. These fluids carried gold possibly in chlorinated complex, and their precipitation was resultant probably of fluids mixing and unmixing, besides different fluid-rocks interactions.

The reported features admitted to associate the local mineralizations to Au (Ag) mesothermal deposits – dynamic metamorphic model, possibly “quartz lode and lens with free microcrystalline gold” type (*Bourneix* type).

1. INTRODUÇÃO

Na região sudoeste de Minas Gerais ocorrem concentrações auríferas do tipo aluvionar, eluvionar, coluvionar e residual, das quais muitas já foram exploradas desde os Bandeirantes.

Por conta dessas explorações, inúmeros projetos de mapeamento, prospecção e pesquisa mineral foram implementados por empresas mineradoras privadas, estatais e universidades públicas, visando descobrir mineralizações auríferas primárias (fontes), supostamente presentes nesses terrenos de idade pré-cambriana.

Com um enfoque metodológico diferenciado daqueles já realizados anteriormente na região, a B.P. Mineração detectou um grande número de alvos indiretos (geofísicos e geoquímicos) e diretos (indícios e ocorrências), alguns dos quais, no decorrer dos trabalhos se transformaram em prospectos e foram objetos de vultuosos investimentos.

Este é o caso de quatro ocorrências auríferas hospedadas em zonas de cisalhamento, denominadas como prospectos Boa Vista, Lenhoso, Gravatá e Colônia, localizados próximos às cidades de Jacuí, Bom Jesus da Penha e Nova Resende, **e que constituem o objeto de estudo do presente trabalho.**

A empresa Rio Tinto Desenvolvimento Mineral Ltda (RTDM), atual detentora dos direitos minerários dessas áreas, disponibilizou para o presente estudo parte das informações que constitui o acervo de dados e informações geológicas dos prospectos auríferos da região. Tais informações, associadas e interpretadas junto a dados complementares obtidos através de trabalhos de campo e laboratório, constituem o embasamento para o modelo de mineralização aurífera proposto na presente Tese de Doutorado.

1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO ÀS ÁREAS DE ESTUDO

Os quatro prospectos auríferos estudados localizam-se na região sudoeste do estado de Minas Gerais (Fig. 1-1), e compõem uma área que contém as cidades de Jacuí e Bom Jesus da Penha e ainda o distrito de Petúnia, pertencente ao município de Nova Resende. Essa área está contida entre as seguintes coordenadas geográficas:

Longitude 46° 25' - 47° 00'W e latitude 20° 45' - 21° 15'S

O posicionamento geográfico de cada um dos prospectos estudados é ilustrado na Figura 1-2, os quais apresentam as seguintes coordenadas UTM:

- Prospecto Boa Vista – 7674,1 a 7676,1 N e 307,5 a 311,4 E;
- Prospecto Lenhoso – 7675,6 a 7677,3 N e 315,3 a 319,4 E;
- Prospecto Gravatá – 7676,3 a 7681,2 N e 337,7 a 342,7 E;
- Prospecto Colônia – 7675,3 a 7679,3 N e 345,4 a 350,9 E.

O acesso à região é feito através das rodovias que fazem a ligação de São Paulo a Ribeirão Preto, SP-330; Ribeirão Preto a São Sebastião do Paraíso, já em Minas Gerais, SP-351; e São Sebastião do Paraíso a Itá de Minas, MG-050 (Fig. 1-1).

Partindo de São Sebastião do Paraíso, é possível seguir por Termópolis até Jacuí (Fig. 1-2), ou ainda próximo à localidade de Três Fontes (na MG-050) acessar uma estrada de terra até o município de Fortaleza de Minas. A partir de Fortaleza de Minas chega-se a Jacuí, que dá acesso à cidade de Bom Jesus da Penha e ao distrito de Petúnia.

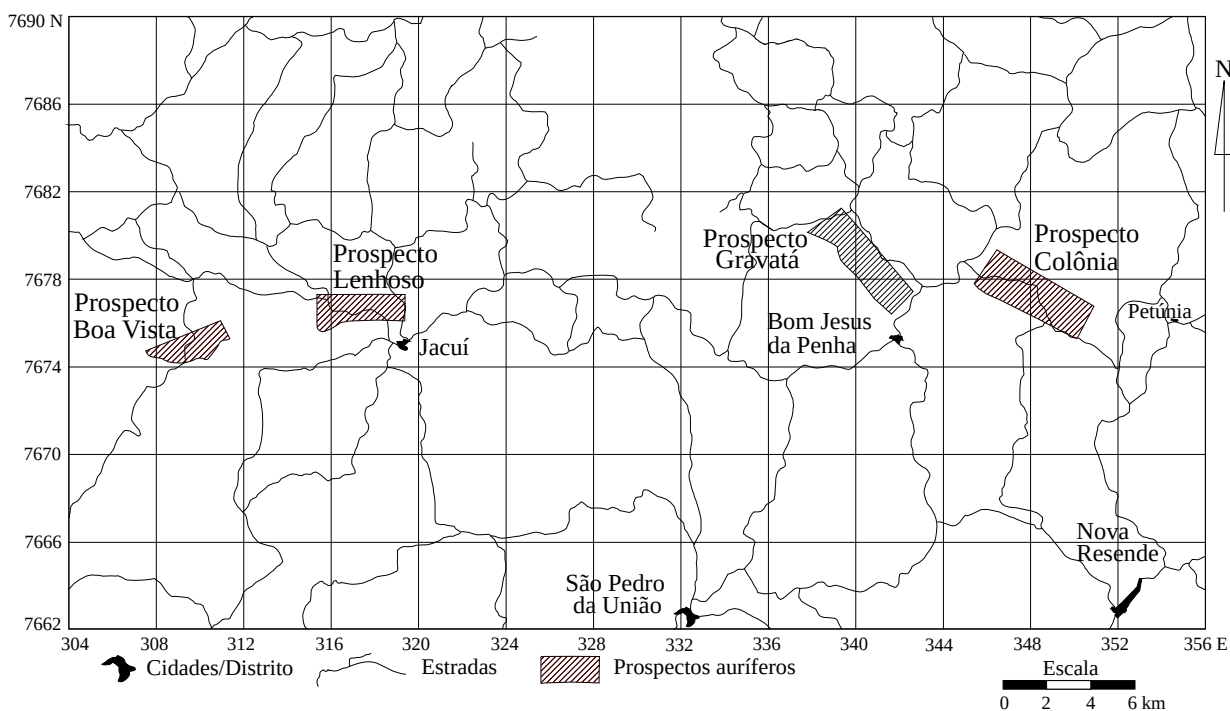
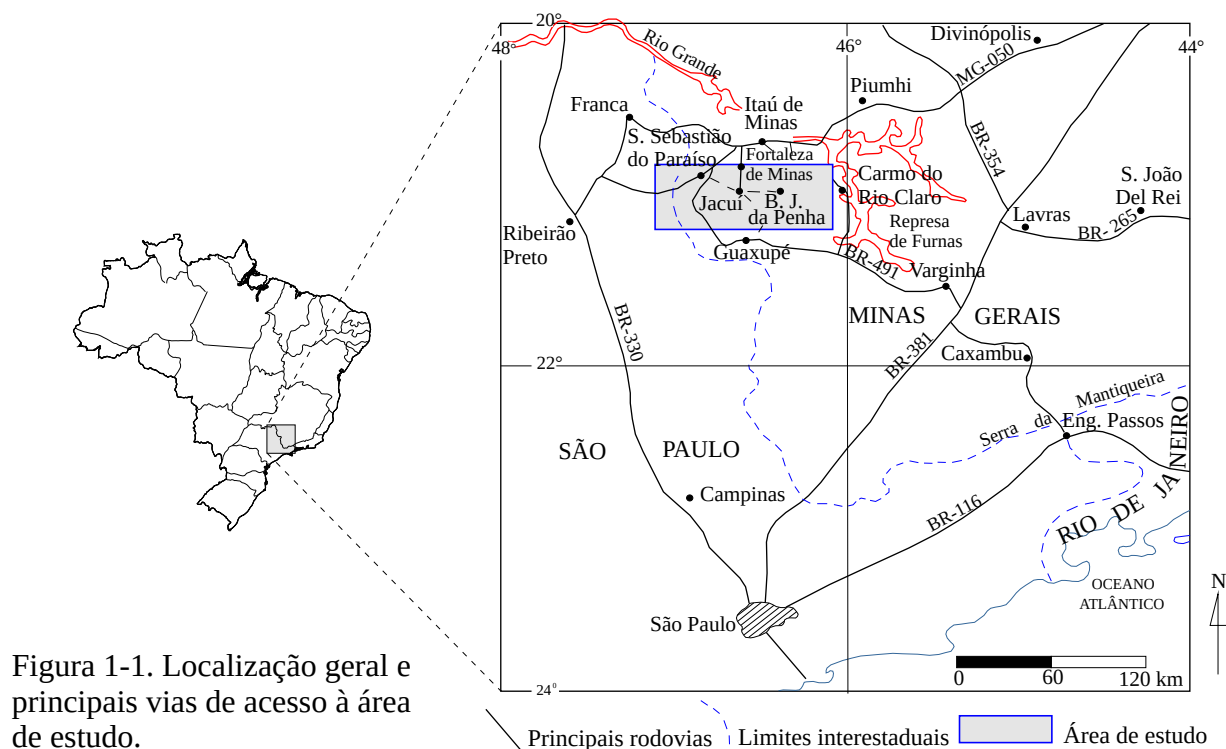


Figura 1-2. Localização e vias de acesso dos prospectos auríferos estudados.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é o entendimento dos processos metalogenéticos que propiciaram a formação de concentrações auríferas em zonas de cisalhamento presentes na região de Jacuí, Bom Jesus da Penha e Nova Resende, no sudoeste de Minas Gerais.

O êxito de se atingir esse objetivo, ou seja, reconhecer o conjunto de entidades e processos interligados que originaram essas ocorrências auríferas, passam necessariamente por vários objetivos intermediários, dentre os quais destacam-se:

1. Caracterização petrográfica, metamórfica, geoquímica e estrutural das litologias presentes nos quatro prospectos abordados;
2. Análise do ambiente geotectônico e da tectônica formadora e deformadora regional;
3. Discriminação e elaboração de um modelo estrutural, enfatizando as relações temporais/espaciais das zonas de cisalhamento e sistemas de veios/rochas associadas e hospedeiras das mineralizações em cada prospecto;
4. Caracterização das associações de minerais (transparentes e opacos) presentes nas partes mineralizadas (prospectos) das zonas de cisalhamento;
5. Caracterização química dos elementos maiores e traços presentes nas associações minerais de natureza hidrotermal ou não, que constituem o minério aurífero;
6. Caracterização da natureza e evolução dos fluídos mineralizantes, mineralogia hidrotermal, mecanismos de transporte e trapeamentos envolvidos na concentração do minério.

1.3. MÉTODO DE TRABALHO

Para a consecução dos objetivos propostos, foram utilizados métodos e equipamentos rotineiros para o tipo de abordagem requerida. Nesse sentido, os trabalhos realizados durante a pesquisa podem ser agrupados como trabalhos de campo, laboratório e escritório.

Várias etapas de campo (totalizando em torno de sessenta - 60 - dias) propiciaram o detalhamento da arquitetura, contexto lito-estrutural e metamórfico de cada área pesquisada, constando de descrição litológica e estrutural de afloramentos rochosos (descrição de 439 pontos) e de desenvolvimento de perfis geológicos.

Durante esses trabalhos de mapeamento geológico, foram realizadas amostragens de diferentes materiais para discriminar os diferentes litotipos presentes nos distintos prospectos, bem como também serviram para embasar os estudos necessários para confecção dos modelos metalogenéticos para cada alvo.

Os trabalhos laboratoriais compreenderam o desenvolvimento dos seguintes estudos:

1. Trabalhos de caracterização mineralógica/microestrutural e de química mineral das associações de minerais presentes nas rochas e constituintes do minério. Esses

trabalhos envolveram técnicas de microscopia óptica, metalografia e difração de Raios-X (laboratórios de microanálises do IGCE-Unesp), microscopia eletrônica de varredura com EDS acoplado (Laboratório Multiusuário IG-Unicamp) e microsonda eletrônica (Laboratório de M.E. – IG-UFRGS), totalizando a análise de cinquenta e quatro (54) amostras;

2. Trabalhos de caracterização geoquímica das rochas presentes nos quatro prospectos, utilizando técnicas de ICP, absorção atômica e Fluorescência de Raios-X em trinta e nove (39) amostras (Laboratório Lakefield Geosol);
3. Caracterização das fases fluídas por meio de estudos de microtermometria em nove (09) amostras (Laboratório de microanálise – IGCE-Unesp) e microespectroscopia Raman em três (03) amostras (Laboratório Multiusuário IG-Unicamp) em inclusões fluídas hospedadas em veios de quartzo.

Dentre os trabalhos de escritório realizados se destacam aqueles de revisão bibliográfica, abordando tanto os aspectos geológicos regionais e das áreas investigadas, como também sobre tipologias e modelos de mineralizações auríferas, realizados continuamente, além de fotointerpretação, análise de cartas topográficas, confecção de mapas e perfis geológicos, análise de *logs* de sondagem, tratamento dos diversos dados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa, bem como também daqueles concedidos pela empresa detentora dos direitos minerais das áreas.

No tratamento de dados e confecção das diversas figuras inseridas no presente trabalho foram utilizados os *softwares* Minpet 2.0, Surfer 6.0, AutoCad 2000, CorelDraw 9.0, Stereonet 3.0, Excel 2000 e Minitab 11.12.

A integração, discussão e interpretação de todas as informações obtidas e a conseqüente proposição do modelo metalogenético são apresentadas na forma da presente Tese de Doutorado.

Apresenta-se a seguir de maneira sumária os principais aspectos geológicos das unidades lito-estruturais mencionadas e ilustradas nas Figuras 2-1 a 2-3.

2.1. COMPLEXO GUAXUPÉ

O Complexo Guaxupé (denominado por Cavalcante *et al.*, 1979 como Complexo Varginha) é caracterizado por rochas de alto grau metamórfico, que compreendem granitóides, ortognaisses e migmatitos diversos, charnockitos e granulitos, aos quais associam-se rochas supracrustais diversas, representadas principalmente por paragnaisses, quartzitos, xistos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas, anfibolitos e metaultrabasitas.

Estudos realizados por Zanardo *et al.* (1990) atribuem às rochas do Complexo Guaxupé pressões entre 7 e 8 kb e temperaturas entre 825 e 860°C, correlacionáveis a uma profundidade em torno de 27 km e metamorfismo de baixa a média pressão, enquanto Del Lama *et al.* (2000) estabelecem condições máximas de 950°C e 14 kb.

Segundo esses mesmos autores, a estruturação desse complexo é marcada por foliação de baixo ângulo, voltada principalmente para sudoeste, com transporte de massa para noroeste, e que reflete uma colisão continental progressiva que resultou em processo de deformação de caráter não coaxial.

Movimentação predominantemente de sul para norte na região oriental da Cunha de Guaxupé é reconhecida por Hasui *et al.* (1990), os quais interpretam que um processo de cisalhamento não coaxial tangencial dúctil culminou em um sistema transcorrente W-E tardio ao longo de rampas oblíquas, e que configuram o Cinturão de Cisalhamento Transcorrente Campo do Meio.

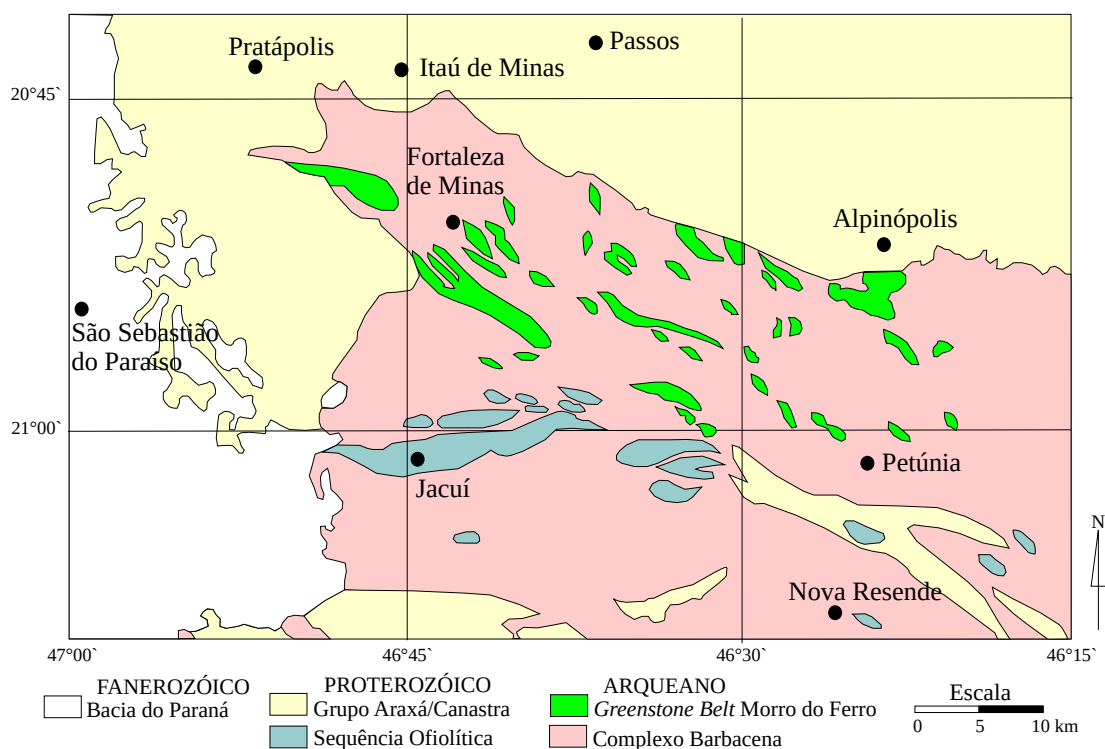


Figura 2-2. Mapa geológico simplificado, ilustrando a distribuição dos terrenos granito-greenstone e da sequência ofiolítica (adaptado de Lobato *et al.*, 2000).

2.2. COMPLEXO BARBACENA

O Complexo Barbacena (também designado Complexo Campos Gerais – Cavalcante *et al.*, 1979) é constituído por diversos tipos de ortognaisses e migmatitos, aos quais se associam faixas metavulcano-sedimentares.

Os migmatitos e granito-gnaisses ostentam foliação principal subvertical resultante de cisalhamento e transposição, freqüentemente com dobras remanescentes associadas.

A composição dos granito-gnaisses é predominantemente à base de biotita e/ou hornblenda, os quais apresentam estruturas facoidais, fitadas e bandadas. Comumente gradam para anatexitos (metatexitos, geralmente com estruturas dobradas, pitgmáticas, estictiolíticas e venosa; diatexitos predominantemente com estruturas tipo *schlieren* e nebulítica, e granitóides de composição granodiorítica a tonalítica).

Entre os migmatitos predominam aqueles de estrutura agmatítica, *schöllen*, *schlieren*, acamados e dobrados, tendo como paleossoma gnaisses, anfibolitos e rochas ultrabásicas (hornblenditos e actinolitos principalmente), sendo que o neossoma é representado por material granitóide, diorítico e granítico. Comumente a composição

mineralógica das rochas supracitadas é representada por quartzo, oligoclásio, andesina e/ou albita, hornblenda e biotita, e ainda com ou sem microclínio, que pode constituir a fase dominante.

De acordo com Zanardo *et al.* (1990) as porções remobilizadas mais evoluídas e/ou tardias dos migmatitos apresentam composições monzo a sienograníticas, enquanto as menos evoluídas ostentam composições tonalíticas a granodioríticas.

O grau metamórfico registrado para a associação litológica da referida unidade é equivalente a fácies anfibolito alto (Carvalho, 1990), com temperatura mínima de 650°C para a região norte (Zanardo, 1992) e 740°C e 8,7 kb para a porção sul (este último autor e Del Lama *et al.*, 1992).

As rochas do Complexo Barbacena ocorrem sob a forma de porções pouco deformadas, normalmente lenticulares, circundadas por áreas miloníticas com feições anastomosadas (Morales *et al.*, 1991, 1996).

A evolução metamórfica, de acordo com Zanardo (*op. cit.*), representada por caminhamentos horários, é compatível com zonas de colisões continentais.

As faixas metavulcano-sedimentares que ocorrem embutidas no Complexo Barbacena representam uma seqüência do tipo *Greenstone Belt*, que é descrita a seguir.

2.2.1. *Greenstone Belt* Morro do Ferro

Regionalmente as seqüências metavulcano-sedimentares formam faixas alongadas com orientação WNW, são estreitas, descontínuas e paralelas entre si, e ocorrem embutidas no Complexo Barbacena (Fig. 2-3).

Face à policiclicidade dos processos geológicos atuantes no decorrer do tempo geológico, essas seqüências apresentam complexos padrões deformacionais e metamórficos, os quais são responsáveis pela lenticularização, deformação, aloctonia e individualização de corpos litológicos no interior das seqüências, configurando regionalmente um padrão amendoado.

Teixeira (1978) e Teixeira & Danni (1979a,b), interpretam e reúnem essas seqüências, bem como a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha-Conceição da Aparecida como sendo integrantes de uma seqüência *greenstone*, por eles denominada de *Greenstone Belt* Morro do Ferro.

A organização estrutural das rochas pertencentes à seqüência *greenstone*, em conjunto com os migmatitos hospedeiros, de acordo com Hasui & Oliveira (1984), estão contidas na área de abrangência do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio.

Assim, as seqüências metavulcano-sedimentares que constituem as faixas Fortaleza de Minas-Alpinópolis e Caieiras, compõem, juntamente com seu embasamento, terrenos arqueanos do tipo granito-*greenstone*.

Segundo Carvalho *et al.* (1992), o *Greenstone Belt* Morro do Ferro é constituído por rochas metaultrabásicas, representadas por serpentinitos, talco xistos e metapiroxenitos; rochas metabásicas, caracterizadas por clorita-actinolita/tremolita xistos, talco-clorita xistos e talco-clorita-actinolita/tremolita xistos; comparecendo ainda rochas metassedimentares que correspondem às associações quartzíticas, metachertes e formações

ferríferas. Zanardo (1992) refere-se às rochas ultramáficas/ultrabásicas da sequência *greenstone* como representadas principalmente por xistos e *fels* constituídos por clorita, actinolita/tremolita, serpentina, talco, hornblenda, cummingtonita e antofilita/gedrita, além ainda serpentinitos, anfibolitos e hornblenda diopsiditos.

Esses litotipos metavulcânicos apresentam paragêneses metamórficas de fácies xisto verde (Carvalho, 1982) a localmente fácies anfibolito (Zanardo, *op. cit.*). As heterogeneidades metamórficas são consideradas por esse segundo autor como de natureza retrógrada, associada a zonas de cisalhamento, sendo considerado que o metamorfismo da sequência iniciou em fácies anfibolito, estando seu término condicionado à fácies xisto verde, com temperaturas inferiores a 300°C. Já os metassedimentos, de acordo com Del Lama (1993), no auge metamórfico foram calibrados em torno de 650-700°C e 6 a 7 kb, apresentando temperaturas de equilíbrio retrometamórfico equivalentes a 391-535°C.

Estudos realizados por Carvalho *et al.* (1998) indicam temperaturas superiores a 750°C e condições de pressão da ordem de 5 a 6 kb para o ambiente geológico regional dessa unidade, o que é corroborado pelos estudos desenvolvidos por Fernandes (1997), que com base nas associações minerais em formações ferríferas bandadas, também reconhece grau metamórfico situado na fácies anfibolito.

2.3. GRUPO ARAXÁ/CANASTRA

Devido às similaridades na evolução tectono-metamórfica dos grupos Araxá e Canastra, Heilbron *et al.* (1987) os consideram como uma única unidade, sendo que a fácies proximal representa a Unidade Canastra, enquanto a sedimentação imatura, com contribuição vulcânica, é representante da Unidade Araxá. Esta denominação foi mantida por vários autores, embora tenha sido contestada por Simões (1995) e ainda representadas separadamente por Del Lama *et al.* (2000) e Zanardo *et al.* (2000).

Na região o Grupo Araxá/Canastra é representado por quartzitos, xistos e muscovita e/ou biotita gnaisses, ocasionalmente com intercalações anfibolíticas (Morales *et al.*, 1996).

Para a base dessa unidade, Zanardo *et al.* (1990) sugerem o limite superior da fácies xisto verde, embora Zanardo (1992) e Feola (1999) considerem a possibilidade desta ter atingido o limite inferior da fácies anfibolito.

Teixeira & Danni (1978) descrevem na região de Passos um meganticlinal recumbente, com flanco inverso dobrado, transladado de sudoeste para nordeste como uma grande *nappe de charriage* sobre o embasamento granito-gnáissico. São atribuídas a essa unidade três fases de dobramentos, sendo a mais antiga associada ao desenvolvimento da *nappe* (Morales *et al.*, 1983).

As estruturas do Grupo Araxá/Canastra são consideradas por Hasui *et al.* (1989) como feições de tectônica de cavalgamento, com transporte de sul para norte na região de Pium-hi, as quais foram complicadas por sistemas transcorrentes e dobramentos tardios.

Os metassedimentos desse grupo cavalgam os terrenos granito-*greenstone*, sendo considerados como empurrados de oeste para leste (Simões *et al.*, 1988; Zanardo *et al.*, *op. cit.* e Zanardo, *op. cit.*).

Na região central apresentada nos mapas das Figuras 2-1 a 2-3, afloram as rochas consideradas como parte basal do Grupo Araxá/Canastra, constituindo uma seqüência metavulcano-sedimentar, designada “Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha”. Esta seqüência, descrita a seguir, representa a área que é o objeto de estudo da presente pesquisa.

2.3.1. Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha

Os litotipos que constituem a seqüência metavulcano-sedimentar da Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha, como na seqüência *greenstone*, também constituem camadas alongadas, estreitas e descontínuas, mas diferem na sua orientação geral, caracterizada pela direção predominante E-W (Figs. 2-2 e 2-3). Essas camadas se apresentam lenticularizadas, deformadas e freqüentemente exibem um padrão amendoado.

Os constituintes dessa faixa diferem ainda da seqüência *greenstone* quanto ao ambiente hospedeiro, representado pelo Grupo Araxá/Canastra. De acordo com Soares *et al.* (1991), Zanardo (*op. cit.*), Roig (1993), Zanardo *et al.* (1996), Carvalho *et al.* (1998) e Lobato *et al.* (2000), essa faixa constitui uma seqüência ofiolítica de idade proterozóica posicionada estratigraficamente na base do Grupo Araxá/Canastra.

Zanardo *et al.* (1996) caracterizaram litotipos com composições mineralógicas e/ou texturas condizentes com dunitos, ortopiroxenitos, peridotitos (harzburgitos), olivina piroxenitos e gabros, embora ressaltem a grande dificuldade de reconhecimento dessas feições. De acordo com Choudhuri (1980) as rochas ultramáficas presentes nas proximidades de Jacuí não ostentam características de derrames komatiíticos, devendo pertencer a corpos diferenciados.

Embora as relações litológicas entre as seqüências interpretadas como *greenstone* e essas caracterizadas como terrenos de fundo oceânico ainda não tenham sido bem estudadas com respeito ao quimismo, o que impede considerações mais detalhadas concernentes à filiação das rochas metavulcânicas, Teixeira *et al.* (1987) apontam diferenças quanto à estruturação, deformação, espessura dos derrames e ainda metassedimentos intercalados. Além disso, texturas *spinifex*, descritas nas seqüências de Fortaleza de Minas, Alpinópolis e Caieiras, ainda não foram encontradas nas seqüências de Nova Resende e Jacuí.

Segundo Teixeira *et al.* (*op. cit.*), a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha é constituída por metassedimentos pelíticos, xistos magnesianos e anfibolitos, sendo que as rochas metabásicas/ultrabásicas apresentam intensa e complexa associação com as rochas do embasamento.

As seqüências metavulcano-sedimentares da região entre Jacuí e Nova Resende, ocorrem intimamente associadas a quartzitos e xistos, sendo as encaixantes representadas por paragneisses migmatizados. São comuns ainda nas seqüências intercalações de quartzitos, anfibolitos granatíferos e gnaisses granodioríticos.

Todo o conjunto apresenta-se completamente deformado e cortado por sistemas de falhas diversas, com o metamorfismo atingindo a fácies anfibolito superior (Teixeira *et al.*, *op. cit.*, Zanardo, 1992).

Roig & Schrank (1992) reconhecem que as seqüências formam uma faixa descontínua de Jacuí a Conceição da Aparecida, e associam essa dilaceração à tectônica colisional. De acordo com esses autores, dois processos tectônicos atuaram nessa unidade, sendo o primeiro de caráter tangencial/oblíquo dúctil, e que foi responsável pela geração de uma superfície de cavalgamento e zonas de milonitização, enquanto no segundo evento superimposto foram gerados os sistemas transcorrentes rúpteis e rúpteis-dúcteis.

2.4. GRUPO BAMBUÍ

Representando uma seqüência metassedimentar de idade neoproterozóica, o Grupo Bambuí é constituído por ardósias, filitos com lentes de mármore, metadiamicitos e conglomerados (Teixeira *et al.*, *op. cit.*).

Outros autores admitem que parte das rochas incluídas na porção mais inferior da unidade alóctone (Grupo Araxá/Canastra) correspondem a uma outra seqüência, denominada inicialmente por Heibron *et al.* (1987) de Seqüência Carmo do Rio Claro. Posteriormente, Valeriano *et al.* (1989) excluíram dessa seqüência a porção inferior, constituída por ardósias, metacalcários e metaconglomerados, correlacionando-as ao Grupo Bambuí.

Nas proximidades de Fortaleza de Minas essa seqüência é representada por um pacote descontínuo de metassedimentos muito finos (filonitos) associados a mármore, e que em nível regional representam intercalações tectônicas (Zanardo, *op. cit.*, Feola, 1999). Segundo Morales *et al.* (1996), a Seqüência Carmo do Rio Claro constitui um conjunto de metassedimentos de baixo grau metamórfico.

Atualmente as rochas atribuídas a esta seqüência foram incluídas no Grupo Bambuí, cabendo ressaltar que ainda existem dúvidas quanto ao limite entre este e o Grupo Araxá, especialmente na região em apreço, em função da complexidade estrutural resultante da superposição da tectônica tangencial e direcional, que promoveram imbricamento tectônico das distintas unidades, além de catalisar intensa recalibragem retrometamórfica.

2.5. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O estudo das interrelações entre as distintas unidades geológicas presentes na região tem recebido contribuições de diversos autores que remontam à década de 60, sendo abaixo apresentado somente os estudos mais recentes.

Hasui *et al.* (1988) apresentam um modelo de colisão continental oblíqua, que segundo esses autores iniciou com a formação de bacias sedimentares marginais nos blocos Brasília e São Paulo, as quais foram submetidas a um estágio de rifteamento e possível abertura oceânica, além da geração de bacias internas sem abertura oceânica. Aventam ainda que todo esse conjunto foi submetido à tectônica tangencial, gerada por um evento colisional oblíquo, através do qual desenvolveram-se zonas de cisalhamento dúctil

de baixo ângulo, seguido de deflexão em zonas de cisalhamento transcorrentes de alto ângulo, e ainda rotação entre os blocos crustais.

Soares (1988) e Soares *et al.* (1990) apresentam um modelo regional de colisão oblíqua, para a compreensão da região sudoeste de Minas Gerais, e principalmente para a área estudada. Segundo esses autores, a preservação, geometria e deformação das seqüências vulcano-sedimentares em nível regional, são entendidas como sendo um dos resultados da tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do Cráton do São Francisco, no Maciço Guaxupé. Face a esta colisão, estabeleceram-se condições necessárias para a preservação destas associações supracrustais do tipo *greenstone belt* em estruturas sinformais do embasamento cristalino (em dois ambientes geotectonicamente distintos) e para acreção de terrenos do tipo fundo oceânico de idade proterozóica.

De acordo com Zanardo (1992), a região apresenta três domínios litoestruturais principais, sendo caracterizado a norte o conjunto alóctone Araxá/Canastra, na porção central pelos terrenos do embasamento (Complexo Barbacena) e na região sul por rochas de alto grau metamórfico (Complexo Guaxupé), os quais estão separados por zonas de cisalhamento de baixo ângulo e que foram posteriormente modificadas por cisalhamento de alto ângulo. Esse autor considera ainda que uma tectônica distensiva, seguida de colisão frontal do Bloco Brasília com o Bloco Paraná, promoveu a aloctonia do Grupo Araxá/Canastra com direção E a ESE, sendo que posteriormente o Bloco São Paulo cavalgou o Bloco Brasília em sentido NW através de rampa lateral, e em rampa oblíqua a frontal o Bloco Paraná. A tectônica tangencial evolui para uma tectônica direcional, em função do ajuste dos Blocos envolvidos, resultando na implantação do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio.

Hasui *et al.* (1993) apresentam para uma ampla região que contempla a área em estudo, um modelo de colisão continental, abordando a dinâmica espacial e temporal da formação de grandes blocos crustais no Arqueano, sobre os quais desenvolveram-se as bacias sedimentares proterozóicas, tais como a Faixa Alto Rio Grande, no Bloco Brasília, e a Faixa Ribeira, no Bloco São Paulo, associando ao modelo todas as implicações tectono-metamórficas que ocorreram posteriormente na área.

2.6. CONCENTRAÇÕES MINERAIS DESCRITAS NA REGIÃO

Autores diversos têm descrito várias concentrações minerais na região sudoeste do Estado de Minas Gerais. Os primeiros trabalhos mineiros na região próxima à cidade de Itaú de Minas foram desenvolvidos pela Companhia Eletrometalúrgica de Ribeirão Preto, onde foram lavrados os depósitos hematíticos do Morro do Ferro, entre 1922 a 1925. Foi nesta época que se descobriu no então Morro Pelado, hoje denominado Morro do Níquel, a presença de veios garnieríticos, caracterizado em 1930 como um depósito de níquel laterítico. Estudos referentes à viabilidade econômica e a metalurgia do níquel silicatado do depósito, só foram publicados nas décadas de 60 e 70, inicialmente com uma pequena nota de Hasui *et al.* (1962).

Posteriormente, nessa mesma região foi reconhecido e definido por Teixeira (1978) um Cinturão Vulcano-Sedimentar, designado como "Morro do Ferro". Estudos de natureza geológica e do potencial de mineralização nesse cinturão foram realizados por Carvalho (1983), que caracterizou importantes afloramentos de gossans e delimitou as anomalias geoquímicas e geofísicas para níquel, cobre e cobalto, correspondentes ao Depósito de Sulfeto Maciço de Ni-Cu-Co, descoberto *a posteriori*.

Em 1983, a B.P. Mineração adquiriu de uma empresa particular os alvarás de pesquisa e o respectivo acervo geológico dessa região, e após intensa campanha de prospecção regional em todo o sul de Minas Gerais, veio a descobrir o primeiro depósito sulfetado de níquel e cobre do país, localizado em Fortaleza de Minas.

Nesse depósito, denominado Depósito Fortaleza de Minas, segundo Brenner *et al.* (1990), as mineralizações são constituídas por sulfetos a base de Fe, Ni, Cu e Co, com quantias subordinadas de ouro e elementos do grupo da platina. O estudo desses últimos elementos foi realizado por Almeida (2003). Carvalho *et al.* (1999) atribuem a processos tectono-metamórficos a gênese e transformação do depósito.

Fernandes (1997) estudou as formações ferríferas presentes no entorno deste depósito, caracterizando pela primeira vez o quimismo destas rochas, e classificando-as como fácies do tipo óxido, silicato e sulfeto de formações ferríferas do tipo Algoma.

Na região de Fortaleza de Minas e proximidades, ocorrem ainda camadas de metafosforito, chegando a atingir 25% de P_2O_5 , conforme descrito por Carvalho *et al.* (2000).

Na Seqüência Metavulcano-Sedimentar de Alpinópolis, integrante dos terrenos granito-*greenstone*, Carvalho & Moreschi (1992), Carvalho *et al.* (1992, 1993 e 1996) caracterizam em profundidade várias ocorrências sulfetadas do tipo *stratabound*, hospedadas em rochas metassedimentares e metavulcânicas pertencentes ao *Greenstone Belt* Morro do Ferro, na região de Alpinópolis. Segundo estes autores, o minério sulfetado é constituído por pirrotita e pirita, e secundariamente por esfalerita, calcopirita, pentlandita e millerita. Nessa mesma seqüência, Angeli *et al.* (1999) confirmam a ocorrência de platinóides no minério sulfetado.

Especificamente com relação à presença de ouro na região, em 1986, a B.P. Mineração avaliou e/ou descobriu vários prospectos auríferos na região, com destaque para as ocorrências JS-1 e Córrego do Salvador I e II, localizadas nas imediações das cidades de Fortaleza de Minas e Itaú de Minas.

A ocorrência JS-1, em particular, foi estudada por Feola (1999) e Feola *et al.* (1999a), que caracterizaram uma reserva de aproximadamente 500 kg de Au. O depósito foi classificado por esses autores como filoniano, hidrotermal, hospedado em rochas pertencentes ao Grupo Araxá/Canastra, condicionado estruturalmente ao desenvolvimento do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio. As demais ocorrências auríferas (Córrego do Salvador I e II), também foram estudadas por Feola *et al.* (1999b) e consideradas tipologicamente similares às do Depósito JS-1.

Mais a sul, na região de Jacuí, Bom Jesus da Penha e Petúnia, ocorrem quatro prospectos, ilustrados na Figura 2-3, e que correspondem às áreas alvos do presente estudo.

Ainda nessa região, em rochas metaultramáficas com intercalações de rochas metassedimentares, interpretadas como integrantes de uma seqüência ofiolítica, nas proximidades das cidades de Jacuí e Nova Resende, são conhecidas várias ocorrências de cromita, além de várias ocorrências de amianto, já parcialmente explotadas (Cavalcante *et al.*, 1979; Roig, 1993).

3. GEOLOGIA LOCAL

De modo sumário, a área de interesse geológico da presente pesquisa, designada Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha-Conceição da Aparecida (Roig, 1993), está localizada entre rochas pertencentes ao Complexo Barbacena a norte e rochas do Complexo Guaxupé a sul (Fig. 2-1). Esta faixa constitui uma seqüência metavulcano-sedimentar hospedada na base do Grupo Araxá/Canastra, e representa uma *mélange* ou complexo ofiolítico.

As Figuras 2-2 e 2-3 ilustram a distribuição geográfica da referida seqüência, constituindo uma faixa alongada de direção E-W a NW-SE, que é definida por um conjunto de rochas metavulcânicas/plutônicas de composição básica a ultrabásica associado a metassedimentos diversos. Nas proximidades da área de estudo, junto à unidade hospedeira, reúnem xistos, quartzitos, metagrauvacas e paragneisses de composição mineralógica variada, e mais subordinadamente rochas calcissilicáticas, formações ferríferas, anfibolitos e metamafitos/ ultramafitos.

No presente capítulo é apresentado um estudo pormenorizado dos litotipos presentes na Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha, abordando seus aspectos deformacionais e metamórficos nas áreas portadoras de concentrações auríferas (prospectos).

Dessa forma, são apresentados os estudos de detalhe em quatro áreas no interior dessa faixa. Por estarem localizadas próximas aos ribeirões Boa Vista e Lenhoso, no município de Jacuí, duas dessas áreas receberam a designação de Prospecto Boa Vista e Prospecto Lenhoso (Fig. 2-3). Do mesmo modo, o Prospecto Gravatá, localizado no município de Bom Jesus da Penha, e o Prospecto Colônia, localizado na região próxima a Petúnia, no município de Nova Resende, têm seus nomes relacionados aos locais de jazimento, respectivamente, a Fazenda Gravatá e o Córrego Colônia (Fig. 2-3).

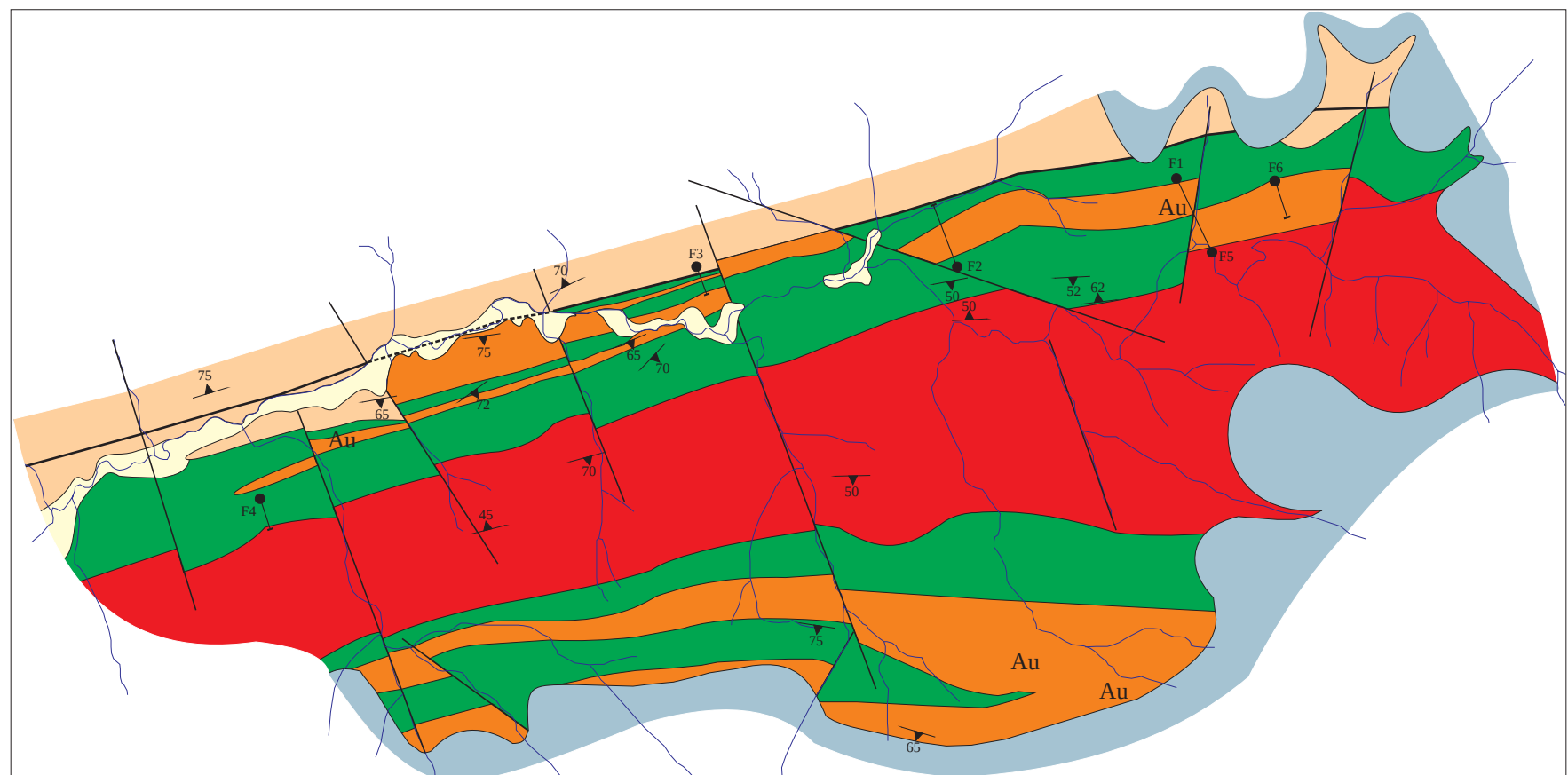
3.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GERAIS DAS ÁREAS ESTUDADAS

Abaixo são apresentadas as principais características geológicas dos quatro prospectos estudados, considerando-se as suas constituições litológicas (parcialmente ilustradas nas Fotografias 3.1-1 a 3.1-8), distribuição, geometria e inter-relação entre camadas e ainda suas feições estruturais de âmbito regional. Essas informações, de caráter local, suportam interpretações de cunho mais regional, que serão apresentados *a posteriori*.

O quadro 3-1 condensa informações sobre os principais litotipos presentes em cada prospecto, bem como também apresenta posicionamento estratigráfico destes e fornece uma idéia de sua freqüência ao nível regional. Mapas de pontos geológicos descritos são apresentados no apêndice 1.

3.1.1. Prospecto Boa Vista

No Prospecto Boa Vista, conforme ilustrado na Figura 3.1-1, são passíveis de mapeamento seis conjuntos litológicos distintos, a saber:



Quaternário

Aluvião

Fanerozóico

Bacia do Paraná

Formação Aquidauana

Arenitos com intercalações pelíticas

Proterozóico

Grupo Araxá/Canastra

Paragneisses finamente bandados, localmente miloníticos e com freqüentes intercalações e fragmentos de rochas da seqüência ofiolítica.

Muscovita/sericita-quartzo xistos, muscovita-granada-biotita xistos, anfibolitos granadíferos, quartzo anfibolitos, rochas calcissilicáticas, metachertes, quartzitos, formações ferríferas e gonditos.

Seqüência Ofiolítica

Clorita-actinolita xistos, clorita xistos, tremolita xistos, talco-antofilita xistos e metachertes, com freqüentes intercalações de anfibolitos.

Mobilizados do Complexo Barbacena

Ortogneisses miloníticos finamente bandado a localmente maciço.

Contato
Falha
Falha encoberta
Foliação
Drenagem

F1 Furo de sondagem

Boca do furo de sondagem

Projeção em superfície do furo de sondagem

Au Ocorrência de ouro constatada em sericita-quartzo xistos, quartzitos, formações ferríferas e metachertes hidrotermais.

N

Escala

0 100 200 300 m

Figura 3.1-1. Mapa geológico do Prospecto Boa Vista.

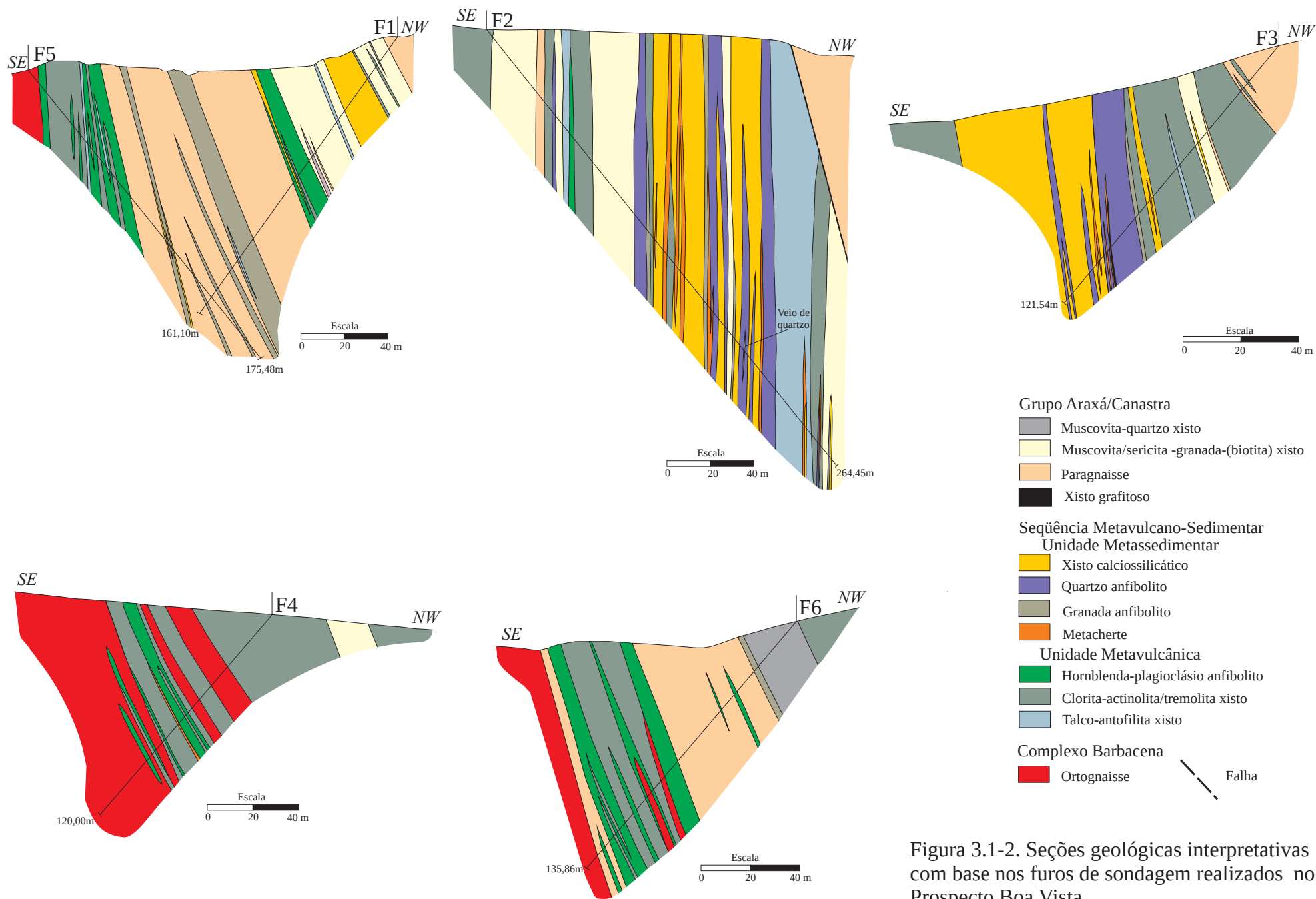


Figura 3.1-2. Seções geológicas interpretativas com base nos furos de sondagem realizados no Prospecto Boa Vista.

- Ortognaisses – representados por diferentes tipos de rochas gnáissicas interpretadas como derivadas de corpos graníticos do Complexo Barbacena, e que tem ocorrência em toda a região central do prospecto;
- Metabasitos/ultrabasitos – representam uma seqüência de rochas de origem vulcânica básica/ultrabásica, portadora de intercalações de camadas de rochas metassedimentares. Esse conjunto é bem representado na Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha, excetuando-se apenas a região central do prospecto, onde não afloram;
- Metassedimentos – representado por ampla variedade litológica, os metassedimentos atribuídos ao Grupo Araxá/Canastra, constituem um conjunto de ocorrência mais freqüente na porção sudoeste/sudeste e restrito a nordeste e noroeste da área;
- Paragnaisses – reúnem rochas gnáissicas paraderivadas do Grupo Araxá/Canastra expostas nos limites nordeste/noroeste do prospecto;
- Sedimentos da Bacia do Paraná – são aflorantes nos limites sudoeste/sudeste e nordeste do prospecto. Correspondem a sedimentos arenosos, freqüentemente com finas intercalações pelíticas, fazendo parte da Formação Aquidauana, de idade Paleozóica e integrante da Bacia do Paraná;
- Sedimentos inconsolidados – representam sedimentação quaternária, freqüentes em aluviões. São predominantemente arenosos a localmente areno-argilosos, dispostos às margens do Córrego Boa Vista. Esses aluviões foram intensamente explorados na época dos Bandeirantes, para extração de ouro.

O mapa geológico do Prospecto Boa Vista (confeccionado em escala 1:10.000) apresentado na Figura 3.1-1 ilustra a distribuição dos conjuntos litológicos descritos, que formam camadas fortemente lenticularizadas e orientadas na direção próxima a E-W a ENE-WSW.

As rochas pertencentes ao embasamento (Complexo Barbacena), representado por ortognaisses miloníticos com mobilizados de composição granítica, se apresentam freqüentemente intemperizadas, sendo comum a presença de intercalações de xistos metabásicos/ultrabásicos, que representam fragmentos da seqüência metavulcânica no seu interior.

A seqüência metavulcano-sedimentar é constituída por uma diversidade de rochas metavulcânicas/plutônicas básicas/ultrabásicas, representada por clorita xistos, actinolita/tremolita xistos e subordinadamente por antofilita xistos, nos quais são comuns intercalações de metachertes e anfibolitos.

Gnaisses miloníticos e gnaisses finamente bandados, considerados por autores diversos como constituintes do Grupo Araxá/Canastra, portanto de caráter paraderivado, ostentam freqüentes intercalações de rochas da seqüência metavulcano-sedimentar e ainda localmente apresentam evidências de injeção de material granítico.

As camadas metassedimentares mapeáveis, que ocorrem intercaladas em meio à seqüência metavulcânica, são representadas por muscovita/sericita-quartzo xistos e ainda por muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos (Fig. 3.1-1). Os quartzo xistos, que ocorrem de forma subordinada, afloram predominantemente na porção sul da área, e normalmente

constituem pequenas elevações, devido à sua resistência ao intemperismo. Já os muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, com frequência exibem intensa alteração intempérica, e comumente se associam a anfíbolitos diversos e rochas calcissilicáticas, sendo ainda freqüente intercalações de metachertes e formações ferríferas. As Fotografias 3.1-3 e 3.1-5 a 3.1-7 ilustram alguns destes litotipos.

A caracterização dessa variedade litológica nem sempre é possível em superfície, devido à ausência de afloramentos e principalmente pelas pequenas dimensões desses corpos litológicos e pelo padrão lenticularizado e disrupto das diversas camadas. Assim, considerando a necessidade de individualização litológica para a correta compreensão das suas inter-relações em profundidade, principalmente nos locais onde ocorrem as principais concentrações auríferas, foi necessária a utilização de informações provenientes de furos de sondagens profundas executadas no prospecto, conforme ilustrado na Figura 3.1-2.

Através dos perfis lito-estruturais interpretativos apresentados na figura supracitada, pode-se observar e confirmar que em profundidade ocorrem intercalações anfíbolíticas em meio a metabasitos e gnaisses graníticos (Fig. 3.1-2 – F4), bem como intercalações de xistos metavulcânicos em paragnaisses, rochas calcissilicáticas em micaxistos e em xistos básicos, metachertes em rochas calcissilicáticas e anfíbolitos em muscovita xistos (Fig. 3.1-2 – F3). Nessa última ilustração observa-se ainda que as rochas calcissilicáticas constituem camadas disruptas subaflorantes. Já na Figura 3.1-2 – F2, além das freqüentes intercalações, é possível observar a marcante verticalização das unidades litológicas, além da projeção de plano de falha associada à zona de cisalhamento.

As unidades litológicas supracitadas são amplamente cortadas por falhamentos diversos (Fig. 3.1-1), que representam estruturas secundárias da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, e que serão abordados no capítulo referente à geologia estrutural.

3.1.2. Prospecto Lenhoso

O Prospecto Lenhoso insere-se no mesmo contexto geológico do Prospecto Boa Vista, sendo caracterizado pela ocorrência de sete unidades mapeáveis na escala 1:10.000, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 3.1-3.

- Ortognaisses – as rochas gnáissicas ortoderivadas ocorrem na região central e a nordeste e sudoeste do prospecto;
- Metabasitos/ultrabasitos – as rochas metavulcânicas/plutônicas, como no Prospecto Boa Vista, também contêm camadas de rochas metassedimentares, e integram a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha, que tem ocorrência na região central e em menor expressão a sudeste e sudoeste do prospecto;
- Metassedimentos – dentre a variedade litológica dos metassedimentos atribuíveis ao Grupo Araxá/Canastra, foi possível a distinção cartográfica de dois conjuntos. Esses ocorrem na região central do prospecto, distribuídos de leste a oeste da área;
- Paragnaisses – rochas gnáissicas paraderivadas do Grupo Araxá/Canastra tem ampla distribuição em toda a região nordeste/noroeste, em grande parte da porção leste e ainda ocorre subordinadamente a sudoeste do prospecto;

- Solos lateríticos – de ocorrência na região centro/sul-sudoeste e em menor expressão a leste da área, foram caracterizados solos de coloração avermelhada (lateríticos), e que possuem evidências de transporte. Localmente apresentam registro recente de exploração por garimpos auríferos;
- Sedimentos inconsolidados – abrangendo a região sudeste-centro-noroeste e ainda secundariamente a porção sudoeste do prospecto, ocorrem expressivos depósitos aluvionares, que constituem corpos arenosos a raramente areno-argilosos contínuos junto às margens do Córrego Lenhoso. Como no Prospecto Boa Vista, o depósito aluvionar que ocorre no Prospecto Lenhoso também já foi explorado, havendo apenas pequenas áreas aparentemente não exploradas.

Conforme descrito no Prospecto Boa Vista, essas unidades litológicas também formam camadas lenticularizadas dispostas com orientação geral na direção próxima a E-W a ENE-WSW (Fig. 3.1-3).

Na porção central desse prospecto afloram rochas pertencentes ao embasamento (Complexo Barbacena), caracterizadas por gnaisses miloníticos (mobilizados graníticos), nos quais são comuns fragmentos da seqüência metavulcânica.

As rochas pertencentes à seqüência metavulcano-sedimentar apresentam-se em camadas constituídas por litotipos de derivação básica/ultrabásica, representados pela associação de clorita xistos, actinolita/tremolita xistos e antofilita xistos, com freqüentes intercalações de camadas de metachertes e anfíbolitos.

Os paragneisses (Grupo Araxá/Canastra) freqüentemente se apresentam milonitizados e localmente também ostentam intercalações de metabasitos/ultrabasitos. Exatamente como no Prospecto Boa Vista, os metassedimentos que ocorrem no Prospecto Lenhoso intercalam-se em meio à seqüência metavulcânica, e constituem os mesmos conjuntos litológicos já caracterizados anteriormente (Fig. 3.1-3).

Nessa área, os muscovita/sericita-quartzo xistos formam uma pequena elevação fortemente alinhada paralelamente à zona de cisalhamento, enquanto os pacotes rochosos caracterizados como muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos comumente se apresentam fortemente intemperizados e se associam irregularmente a diversos litotipos (anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, metachertes, formações ferríferas e localmente gonditos).

As Fotografias 3.1-1 e 3.1-4 a 3.1-6 ilustram alguns dos litotipos supracitados.

Perfis lito-estruturais interpretativos, confeccionados a partir de furos de sondagens profundas para o prospecto em questão, confirmam em profundidade as intercalações litológicas, verticalização e lenticularização das camadas (Fig. 3.1-4) e de intercalações diversas, projeção de plano de falha associado à zona de cisalhamento e ainda a ocorrência de rochas subaflorantes.

Os diversos falhamentos caracterizados no Prospecto Lenhoso também representam estruturas secundárias da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo (Fig. 3.1-3).

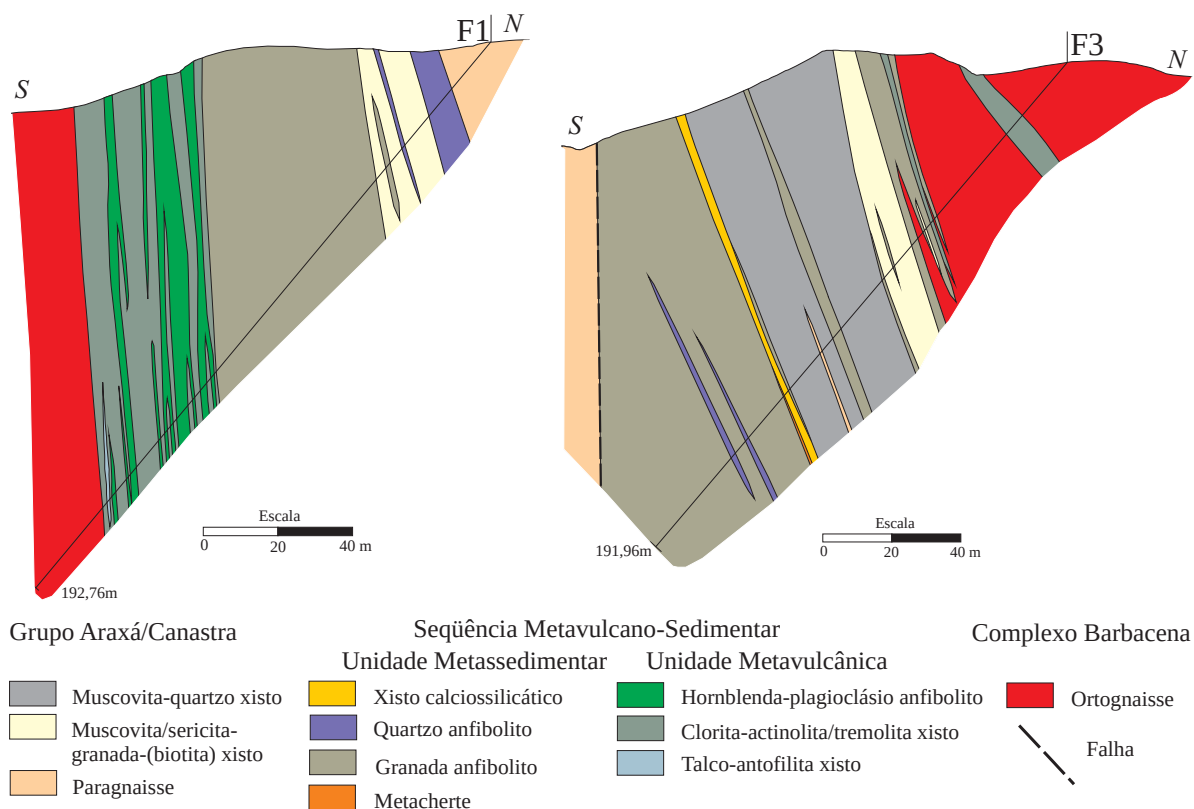


Figura 3.1-4. Seções geológicas interpretativas com base nos furos de sondagem executados no Prospecto Lenhoso.

3.1.3. Prospecto Gravatá

No Prospecto Gravatá foi possível a individualização de nove conjuntos litológicos, conforme ilustrado no mapa geológico apresentado na Figura 3.1-5, que constam de:

- Metabasitos/ultrabasitos – as rochas metavulcânicas/plutônicas que constituem a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha ocorrem em toda a região central e ainda na porção sudoeste do prospecto. Do agrupamento de rochas dessa seqüência, destaca-se o predomínio de xistos metavulcânicos diversos, sendo que rochas anfibolíticas ocorrem predominantemente na porção noroeste e mais restritamente na região centro-sul, enquanto rochas serpentínicas afloram apenas na região sul da área;
- Metachertes – essas rochas de origem química distribuem-se heterogeneamente pela área, tendo sua melhor exposição na região central do prospecto;
- Paragnaisses – as rochas gnáissicas atribuídas ao Grupo Araxá/Canastra têm distribuição predominante junto aos limites da área, ocorrendo apenas localmente pequeno corpo na região norte;
- Metassedimentos – os metassedimentos atribuídos ao Grupo Araxá/Canastra foram individualizados em dois conjuntos. Embora se distribuam irregularmente por todo o prospecto, a região norte constitui a área de maior exposição desses;
- Veios de quartzo – lentes e veios de quartzo passíveis de registro cartográfico afloram na região central e norte do prospecto;

- Sedimentos inconsolidados – sedimentos arenosos a areno-argilosos ocorrem na região noroeste do prospecto, formando depósitos aluvionares expressivos junto às margens do Rio São João.

Embora o Prospecto Gravatá esteja inserido no mesmo contexto geológico dos prospectos Boa Vista e Lenhoso, algumas características o diferencia dos demais. Enquanto os prospectos da região de Jacuí ocorrem hospedados no interior de uma zona de cisalhamento de direção E-W a ENE-WSW (Zona de Cisalhamento Riacho Fundo), este prospecto hospeda-se entre zonas de cisalhamento de direção NW-SE. Embora mais próximo à Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha, considera-se também a influência da Zona de Cisalhamento Mumbuca.

Nesse sentido, os litotipos do Prospecto Gravatá, embora representadas predominantemente por rochas da Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha, além das várias outras já caracterizadas nos prospectos anteriores, apresentam uma configuração espacial distinta, ou seja, o conjunto de rochas que ocorrem nessa área, apresentam-se lenticularizados e dispostos na direção NW-SE (Fig. 3.1-5).

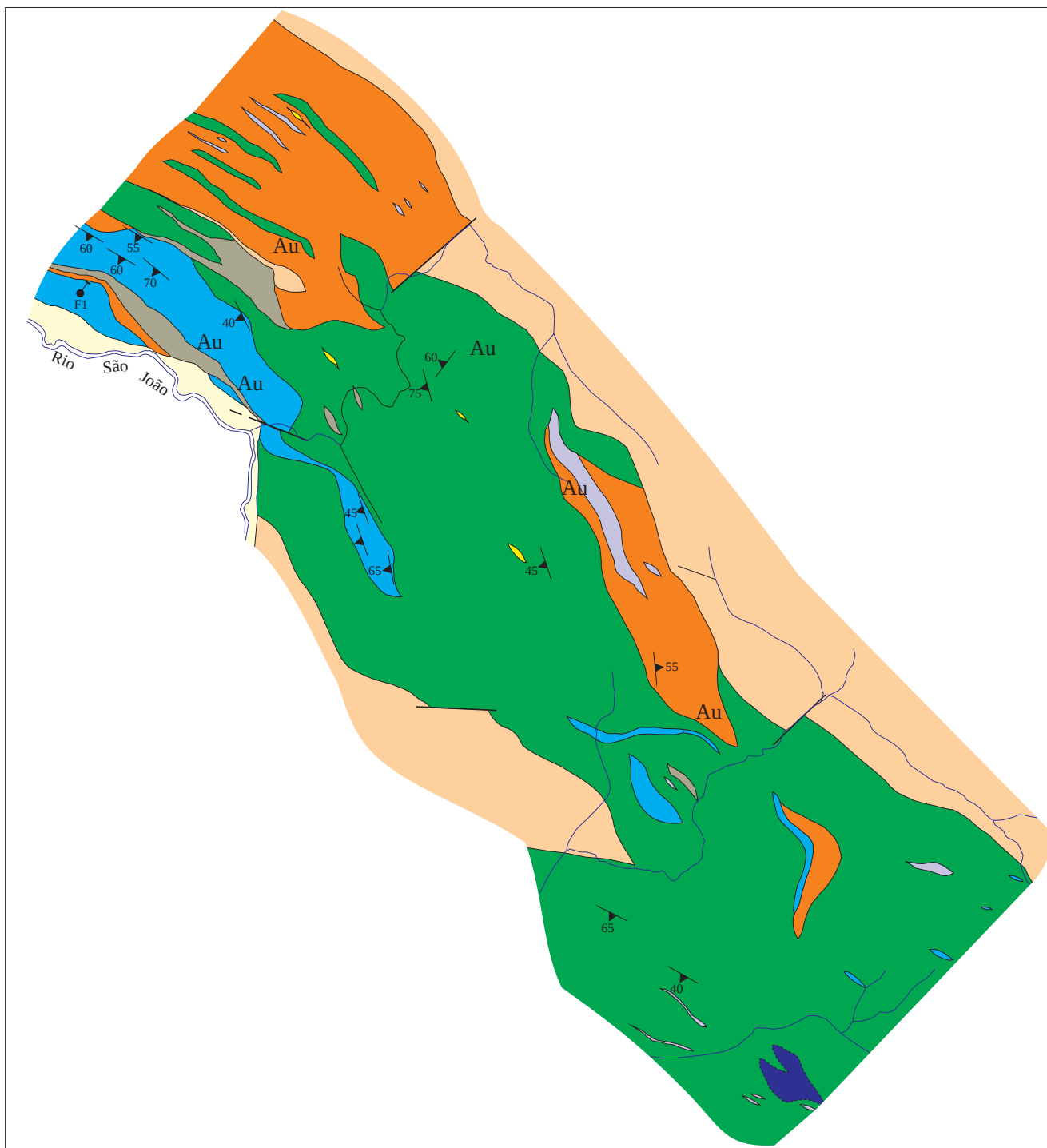
A seqüência metavulcano-sedimentar é localmente caracterizada pela associação de metabasitos/ultrabasitos similares aos já descritos nos demais prospectos, com predomínio de rochas à base de clorita, ocorrendo ainda localmente rochas serpentínicas (Fig. 3.1-5). Também é observado junto a esses litotipos intercalações de metachertes e anfibolitos, os quais, porém, normalmente constituem camadas mais expressivas do que nas demais áreas, sendo possível desta forma sua individualização, além de ocorrências pontuais de formações ferríferas (Fig. 3.1-5).

Os gnaisses ora caracterizados normalmente exibem feições miloníticas, e como aqueles estudados na região de Jacuí, também apresentam intercalações de rochas metabásicas/ultrabásicas, havendo localmente evidências de injeção de material granítico, portanto caracterizando pontualmente ortognaisses.

Os metassedimentos que ocorrem no Prospecto Gravatá também são similares aos dos demais prospectos. Nessa área os muscovita/sericita-quartzo xistos constituem sua maior expressão geomorfológica na região estudada, sendo que os muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos apresentam as mesmas características de baixa resistência intempérica, além de ostentarem intercalações raramente mapeáveis de rochas anfibolíticas e de metachertes. Na referida associação litológica, observa-se a escassa ocorrência de formações ferríferas e rochas calcissilicáticas, comum nos prospectos anteriormente caracterizados.

As Fotografias 3.1-6 e 3.1-8 ilustram as feições comuns a metachertes e rochas gnáissicas, respectivamente.

Através da Figura 3.1-6, que ilustra o perfil lito-estrutural interpretativo de furo de sondagem profunda executado no Prospecto Gravatá, é possível verificar localmente o padrão irregular de intercalações entre litotipos, destacando-se principalmente a ocorrência de finas camadas de muscovita gnaisses não aflorantes, além da disposição geral das camadas, com forte mergulho para SW.



Quaternário

Aluvião

Proterozóico

Grupo Araxá/Canastra

Paragneisses finamente bandados, localmente miloníticos e com frequentes intercalações e fragmentos de rochas da sequência ofiolítica.

Muscovita/sericita-quartzo xistos, localmente com pequenas proporções de turmalina, granada e pirita.

Muscovita-granada-biotita xistos, anfibolitos granadíferos, quartzo anfibolitos, rochas calcissilicáticas, metachertes, quartzitos, formações ferríferas e gonditos.

Sequência Ofiolítica

Clorita-actinolita xistos, clorita xistos, tremolita xistos, talco-antofilita xistos, metachertes e quartzitos, com frequentes intercalações de anfibolitos.

Granada anfibolito

Serpentinito

Metachertes

Veios de quartzo

Au Ocorrência de ouro constatada em muscovita/sericita-quartzo xistos, metachertes e quartzitos.

Falha

Falha encoberta

Foliação

F1 Furo de sondagem

Boca do furo de sondagem

Projeção em superfície do furo de sondagem

Drenagem



Figura. 3.1-5. Mapa geológico do Prospecto Gravata.

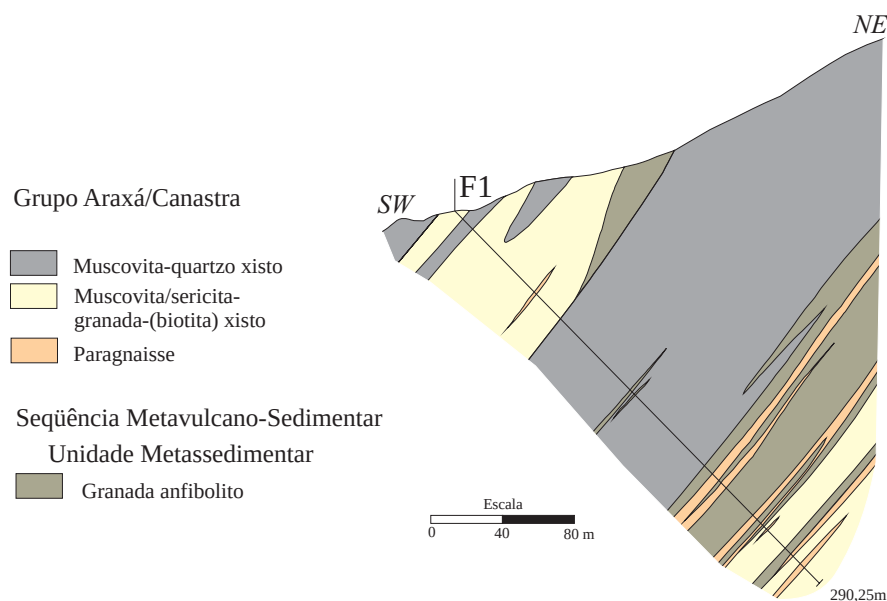


Figura 3.1-6. Seção geológica interpretativa com base no furo de sondagem executado no Prospecto Gravatá.

3.1.4. Prospecto Colônia

No Prospecto Colônia os trabalhos de cartografia possibilitaram a individualização de oito unidades mapeáveis, que são representadas no mapa geológico apresentado na Figura 3.1-7, que constam de:

- Metabasitos/ultrabasitos – rochas metavulcânicas/plutônicas da Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha ocorrem em toda a região central do prospecto e ainda na porção sudoeste do prospecto. Na variedade litológica que ocorre, foi possível a distinção de dois grupos;
- Formações ferríferas – essas rochas ocorrem na região central e noroeste do prospecto;
- Paragneisses – as rochas gnáissicas atribuídas ao Grupo Araxá/Canastra têm distribuição essencialmente nos limites da área;
- Metassedimentos – os metassedimentos do Grupo Araxá/Canastra foram individualizados em dois conjuntos, que se distribuem heterogeneamente na área, predominando suas exposições, entretanto, na região centro/sudoeste;
- Veios de quartzo – lentes e veios de quartzo afloram na região central e noroeste do prospecto;
- Lentes de manganês – afloram na porção oeste da área.

O Prospecto Colônia, apesar de ocorrer no mesmo contexto geológico que os demais prospectos, como o Prospecto Gravatá, ele se posiciona em um *trend* NW, também balizado pelas zonas de cisalhamento Bom Jesus da Penha e Mumbuca.

Nele a seqüência metavulcano-sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha é caracterizada por corpos também dispostos na direção NW-SE (Fig. 3.1-7), freqüentemente lenticularizados, como ilustrado nos perfis lito-estruturais apresentados na Figura 3.1-8.

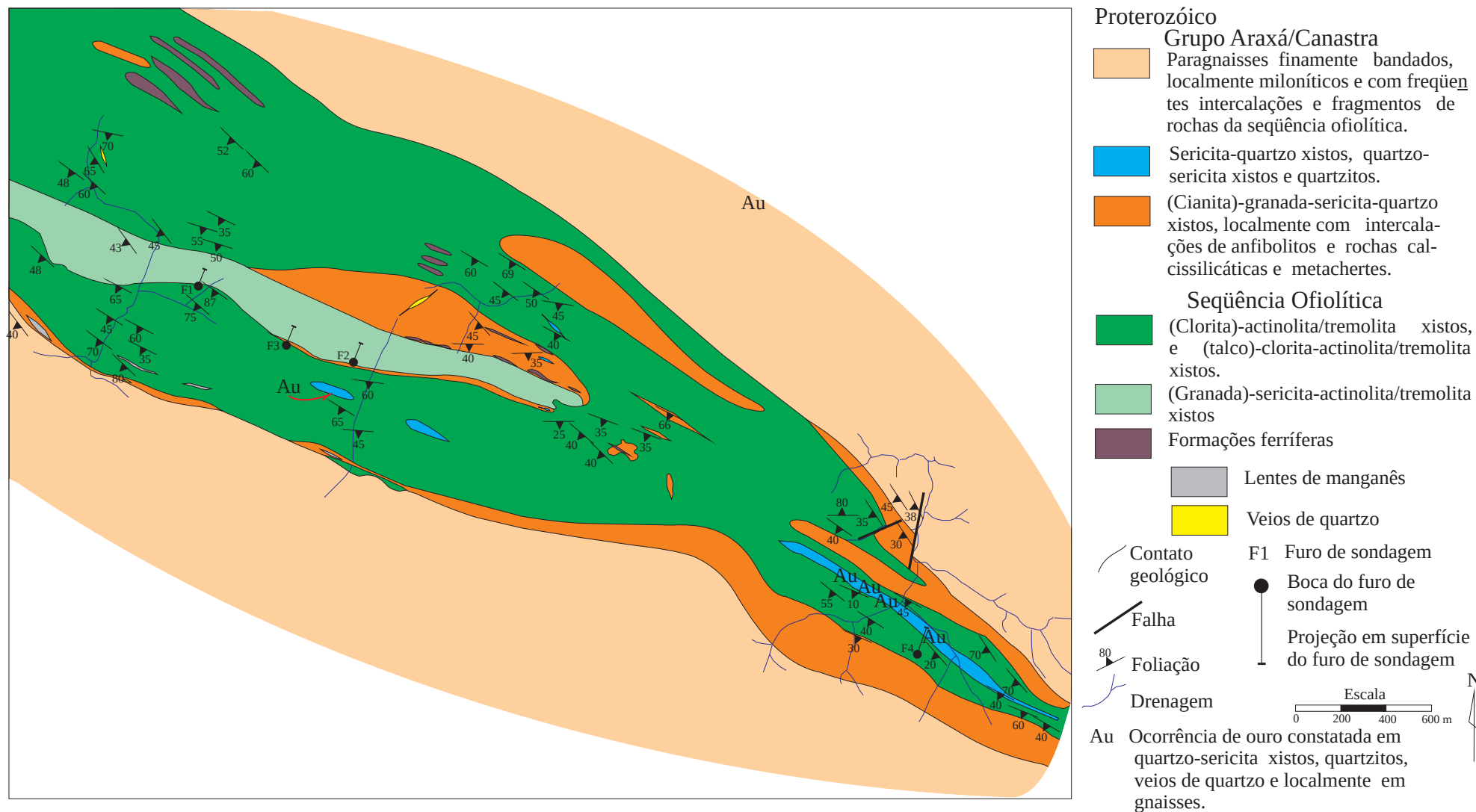


Figura. 3.1-7. Mapa geológico do Prospecto Colônia.

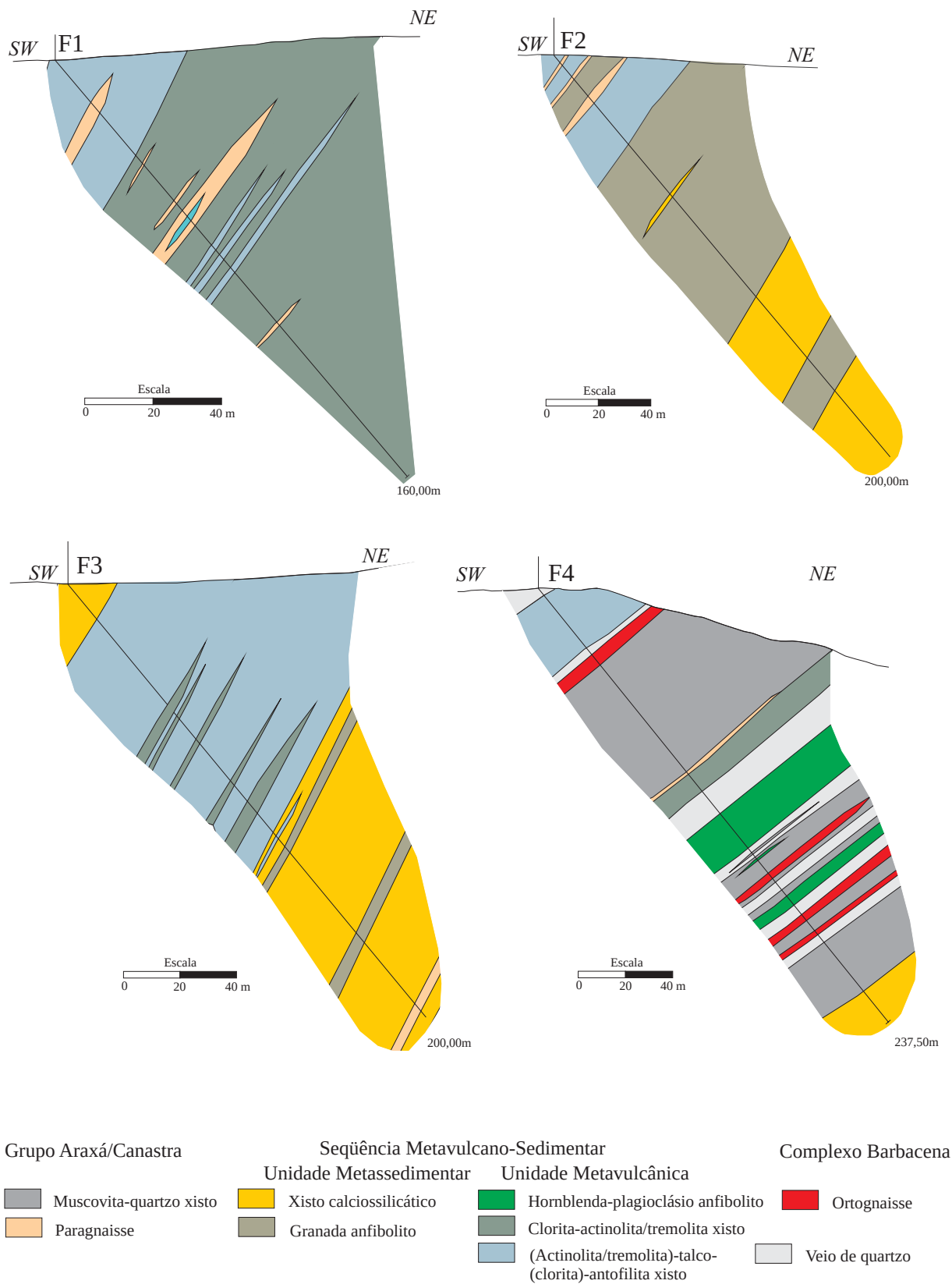


Figura 3.1-8. Seções geológicas interpretativas com base nos furos de sondagem executados no Prospecto Colônia.

Os metabasitos/ultrabasitos são representados por anfibólio xistos, predominantemente do tipo actinolita/tremolita, que ocorrem frequentemente em avançado estágio intempérico (Fotografia 3.1-2), e associados a clorita xistos e anfibolitos. É comum ainda a esses litotipos intercalações de metassedimentos diversos.

Rochas gnáissicas miloníticas, que delimitam os corpos da referida seqüência, ostentam feições predominantemente paraderivadas, sendo observada apenas localmente a ocorrência de ortognaisses, como pode ser observado na Figura 3.1-8.

As rochas metassedimentares que ocorrem nesse prospecto são representadas por sericita xistos, quartzo xistos, quartzitos e formações ferríferas, que constituem intercalações em meio à seqüência metavulcânica.

Entretanto, os quartzo xistos, que se destacam localmente por sua abrangência, são rochas com características distintas daquelas que ocorrem nos demais prospectos estudados, apresentando-se sempre muito friável, e, portanto, constituindo um relevo relativamente arrasado, e conseqüentemente dificultando a cartografia, feição esta comum a toda a seqüência.

Por constituírem camadas expressivas destacam-se ainda as formações ferríferas (Fig. 3.1-7), as quais se apresentam essencialmente maciças.

É comum ainda na área a ocorrência de veios e lentes de quartzo em meio a rochas metabásicas/ultrabásicas e metassedimentos (Figs. 3.1-7 e 3.1-8), e ainda de lentes de manganês em quartzo xistos.

3.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

Devido à grande similaridade na constituição litológica das áreas estudadas, conforme apresentado nos mapas geológicos (Figs. 3.1-1, 3.1-3, 3.1-5 e 3.1-7) e no Quadro 3-1, os diversos litotipos caracterizados serão apresentados conjuntamente.

3.2.1. Complexo Barbacena

O Complexo Barbacena, representante do embasamento gnáissico da região, é constituído por ortognaisses diversos, que são caracterizados por litotipos que correspondem composicionalmente a tonalitos, granodioritos e monzogranodioritos, e que se apresentam freqüentemente milonitizados a cataclasados.

Na verdade, essas rochas representam corpos granitóides de natureza pré- a sintectônica, possivelmente a partir de material do Complexo Barbacena.

Freqüentemente exibem intercalações de anfibolitos e hornblenda xistos, quase sempre intemperizados, que se apresentam fortemente estruturados, com desenvolvimento de foliação do tipo xistosidade marcante e com textura nematoblástica.

Gnaisses tonalíticos

Caracterizados pela abundante ocorrência de plagioclásios, os gnaisses tonalíticos são rochas de coloração cinza escura, com marcantes feições cataclásticas e miloníticas. Embora haja o desenvolvimento de forte estiramento mineral, localmente observa-se que o intenso processo cataclástico deformou ruptilmente a rocha (Fotomicrografia 3.2-1), obliterando o registro de gnaissificação.

Os cristais de quartzo possuem granulação fina a grossa, formas anédricas subangulosas, apresentando-se freqüentemente estirados, sempre mostrando extinção ondulante, fraturamentos e ainda com inclusões de finos grãos de epidoto. Os grãos de menor granulação freqüentemente formam agregados orientados subparalelamente à foliação milonítica, quando esta estrutura se faz presente.

O plagioclásio, com composição tendendo a albita, forma cristais de granulação fina a predominantemente média a grossa, anédricos a raramente subédricos, com hábito prismático alongado ou tabular, caracterizando localmente, junto aos cristais de quartzo, a foliação milonítica. Alguns desses são portadores de inclusões de quartzo e epidoto, possuem bordas corroídas, nas quais se desenvolve incipiente processo de sericitização. A maioria apresenta-se deformada ruptilmente, sendo comum também deformação dúctil, observada nas geminações polissintéticas desenvolvidas nesses minerais.

Ostentando uma granulação que varia de muito fina a localmente grossa, epidoto ocorre formando pequenos a grandes agregados anédricos a subédricos, associados a palhetas finas e anédricas de clorita, dispostos ao longo de zonas de cataclase, representadas por fraturas e falhas. Essas estruturas freqüentemente apresentam-se deslocadas por falhas desenvolvidas simultânea ou posteriormente, indicando localmente movimentação sinistral.

Nos gnaisses cataclásticos, os cristais de sericita são finos e anédricos, e dispõem-se ao longo das bordas de plagioclásio e também em microfraturas e falhas. Já nos gnaisses

miloníticos, esses filossilicatos, que ostentam granulação muito fina a fina, formam palhetas

Quadro 3-1. Principais litotipos presentes nos prospectos estudados.

	Grupo/Formação	Litologias	Prospecto Boa Vista	Prospecto Lenhoso	Prospecto Gravatá	Prospecto Colônia
BACIA PARANÁ	Formação Aquidauana	Arenitos (com intercalações pelíticas)	_____			
	Grupo Araxá	Quartzitos Muscovita-quartzo xistos Quartzo-serecita xistos Granada-muscovita xistos Granada-muscovita xistos grafitosos Paragnaisses	_____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____
	Seqüência Ofiolítica (Faixa Metavulcano-Sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha)	Unidade Metassedimentar	Xistos calcissilicáticos Paranfíbolitos Metachertes Metachertes ferruginosos Formações ferríferas Gonditos	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
		Unidade Metavulcânica	Actinolita/tremolita xistos Antofilita xistos Talco xistos Clorita xistos Cummingtonita/grünerita xistos Hornblenda xistos Meta-ortopiroxenitos Serpentinóis Ortoanfíbolitos	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
		Complexo Barbacena	Ortognaisses	_____	_____	_____

fortemente orientadas subparalelamente aos agregados quartzosos, caracterizando assim a foliação principal, milonítica, que deforma irregularmente uma estrutura pretérita, definida pela ocorrência de sericitas dispostas obliquamente à referida foliação, e que caracterizam uma foliação incipiente, possivelmente representando resquícios da gnaissificação.

A biotita forma cristais de granulação fina, com formas subédricas e hábitos tabulares alongados. Associam-se à sericita, formando níveis filossilicáticos, os quais se intercalam irregularmente em meio aos níveis granulares.

Cristais de titanita possuem granulação média a grossa, e se dispõem paralelamente à foliação principal. Localmente esses minerais são deformados pelos microcisalhamentos, que promovem deslocamento sinistral.

Os minerais opacos constituem traços, sendo caracterizados por cristais finos a médios e anédricos, disseminados na rocha ou ao longo de microfalhas, e que localmente se apresentam goethitizados.

Gnaisses granodioríticos

Composicionalmente caracterizados pela ocorrência de plagioclásio associado a feldspato potássico, esses gnaisses apresentam coloração variável entre rósea a esbranquiçada, e exibem textura granoblástica e estrutura caracterizada por uma foliação gnáissica, que localmente pode estar ausente. A foliação é definida por um bandamento composicional, caracterizado por níveis quartzo-feldspáticos alternados com níveis ricos em minerais máficos. A ausência dessa estrutura deve relacionar-se com o grau de milonitização superimposta à rocha ou ainda simplesmente estar relacionada a homogeneidade original do protólito.

Quando aflorantes próximo às diversas falhas observa-se que os grãos de quartzo se apresentam fortemente estirados, caracterizando uma foliação milonítica, predominantemente fina, desenvolvida paralela a subparalelamente à foliação gnáissica. Microscopicamente constata-se que o mesmo ocorre com os diversos minerais constituintes da rocha, sendo localmente a gnaissificação/milonitização deformada por uma forte brechação (Fotomicrografia 3.2-2), que corresponde à deformação rúptil posterior.

Os cristais de quartzo geralmente possuem granulação que varia de muito fina a grossa, são anédricos subangulosos a subarredondados, fortemente estirados e com extinção ondulante.

O feldspato potássico, de granulação fina a grossa, é representado por cristais de microclínio com formas subédricas, fortemente estirados, associados aos demais minerais granulares. O plagioclásio corresponde composicionalmente a albita, e ostenta granulação fina a grossa, formas anédricas, estiradas, e em processo de alteração do tipo saussuritização.

A sericita é representada por palhetas de granulação fina, subédricas, com coloração levemente esverdeada.

Minerais opacos, provavelmente óxidos, formam grãos finos e subédricos, parcial a totalmente goethitizados, e ocorrem disseminados na rocha. Cristais de zircão, finos a muito finos e anédricos, apresentam-se estirados e distribuídos de forma irregular a predominantemente sob a forma de inclusões em grãos de quartzo.

Gnaisses monzograníticos

Os gnaisses monzograníticos apresentam-se com aspecto esbranquiçado, são compostos por quartzo, megacristais de andesina, microclínio, sericita/muscovita, clorita, goethita, zircão, rutilo, epidoto e minerais opacos, e freqüentemente desenvolvem uma foliação milonítica marcante.

O plagioclásio é representado por andesina, freqüentemente saussuritizado, e com formas assimétricas que caracterizam movimentação predominantemente sinistral. Associam-se a cristais de microclínio e quartzo, de granulação essencialmente média, ocorrendo dispersos na rocha, incipientemente orientados, junto à sericita, configurando uma foliação milonítica.

Goethita desenvolve-se a partir da alteração de minerais opacos e localmente em limites de grãos de quartzo. Sericita/muscovita forma palhetas levemente orientadas, que associadas a cristais de clorita, também orientados, definem uma foliação marcante. Os cristais de zircão, rutilo e epidoto ostentam granulação fina e são anédricos, e ocorrem ao longo de planos da foliação milonítica.

3.2.2. Seqüência Metavulcânica/plutônica Máfica/ultramáfica

A seqüência metavulcânica/plutônica é constituída por uma variedade de xistos e subordinadamente *fels*, principalmente do tipo magnesiano, além de anfibolitos que ocorrem intimamente associados e são de difícil individualização nos trabalhos cartográficos. Sendo assim, ela é representada por camadas de rochas básicas/ultrabásicas heterogêneas. Rochas serpentínicas foram caracterizadas essencialmente na área do Prospecto Gravatá, e por se apresentarem fortemente intemperizadas, não foram submetidos à análise micropetrográfica.

Xistos/Fels

Compondo a variedade de rochas básicas/ultrabásicas, foram caracterizados actinolita/tremolita xistos, clorita xistos, cummingtonita/grünerita xistos/*fels*, talco xistos/*fels*, antofilita xistos, hornblenda xistos e ainda metaortopiroxenitos, descritos a seguir.

Actinolita/tremolita xistos

São as rochas metavulcânicas/plutônicas predominantes na área, e ostentam coloração esverdeada quando pouco alteradas e amarelada a avermelhada quando intemperizadas, e via de regra, apresentam foliação principal marcante e uma textura nematoblástica. Microscopicamente são constituídas por cristais de actinolita/tremolita,

localmente com predomínio de tremolita, associadas a antofilita, clorita e talco, ocorrendo ainda goethita e traços de epidoto e de minerais opacos.

Os cristais de tremolita possuem granulação média a grossa, ocorrendo raros cristais finos, anédricos a subordinadamente subédricos, com hábito prismático alongado, que se associam entre si, com os demais anfibólios e ainda com cristais de talco e clorita. Dispõem-se marcadamente orientados, definindo uma foliação principal do tipo xistosidade conspícua, que se apresenta anastomosada a localmente deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação irregular.

Os ortoanfibólios, presentes como antofilita, ostentam granulação fina a grossa e são anédricos a subédricos prismáticos alongados. Ocorrem associados aos demais minerais nos planos da foliação principal. Comumente apresentam feições de alteração (associadas a retrometamorfismo/hidrotermalismo), gerando cristais de talco secundário. A clorita apresenta-se com granulação fina a média, também anédrica a subédrica alongada, orientada subparalelamente às foliações impostas à rocha.

Cristais de talco, anédricos e de granulação fina, apresentam-se orientados ou não, caracterizando gerações distintas desse mineral, possivelmente relacionadas às fases sin- e pós-metamorfismo principal. Oxi-hidróxidos de ferro, possivelmente goethitas, comumente se desenvolvem sobre os minerais de anfibólios. Além desses minerais, ocorrem ainda epidoto e magnetita disseminados na rocha.

Clorita xistos

Estas rochas apresentam coloração levemente esverdeada a avermelhada quando alterada, desenvolvimento conspícuo de foliação do tipo xistosidade e textura lepidoblástica. Além de clorita, observa-se microscopicamente a ocorrência de anfibólios, goethita, minerais opacos, rutilo e ainda traços de zircão.

Constituindo a matriz da rocha, os cristais de clorita ocorrem com granulação fina a predominantemente média, subédricos prismáticos a subordinadamente anédricos e raramente euédricos. Dispõem-se fortemente orientados, associados a anfibólios, definindo uma foliação principal do tipo xistosidade anastomosada marcante. Localmente esses minerais formam níveis cloríticos fortemente orientados, onde alguns cristais ocorrem dispostos obliquamente à referida estrutura, caracterizando através de estruturas SC o processo deformacional cisalhante superimposto à rocha. São comuns ainda feições sigmoidais indicativas de movimentação local sinistral (Fotomicrografia 3.2-3), além ainda de ocasionalmente ocorrerem *kink bands*.

Associados aos cristais de clorita, ocorrem anfibólios representados por cummingtonita, actinolita/tremolita e antofilita, que variam em suas proporções nos diferentes subtipos de rochas. Esses anfibólios são caracterizados por cristais de granulação predominantemente média, anédricos a raramente subédricos, também orientados e definindo a foliação. Localmente esses minerais apresentam-se fraturados perpendicularmente ao seu maior eixo, com freqüente desenvolvimento de hidróxidos.

Os minerais opacos, representados por grãos de pirita e magnetita, ocorrem disseminados em planos da foliação. Os sulfetos apresentam granulação fina a

subordinadamente média, freqüentemente anédricos, com bordas corroídas e localmente com inclusões de magnetita. Já os óxidos, são predominantemente médios e anédricos, a pontualmente finos, quando inclusos em piritas. Constituindo agregados amorfos e irregulares, os hidróxidos de ferro formam-se também nas bordas dos anfibólios, e localmente em sulfetos e óxidos.

De ocorrência subordinada, ocorrem ainda cristais de rutilo e traços de zircão, que ostentam granulação fina, são anédricos e ocorrem disseminados na rocha, irregularmente dispostos em planos da foliação.

Cummingtonita/grünerita xistos e fels

Estas rochas ostentam coloração verde clara, quando constituídas predominantemente por anfibólios, a cinza claro, quando apresentam expressiva proporção em cianita, sendo comum apresentar ainda cor de alteração variando de verde a amarelo-avermelhado.

Os minerais normalmente apresentam granulação média, com comum desenvolvimento de uma foliação principal do tipo xistosidade conspícua, a qual é deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação incipiente. Embora os anfibólios ocorram predominantemente orientados, definindo uma textura nematoblástica, localmente foram caracterizados termos com desenvolvimento de textura decussada. Essa foliação localmente pode estar deformada por microzonas de cataclase, que se desenvolvem perpendicularmente à foliação, gerando pontualmente quebra nos minerais.

Microscopicamente correspondem a uma variedade de termos petrográficos, tais como talco-antofilita-clorita-cummingtonita xistos (Fotomicrografia 3.2-4), carbonato-clorita-antofilita-hornblenda-cummingtonita xistos e cianita-gedrita-cummingtonita *fels* (este último termo é ilustrado na Fotomicrografia 3.2-5).

Os cristais de cummingtonita, que variam, de acordo com o tipo de rocha, de 35 a 85%, são minerais de granulação fina a média, anédricos a localmente subédricos, com formas prismáticas, e ocorrem incipiente a fortemente orientados, caracterizando a foliação principal da rocha, localmente deformada por uma clivagem de crenulação incipiente. De ocorrência restrita a apenas um dos litotipos analisados, há cristais de cummingtonita que se dispõem aleatoriamente, formando assim *fels*.

Cristais prismáticos de hornblenda, de granulação fina a média, intimamente associados a cummingtonita, ocorrem também fortemente orientados, definindo assim a foliação principal.

Ocorrem ortoanfíbólios da série antofilita-gedrita, sendo a gedrita de granulação fina a predominantemente média a grossa, exhibe formas aciculares e prismáticas, e ocorre dispersa aleatoriamente na rocha onde há ausência de estrutura (*fels*), enquanto a antofilita ocorre como cristais prismáticos fibrosos de granulação fina a média, localmente formando nível antofilítico, e freqüentemente se dispõem orientados definindo a foliação principal.

Os cristais de clorita são anédricos e ostentam granulação essencialmente fina, ocorrem orientados definindo a foliação principal, bem como também a clivagem de crenulação, e subordinadamente associando-se a níveis antofilíticos.

A cianita forma cristais prismáticos médios a grossos, com linhas de clivagem bem características, e se associa a anfibólios (Fotomicrografia 3.2-5), enquanto cristais de talco, anédricos e de granulação muito fina a fina, associam-se a cummingtonita em planos da foliação.

Ocorrem ainda traços de minerais opacos, anédricos a subédricos, com formas prismáticas alongadas, e flogopita, também anédrica, dispersa na rocha, além de cristais de espinélio e epidoto, de granulação muito fina e que constituem inclusões em anfibólios e secundariamente em cianitas.

Talco xistos e fels

Estas rochas têm ocorrência subordinada em relação às demais da seqüência metavulcano-sedimentar. Constituem lentes delgadas, descontínuas e freqüentemente cisalhadas. Possuem coloração cinza claro quando sãs e amarelada quando alteradas, e são constituídas predominantemente por cristais de talco de granulação fina. Apresentam foliação principal desenvolvida marcante a incipiente, e só localmente formam *fels*, ostentando assim texturas lepidoblástica a decussada.

Microscopicamente, mostram-se como uma variedade de termos petrográficos, tais como flogopita-antofilita-biotita-talco xistos, antofilita-actinolita/tremolita-talco xistos e clorita-antofilita-talco *fels*. Além dos minerais principais, em menores proporções ocorrem ainda nessas rochas cristais de amianto, goethita, vermiculita, zircão, epidoto e minerais opacos.

O talco forma cristais finos a médios, com hábito prismático e alongado, constitui a matriz da rocha ou então se associa a finos cristais de anfibólio e clorita. Apesar de localmente ocorrer disposto de forma aleatória, define uma foliação principal do tipo xistosidade conspícua, podendo também se apresentar anastomosada a amplamente deformada por uma foliação posterior, que gera por sua vez um padrão de dobramento irregular (Fotomicrografia 3.2-6), com dobras abertas a apertadas. Observa-se ainda que alguns cristais ocorrem dispostos obliquamente à foliação, caracterizando estruturas SC, enquanto que outros, acompanham irregularmente microzonas de cisalhamento, havendo ainda localmente cristais com *kink bands*. Desta forma, observa-se o desenvolvimento de duas gerações de talco, sendo que as de granulação fina resultam de processos de alteração retrometamórfica a localmente de processos hidrotermais.

Os cristais de actinolita/tremolita ocorrem com granulação média a grossa e são subédricos, dispostos também orientados, definindo assim as foliações superimpostas à rocha.

Predominantes nos talco xistos, em relação aos demais anfibólios, os cristais de antofilita ostentam granulação fina a média e localmente grossa, anédricos a subédricos, e localmente apresentando-se marcadamente "consumidos". Ocorrem irregularmente nos planos da foliação quando constituem os xistos, ou ainda aleatórios nos *fels*, sendo também comuns feições de deformação nestes minerais, como geração de *kink bands*.

Ocorrendo em apenas um dos subtipos petrográficos, os cristais de clorita apresentam granulação fina a média, são anédricos e ocorrem associados a talco e predominantemente aos anfibólios, dispondo-se aleatoriamente por toda a rocha.

Hidróxidos de ferro formam agregados de forma irregular a partir de anfibólios, talco e minerais opacos. Embora a goethitização seja uma alteração que atua pervasivamente na maioria desses minerais, nos talco *fels* é possível identificar sulfetos e óxidos (pirita e magnetita), finos a raramente médios, anédricos a subordinadamente subédricos, ostentando hábitos prismáticos curtos a alongados, com bordas alteradas, disseminados na rocha.

Localmente há desenvolvimento de cristais de biotita associados à flogopita, formando palhetas de granulação fina a subordinadamente média, que ocorrem em meio aos níveis de talco, caracterizando também as foliações. A alteração desses minerais promove o surgimento de finos cristais de vermiculita, que se associam irregularmente e dispõem-se nos planos da foliação principal.

Antofilita xistos/fels

Os antofilita xistos e *fels* são rochas de coloração ocre a marrom claro, que apresentam desenvolvimento de uma foliação principal marcante, localmente ausente, com seus minerais constituintes dispostos aleatoriamente. Desta forma, desenvolvem-se nesses litotipos texturas nematoblásticas e decussadas.

Microscopicamente correspondem a litotipos enriquecidos em anfibólios, com freqüente associação de orto e clinoanfibólios, representados por antofilita e cummingtonita e tremolita, respectivamente, que normalmente correspondem de 70 a 95% dos constituintes da rocha.

Os cristais de antofilita possuem granulação fina a grossa e são subédricos, ostentando hábito prismático alongado. Ocorrem associados entre si, constituindo agregados que se distribuem de modo homogêneo e aleatório na rocha. Quando associados a outros anfibólios, talco e clorita, definem a foliação principal (S_n), do tipo xistosidade marcante, que se apresenta amplamente deformada por uma foliação (S_{n+1}) do tipo clivagem de crenulação conspícua. Desenvolve-se nesses minerais um tênue a intenso fraturamento, no qual ocorrem hidróxidos de ferro ao longo dos planos.

A cummingtonita forma cristais predominantemente de granulação média a grossa e secundariamente fina. Apresentam formas subédricas, sendo comum a ocorrência de tremolita exsolvida, ou ainda ao contrário, onde a cummingtonita se exsolve em tremolita. Quando orientadas, são importantes na definição das foliações superimpostas à rocha.

Os cristais de tremolita possuem hábitos prismáticos alongados a fibrosos, possuem granulação fina a grossa, são subédricos a ocasionalmente anédricos. Como os demais tipos de anfibólios, ocorrem dispersos por toda a rocha, ou ainda marcadamente orientados, caracterizando as foliações.

De ocorrência local, o talco, observado como originado a partir da alteração de anfibólios, constitui cristais finos a muito finos e anédricos. A clorita, também de

ocorrência restrita, forma cristais de granulação fina a média com formas anédricas a raramente subédricas, que ocorrem fortemente orientados nos planos da foliação principal.

Os minerais opacos observados correspondem a cristais de pirita, parcialmente goethitizados, e que estão dispersos por toda a rocha, ocorrendo também sob a forma de inclusões em clinoanfíbólio, mostrando evidências de ter sofrido processo de estiramento. Observa-se ainda que o processo de goethitização é pervasivo, afetando também anfibólios.

Também como finas disseminações na rocha e constituindo inclusões em anfibólios, ocorrem rutilo e zircão. Como mineral traço, há ocorrência ainda de sericita, de granulação fina a muito fina e anédricas, preferencialmente nas bordas dos anfibólios.

Hornblenda xistos

Estes xistos ostentam coloração verde, variando entre tons claros a principalmente escuros, e são compostos por hornblenda associada a uma variedade de minerais, que definem termos petrográficos tais como antofilita-hornblenda xistos, clorita-andesina-antofilita-hornblenda xistos (Fotomicrografia 3.2-7), cummingtonita-hornblenda xistos, clorita-hornblenda xistos, quartzo-andesina-hornblenda xistos (Fotomicrografia 3.2-8), andesina-hornblenda xistos, quartzo-andesina-carbonato-hornblenda xistos (Fotomicrografia 3.2-9). Além dos minerais que dão nome às rochas, é comum ainda a ocorrência local de cristais de quartzo, rutilo, minerais opacos, talco, flogopita e apatita.

A estrutura desenvolvida nesses litotipos é uma foliação (principal) do tipo xistosidade incipiente a marcante, que localmente se apresenta anastomosada, sendo comum ainda a ocorrência de bandamento composicional, enquanto a textura definida pela disposição de anfibólios é caracterizada como nematoblástica.

A hornblenda forma cristais de granulação fina a predominantemente média, subédricos prismáticos (Fotomicrografia 3.2-8), que se apresentam incipiente a fortemente orientados, caracterizando a foliação da rocha. Esse mineral se associa a outros anfibólios (Fotomicrografia 3.2-7), caracterizando termos petrográficos distintos com orto e com clinoanfibólios, representados respectivamente por antofilita e cummingtonita.

Os ortoanfibólios apresentam-se com granulação fina a média, são subédricos prismáticos fibrosos, ocorrem associados à hornblenda ou ainda à clorita, freqüentemente formando níveis, definindo um bandamento composicional e localmente marcando a deformação superimposta à foliação através da orientação anastomosada desses minerais.

O clinoanfíbólio forma cristais finos a médios e subédricos prismáticos, que por vezes aparecem intercrescidos com cristais de actinolita/tremolita, e ocorrem orientados, definindo a estrutura da rocha junto a hornblendas, além de localmente formarem bandas cummingtoníticas.

O plagioclásio é representado por oligoclásio e localmente por andesina, que se apresentam finos a médios e anédricos a localmente com formas poligonais, que se associam a grãos de quartzo, também finos e anédricos subangulos, que ocorrem em arranjo granoblástico.

A clorita ocorre como finas palhetas anédricas, que dispõem em planos da foliação, enquanto os minerais opacos formam cristais finos e subédricos, alongados e dispostos paralela a subparalelamente à foliação.

Os carbonatos formam cristais predominantemente finos e anédricos, ocorrendo, entretanto, porfiroblastos (Fotomicrografia 3.2-9), que localmente constituem faixas carbonáticas subparalelas à foliação.

Cristais de rutilo possuem granulação fina a localmente média, sendo que titanita, clorita, talco, flogopita, e apatita são essencialmente finos e anédricos, todos distribuídos irregularmente na rocha, dispersos na matriz anfibolítica.

Magnetita forma cristais muito finos a finos, anédricos a raramente subédricos prismáticos, que se dispõem ao longo da foliação.

Meta-ortopiroxenitos

Estas rochas ostentam coloração esverdeada, apresentando foliação principal do tipo xistosidade marcante e textura nematoblástica. São constituídas por clino e ortoanfibólios, piroxênios e cloritas, e em menor proporção por olivina e goethita.

Como anfibólios ocorrem actinolita/tremolita e antofilita. Os cristais de clinoanfibólio ostentam granulação fina a predominantemente média a grossa, são anédricos a subédricos, prismáticos alongados, e ocorrem orientados, definindo a foliação principal. Já o ortoanfibólio, possui granulação muito fina a raramente média, também com hábito subédrico prismático alongado, e dispõem-se orientado, marcando, junto aos demais minerais, a foliação principal, ou ainda formando agregados distribuídos irregularmente, formando porções com textura decussada.

Como variedade de piroxênio, observa-se que cristais de bronzita, com granulação média a muito grossa, chegando a constituir porfiroblastos com dimensões de até 5mm. São essencialmente anédricos, com bordas amplamente irregulares, e com inclusões de minerais opacos e olivina.

A clorita forma palhetas de granulação predominantemente fina, anédricas a subédricas, dispostas orientadas paralelamente à foliação principal da rocha, associando-se entre si e com os anfibólios. Composicionalmente correspondem a cloritas magnesianas, com o seu pleocroísmo incipiente de incolor a levemente verde.

Os cristais de olivina se apresentam amplamente alterados, caracterizados como inclusões finas e anédricas em piroxênios.

Minerais opacos ocorrem sob a forma de cristais finos a raramente médios, anédricos a subédricos, com hábitos prismático curto a raramente alongado, disseminados na rocha e ainda como inclusões em piroxênios. Possivelmente correspondam a piritas e magnetitas. Atuando sobre esses minerais, as goethitas formam agregados finos e anédricos.

Anfibolitos

Embora tenham sido caracterizados diversos tipos de rochas anfibolíticas, a maioria ostenta feições condizentes com paraderivação, evidenciadas principalmente ao desenvolvimento de contatos gradacionais com metassedimentos. Entretanto, esses são

convenientemente apresentados em conjunto visando possibilitar uma maior comparação entre os distintos termos.

Ressalta-se a ocorrência de corpos anfibolíticos com nítidas evidências de ortoderivação, que comumente constituem intercalações em gnaisses diversos, os quais, entretanto, se apresentam normalmente em avançado estágio de alteração. Porém, a maioria dos anfibolitos ora caracterizados devem provir de protólitos metassedimentares.

Ocorrem na área rochas anfibolíticas com conteúdo mineralógico diferenciado, permitindo assim a distinção dos seguintes subtipos: andesina anfibolitos (Fotomicrografia 3.2-10), quartzo anfibolitos, cianita anfibolitos e granada anfibolitos (este último ilustrado nas Fotomicrografias 3.2-11 e 3.2-12). Estes litotipos, caracterizados a seguir, normalmente ocorrem em meio a (cianita)-muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e rochas calcissilicáticas, freqüentemente exibindo contatos gradacionais.

Andesina anfibolitos

Estas rochas ostentam coloração verde, variando de tons escuros a claros, e são constituídas predominantemente por anfibólios e plagioclásios, que correspondem composicionalmente a hornblenda e andesina, além de quartzo, granada, escapolita, titanita, clorita, flogopita e minerais opacos, sendo ainda comum a ocorrência de carbonato, cianita, apatita e zircão como minerais traços.

Desenvolve-se nestes uma foliação principal do tipo xistosidade, normalmente marcante, que se apresenta localmente anastomosada, sendo ainda comum o desenvolvimento de microbandamento composicional. A textura embora seja predominantemente nematoblástica, também ocorre com aspecto cataclástico, caracterizada pelo amplo desenvolvimento de fraturas em um dos termos analisados.

Os cristais de hornblenda ostentam granulação fina a localmente média a grossa, são anédricos prismáticos, e ocorrem fortemente orientados subparalelamente, definindo a foliação da rocha. A andesina é representada por cristais finos a raramente médios, anédricos a poligonais, por vezes geminados, associados a grãos de quartzo.

O quartzo é predominantemente fino e anédrico, estirado, com extinção ondulante, e dispõem-se em arranjo granoblástico, ou ainda localmente preenchendo microfraturas. As relações entre esses minerais são ilustradas na Fotomicrografia 3.2-10.

Flogopita forma cristais finos e anédricos, que se apresentam parcialmente alterados, em processo de cloritização, e ocorrem bem orientados, associados a anfibólios ou formando finos níveis paralelos, também definindo a foliação e o microbandamento. Os grãos de granada formam cristais finos e anédricos, localmente subédricos a euédricos, ostentando coloração levemente rósea, devendo corresponder a glossulária, e dispõem-se geralmente associados às faixas ricas em flogopitas, ou ainda ocorrem dispersos na rocha.

Os minerais opacos, representados principalmente por sulfetos, são muito finos a finos, anédricos normalmente alongados, e localmente se concentram em faixas paralelas, associados a zonas de microfraturas ou ainda em planos da foliação. A escapolita forma finos grãos subédricos de alta birrefringência, enquanto os cristais de titanita são anédricos e freqüentemente ocorrem com granulação fina, dispostos irregularmente em planos da

foliação. Os minerais traços são anédricos e ocorrem essencialmente com granulação fina, normalmente disseminados na rocha.

Quartzo anfibolitos

Os quartzo anfibolitos são rochas de coloração verde escura, que exibem finas faixas esbranquiçadas, que caracterizam um microbandamento composicional. Possuem foliação principal do tipo xistosidade marcante e textura predominantemente granonematoblástica. São compostos predominantemente por anfibólio e quartzo, além de plagioclásio, carbonato e minerais opacos, ocorrendo ainda traços de titanita.

O anfibólio é do tipo hornblenda, formam cristais anédricos prismáticos de granulação fina a raramente média, e definem a foliação da rocha por se apresentarem orientados paralela a subparalelamente. Os grãos de quartzo são predominantemente finos a grossos, anédricos a subangulosos, dispersos ou normalmente formando faixas monominerálicas paralelas que configuram o microbandamento. O plagioclásio corresponde composicionalmente a andesina, ocorrendo com granulação fina e também se apresentando poligonizada, freqüentemente associada a quartzo.

Os cristais de carbonato são anédricos e ostentam granulação fina a média, e ocorrem dispersos na rocha, havendo cristais grossos que se concentram em níveis paralelos à foliação. Os minerais opacos são representados por cristais finos e anédricos de magnetita, que ocorrem, como a titanita de mesma granulação, dispersos na rocha.

Cianita anfibolitos

Esses anfibolitos possuem coloração verde variando entre tons claros e escuros, e são compostos predominantemente por anfibólio e cianita, associados a cristais de quartzo, clorita e flogopita, além de plagioclásio, epidoto e granada que ocorrem como minerais traços. São caracterizados por uma foliação principal do tipo xistosidade conspícua, freqüentemente anastomosada, sendo a textura nematoblástica, localmente porfiroblástica.

O anfibólio forma cristais prismáticos de hornblenda de granulação fina a grossa, que se dispõem fortemente orientados paralela a subparalelamente, e definem a estrutura da rocha. Localmente esse mineral constitui porfiroblastos, que dispõem paralela a obliquamente à foliação, representando cristais rotacionados, que são indicadores de movimentação predominantemente sinistral.

A cianita é fina a média, subédrica a euédrica, e acompanha irregularmente o anfibólio em planos da foliação. O quartzo forma grãos finos a grossos, anédricos levemente estirados ao longo da foliação, sendo que os cristais de maior granulação formam níveis irregulares, onde se observa desenvolvimento de extinção ondulante.

Os cristais de clorita constituem palhetas finas a localmente médias, que apresentam pleocroísmo incolor a verde claro, devendo corresponder a minerais magnesianos, enquanto as flogopitas formam cristais de granulação essencialmente fina.

Esses filossilicatos apresentam-se orientados paralela a subparalelamente, definindo junto com anfibólio a foliação da rocha, sendo que a flogopita freqüentemente caracteriza estruturas do tipo *micafish*, indicativas de movimentação dextral, embora ocorram em menor proporção minerais indicativos de movimentação sinistral.

Epidoto, plagioclásio e granada, que são minerais traços são anédricos, de granulação fina, e ocupam irregularmente planos da foliação.

Granada anfibolitos

São rochas de coloração verde escuro, constituídas principalmente por anfibólios e granadas, que se associam a cianita, plagioclásio, flogopita, clorita, quartzo e minerais opacos, os quais apresentam um arranjo que define uma foliação principal do tipo xistosidade incipiente a conspícua, que normalmente se apresenta tenuamente anastomosada, além de uma textura eminentemente nematoblástica.

Os cristais de anfibólio, caracterizados como hornblenda, apresentam-se prismáticos e com granulação média a grossa, e ocorrem incipientemente a bem orientados, definindo a estrutura superimposta à rocha.

A granada ostenta granulação fina a média, localmente constituindo cristais grossos (Fotomicrografia 3.2-11), sendo subédricos a euédricos, pontualmente com inclusões de quartzo, que ocorrem dispersos na rocha. Esse mineral apresenta coloração levemente rósea, devendo corresponder composicionalmente a glossúria, que freqüentemente se apresentam em processo de epidotização (Fotomicrografia 3.2-12).

Os cristais de quartzo são finos a raramente médios, anédricos subangulosos a localmente poligonizados, que formam faixas paralelas à foliação, quando associados a feldspato, que corresponde a andesina, de igual granulação, e que pontualmente apresentam tênue alteração para saussurita. A cianita ocorre como cristais finos a localmente grossos, e forma agregados associados às faixas quartzo-feldspáticas (Fotomicrografia 3.2-12).

Os minerais micáceos são representados por cristais de clorita magnesiana (pleocroísmo incolor a verde claro) e de flogopita, que são finos e anédricos e ocorrem dispostos paralelamente à foliação. Ocorrem ainda minerais opacos anédricos e de granulação fina, que se distribuem irregularmente na rocha.

3.2.3. Seqüência Metassedimentar

As rochas metassedimentares que ocorrem na região apresentam-se intimamente associadas à seqüência de origem metavulcânica/plutônica, e além de representar localmente o Grupo Araxá/Canastra, parte destas são também possivelmente representantes de sedimentação química associada à seqüência interpretada como de origem ofiolítica, sendo no presente momento apresentadas conjuntamente.

Essa associação de rochas de natureza predominantemente sedimentar é representada por xistos, quartzitos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas e metachertes. Cabe-nos ressaltar a ocorrência dos anfibolitos caracterizados no subitem anterior, que podem ter origem sedimentar, ou ainda representarem basaltos espletizados e/ou hidrotermalizados.

Quartzitos

As rochas quartzíticas apresentam-se maciças, localmente com desenvolvimento de foliação e/ou bandamento composicional, definido principalmente por finos níveis de minerais opacos (oxidados), e ainda com aspectos cataclásticos e miloníticos.

Mineralogicamente são constituídos predominantemente por cristais de quartzo, que lhes confere uma textura eminentemente granoblástica, ocorrendo ainda em pequenas proporções cristais de goethita, biotita, flogopita, titanita, sericita, rutilo, leucoxênio, zircão, magnetita e monazita.

O quartzo forma grãos médios a predominantemente grossos, anédricos subangulosos a localmente angulosos, com amplo desenvolvimento de extinção ondulante, por vezes muito fraturados. Os cristais de quartzo freqüentemente se apresentam orientados (estirados), caracterizando a foliação principal milonítica. Devido a cisalhamento, localmente esses minerais ostentam granulação muito fina a fina, e dispõem-se orientados definindo um bandamento tectônico, registrado por uma marcante orientação cristalográfica preferencial, e caracterizando ultramilonitos (Fotomicrografia 3.2-13).

A goethita ostenta granulação muito fina a fina e freqüentemente forma agregados dispostos ao longo dos limites de grãos de quartzo ou ainda em microfraturas (Fotomicrografia 3.2-14). Também ocorre junto a magnetita, correspondendo à alteração da mesma, e ainda localmente forma venulações goethíticas em meio à rocha. Em quartzitos onde se desenvolve bandamento composicional é comum ainda a ocorrência de goethita disposta em níveis orientados paralelamente.

Os grãos de monazita, caracterizados por exibirem alta reflectância, são finos e anédricos, ocorrendo associados a turmalina, rutilo e principalmente leucoxênio em níveis goethíticos. Os minerais opacos, parcial a totalmente alterados, também se encontram presentes nesses mesmos horizontes goethitizados.

Embora alguns termos petrográficos apresentem expressiva proporção de sericita/muscovita, inclusive de composição fengítica, localmente se observa a geração desse filossilicato disposto essencialmente ao longo de fraturamentos (Fotomicrografia 3.2-15), inclusive sendo englobado por cristais de magnetita, denotando assim o processo hidrotermal. Biotita e flogopita, normalmente de granulação fina a raramente média, também são encontradas dispersas nessas rochas.

De ocorrência localizada, pseudomorfos de possíveis feldspatos são caracterizados por material amorfo, fino a raramente médio, que se apresentam com formas alongadas paralelamente aos cristais de quartzo.

Muscovita/sericita-quartzo xistos e quartzo-sericita xistos

Os muscovita/sericita-quartzo xistos são rochas de coloração prateada a cinza clara, que localmente gradam para muscovita quartzitos ou quartzitos, e apresentam contatos transicionais com os muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos.

Os minerais que dão nome à rocha, ocorrem com granulação predominantemente grossa, definem uma textura granoblástica, e normalmente apresentam-se fortemente orientados, constituem uma foliação milonítica marcante.

Microscopicamente observa-se que os cristais de quartzo são anédricos e possuem granulação fina a média, ocorrendo porções com grãos grossos, e freqüentemente apresentam-se alongados a estirados. Suas bordas normalmente são irregulares, com marcantes feições de corrosão. Apresentam ainda extinção ondulante e localmente migração de limites de grãos, além de estar fraturados.

Esses cristais ocorrem fortemente orientados, formando níveis quartzosos com intercalações de níveis filossilicáticos, e configuram uma foliação principal milonítica (Fotomicrografia 3.2-16). Essa estrutura se apresenta anastomosada a deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação, como ilustrado na Fotomicrografia 3.2-17.

A sericita e a muscovita associam-se localmente a "restos" de biotita, constituindo níveis irregulares dispostos paralelamente aos níveis quartzosos. Formam palhetas de granulação fina a grossa, predominando, entretanto, os cristais médios a grossos e com hábitos subédricos. A biotita é representada por palhetas de coloração marrom, resultante de avançado processo de alteração.

Esses filossilicatos ocorrem marcadamente orientados, definindo as foliações. Localmente há desenvolvimento de cristais dispostos obliquamente a foliação principal, em microzonas de cisalhamento descontínuas, que definem estruturas SC. Esses minerais apresentam ainda marcantes feições sigmoidais (*micafish*), indicativas de movimentação sinistral, chegando a localmente gerar dobras de arrasto.

Embora não seja generalizada, é relativamente comum a ocorrência de turmalina, localmente representada por cristais de coloração verde, subédricos a euédricos e de granulação fina a grossa, que se associam a minerais filossilicáticos em planos da foliação milonítica (Fotomicrografia 3.2-18).

Cristais de zircão, epidoto, rutilo e leucoxênio possuem granulação fina a muito fina, e são anédricos, e ocorrem disseminados na rocha. Os grãos de zircão localmente constituem inclusões em minerais micáceos e em cristais de quartzo, sendo nesses últimos comuns também inclusões de rutilo.

Minerais opacos, caracterizados como pirritas, pirrotitas e magnetitas, formam grãos finos a grossos, anédricos a subédricos prismáticos, alongados a estirados, freqüentemente com bordas leve a fortemente corroídas, que ocorrem disseminados a localmente constituindo agregados, ocupando planos da foliação milonítica junto com filossilicatos (Fotomicrografia 3.2-19). Esses sulfetos e óxidos se apresentam comumente goethitizados.

Rochas calcissilicáticas

Essas rochas, embora também ocorram na região de Jacuí, predominam nas áreas dos prospectos situados em Bom Jesus da Penha. Na verdade, nos trabalhos cartográficos esse conjunto litológico não foi individualizado, devido a sua ocorrência sob a forma de finas camadas descontínuas intercaladas em meio às rochas básicas/ultrabásicas e

principalmente por apresentar-se fortemente intemperizado, sendo possível sua caracterização somente através de estudos em testemunhos de sondagens.

São litotipos xistosos, que apresentam colorações variando de cinza claro a diferentes tonalidades de marrom, a depender da composição mineralógica, através da qual são caracterizadas uma variedade litológica que abrange granada-cummingtonita-hornblenda-carbonato-oligoclásio-quartzo xistos (Fotomicrografia 3.2-20), epidoto-carbonato-flogopita-hornblenda-quartzo xistos e granada-quartzo-carbonato-escapolita-biotita xistos (o último ilustrado na Fotomicrografia 3.2-21). Esses termos petrográficos apresentam foliação principal do tipo xistosidade marcante, que localmente é deformada por

uma foliação do tipo clivagem de crenulação incipiente, além de exibir uma textura predominantemente granoblástica-porfiroblástica.

De ocorrência expressiva em todos os termos petrográficos analisados, os cristais de quartzo apresentam granulação fina a subordinadamente média, são anédricos, subangulosos, freqüentemente estirados a localmente poligonizados, com desenvolvimento de forte extinção ondulante. Formam finos níveis dispostos fortemente orientados, associando-se comumente aos demais minerais granulares, caracterizando marcadamente a foliação principal.

Os carbonatos são representados por cristais de granulação fina a localmente grossa, anédricos a subédricos, alongados ou não, que ocorrem formando níveis carbonáticos, associados a níveis quartzosos, ou ainda constituindo agregados junto a anfibólios e granadas (Fotomicrografia 3.2-20), sempre dispostos em planos da foliação principal.

Ocorrem cristais finos a médios de hornblenda com formas prismáticas, que desenvolvem incipiente a forte orientação. Localmente associados a flogopita ou em meio aos níveis quartzosos, definem a foliação principal como do tipo xistosidade marcante, a qual se apresenta amplamente anastomosada a localmente deformada por foliação do tipo clivagem de crenulação incipiente.

Em um dos termos petrográficos ocorrem ainda cristais de cummingtonita de granulação fina e com formas prismáticas e fibrosas, que associados à hornblenda também definem as estruturas supracitadas.

Biotita e muscovita formam cristais essencialmente finos e anédricos prismáticos, que se dispõem fortemente orientados, definindo as estruturas superimpostas à rocha. Correspondendo ao produto de alteração de biotita, os cristais de flogopita são essencialmente finos e anédricos prismáticos a disformes, e ocorrem orientados junto aos demais minerais, principalmente anfibólios.

Ocorre ainda clorita, que na mesma amostra analisada tem variedades composicionalmente distintas, representadas por cristais com forte pleocroísmo de verde claro a verde escuro (rica em ferro), que se associa a granada, além de cristais com pleocroísmo incolor a verde claro tênue (magnesiana).

O plagioclásio corresponde composicionalmente a oligoclásio e andesina. Ocorrem em termos distintos, em ambos com granulação fina e anédricos, com desenvolvimento de

geminção albita, localmente saussuritizados e associados principalmente a cristais de quartzo em planos da foliação principal.

Constituindo porfiroblastos anédricos, os cristais de granada ostentam coloração levemente rosada, e devem corresponder composicionalmente a grossulária. Apresentam-se parcialmente alterados, com inclusões de finos cristais de quartzo e com desenvolvimento de finos cristais de carbonatos em suas bordas, provavelmente resultante do processo de alteração.

A escapolita ocorre como cristais subédricos poligonais de granulação fina a média, associados intimamente a quartzo e plagioclásio. Esse mineral apresenta alta birrefringência, devendo corresponder à variedade rica em cálcio – meionita - (Fotomicrografia 3.2-21).

Cristais de epidoto ostentam granulação fina e são anédricos, distribuem-se amplamente por toda a rocha, preferencialmente em planos da foliação principal, ocorrendo também sob a forma de inclusões em quartzo e principalmente plagioclásio.

Minerais opacos, que freqüentemente constituem traços, representam até 3% em uma das amostras analisadas, se apresentando com granulação fina a média, normalmente alongados, e associados aos demais minerais em planos da foliação principal.

Em pequenas proporções ocorrem ainda cristais de apatita, estauroлита, zircão, titanita e turmalina, todos de granulação muito fina a fina, anédricos a raramente subédricos, e que ocorrem dispersos na rocha.

Muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos

Estas rochas freqüentemente se apresentam alteradas e ostentam coloração avermelhada. Associam-se a muscovita/sericita-quartzo xistos, constituindo camadas orientadas paralela a subparalelamente à Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, abrangendo as áreas dos dois prospectos da região de Jacuí, além ainda de constituírem camadas expressivas dentro dos limites do prospecto Gravatá, onde são comuns intercalações de metachertes e anfibolitos granadíferos.

Ostentam coloração avermelhada, devido ao intenso grau de alteração, e foliação principal do tipo xistosidade, normalmente marcante, definida pela disposição de filossilicatos orientados, os quais configuram ainda uma textura lepidoblástica, freqüentemente do tipo porfiroblástica.

São constituídos por muscovita e biotita que se dispõem orientadas definindo a foliação, à qual se associam porfiroblastos de granada, plagioclásio e quartzo, caracterizando uma textura lepidoblástica-porfiroblástica. Pontualmente essas rochas são portadoras de cristais de cianita.

Os cristais de muscovita e biotita freqüentemente são anédricos e de granulação fina, sendo que este segundo mineral exhibe normalmente feições de alteração. A granada forma porfiroblastos anédricos a subédricos, constituindo as variedades composicionais espessartita e andradita, enquanto o quartzo e o plagioclásio, que corresponde composicionalmente a albita, formam finos cristais anédricos.

É comum ainda ocorrer intercalado a esse pacote litológico finas lentes de xistos grafitosos, de coloração cinza escuro e também normalmente alterados, dificultando assim sua caracterização.

Metachertes

Os metachertes formam camadas pouco expressivas, normalmente alongadas e disruptas, que se intercalam em meio a rochas de composição básica/ultrabásica, muscovita-quartzo xistos e muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos. São representados por distintos termos petrográficos, tais como metachertes quartzosos, granada metachertes ferruginosos e magnetita metachertes.

As rochas com composição granadífera quando alteradas são ricas em hidróxidos de ferro, e em proporções menores, ocorrem cristais de rutilo, epidoto, sulfetos e óxidos, que se associam a grãos de quartzo da matriz, caracterizando o desenvolvimento de uma foliação anastomosada, bandamento composicional local e uma textura granoblástica porfiroblástica, caracterizada pelos minerais de granada.

Ao microscópio o quartzo apresenta-se com granulação fina a grossa e anédrico. Localmente, em porção nitidamente mais deformada da rocha, desenvolvem-se minerais alongados e orientados paralela a subparalelamente, caracterizando a foliação principal.

Alguns cristais de quartzo apresentam seu maior eixo disposto obliquamente à referida estrutura, que associados a filmes goethíticos, definem uma foliação pretérita, e em conjunto caracterizam estruturas SC, condizentes com movimentação local dextral. Localmente os níveis formados por esses minerais, associados às faixas goethíticas, caracterizam um bandamento composicional incipiente a marcante, como ilustrado na Fotomicrografia 3.2-22, que pontualmente se apresenta dobrado (Fotomicrografia 3.2-23).

A granada forma cristais que constituem porfiroblastos anédricos, quase sempre alterados (Fotomicrografias 3.2-24 e 3.2-25), substituídos por goethita e quartzo, e freqüentemente com forte fraturamento. É comum ainda esses minerais formarem níveis irregulares, que acompanham a foliação principal, onde normalmente se apresentam rotacionados, inclusive com desenvolvimento de franjas de recristalização.

Os hidróxidos de ferro, representados por goethita, ocorrem generalizadamente em toda a rocha, e além de substituírem granadas, marcam também o processo de alteração dos óxidos e sulfetos. Formam ainda agregados alongados caracterizando as estruturas da rocha. Os cristais de leucoxênio e rutilo são muito finos a finos e anédricos. Também apresentam alteração parcial para goethita ou então se encontram preservados constituindo inclusões em cristais de quartzo.

Os grãos de epidoto também ostentam granulação muito fina a fina e são anédricos, amplamente dispersos na rocha. Cristais de sulfetos e óxidos, finos a médios, subédricos a euédricos e anédricos, respectivamente, apresentam-se parcialmente alterados, distribuídos principalmente em níveis goethíticos, junto a granadas e ainda como inclusões em grãos de quartzo.

As rochas designadas como magnetita metachertes (Fotomicrografia 3.2-23) também apresentam seus óxidos goethitizados, freqüentemente constituindo grãos médios

a grossos, os quais se associam a cristais de quartzo finos a predominantemente médios a grossos. Ocorrem ainda nesses litotipos cristais de granulação muito fina de leucoxênio, associados a goethitas e a finos cristais de quartzo, onde formam pequenas inclusões.

Formações Ferríferas

As formações ferríferas apresentam-se leve a marcantemente bandadas, definidas pela alternância de níveis irregulares e de espessuras distintas, quartzosos e ricos em óxidos, de ampla ocorrência nos prospectos Lenhoso e Boa Vista e mais restritos no Prospecto Gravatá. Já no Prospecto Colônia são caracterizadas rochas eminentemente maciças, que ocorrem como intercalações lenticulares em meio a xistos metabásicos/ultrabásicos.

São constituídas por cristais de quartzo fino a médio, anédricos angulosos e que se apresentam amplamente recristalizados, além de goethita, que forma agregados disformes

dispostos ao longo dos limites de grãos de quartzo e principalmente alinhados paralela a subparalelamente, definindo uma foliação anastomosada conspícua. Também ocorrem cristais de goethita muito fina e intimamente associados às bordas dos minerais opacos, representando assim um estágio de alteração dos mesmos.

Os minerais opacos dessas rochas são representados predominantemente por hematita e magnetita, que geralmente formam grãos de granulação fina a raramente grossa, anédricos subangulosos a estirados, normalmente dispostos ao longo da foliação junto a goethitas.

Nos termos bandados, além do desenvolvimento de camadas hematíticas intercaladas a outras quartzosas (Fotomicrografia 3.2-26), se observa também a presença de uma foliação milonítica marcante, desenvolvida paralelamente ao bandamento composicional, que pode representar o acamamento sedimentar. Entre as feições macroscópicas mais marcantes registradas nessas rochas estão o desenvolvimento de cisalhamento, gerando dobras de arrasto centimétricas, além de intenso fraturamento, por vezes gerando brechação, onde há cristalização de óxidos de manganês secundário.

Os cristais de hematita possuem granulação muito fina a grossa e são subédricos a normalmente euédricos, com hábito prismático curto. Os grãos finos a muito finos ocorrem preferencialmente como inclusões em cristais de quartzo, enquanto os demais formam agregados paralelizados junto a níveis quartzosos, definindo o bandamento composicional (Fotomicrografia 3.2-26).

Nesses níveis, observa-se tendência de alongamento/estiramento dos cristais de hematita, bem como dos grãos de quartzo, condizente com o desenvolvimento da foliação principal, paralela ao acamamento reliquiar. Pontualmente, esses minerais ocorrem dispostos perpendicularmente ao bandamento/foliação, ocupando espaços em microfraturamentos. Localmente esses óxidos se apresentam goethitizados ou ainda martitizados, gerando grãos de hematita porosa.

Formando grãos de granulação fina a média e anédricos, os cristais de quartzo apresentam-se localmente poligonizados, e ocorrem em agregados monominerálicos dispostos em níveis paralelos, que se intercalam com níveis hematíticos, caracterizando a

foliação. É comum esses minerais apresentarem extinção ondulante, bordas corroídas, fraturamento e ainda inclusões finas a muito finas de hematitas, turmalina e zircão.

Secundariamente ocorrem agregados de granulação muito fina de goethita nas bordas de minerais opacos e em microfraturas de cristais de quartzo. Rutilo e zircão, de granulação essencialmente fina e anédricos, representam minerais secundários nesses litotipos, e ocorrem levemente orientados em planos da foliação, ou ainda como inclusões em grãos de quartzo.

De ocorrência localizada, as formações ferríferas se apresentam deformadas ruptilmente, gerando brechas preenchidas por óxidos de manganês (criptomelana e pirolusita – Fotomicrografia 3.2-27).

Paragneisses

Foram caracterizados diversos litotipos gnáissicos nas áreas de estudo, compreendendo rochas de composição tonalítica, granodiorítica, sieno-granítica e quartzo granítica, que formam camadas contínuas a localmente disruptas, orientadas paralelamente às zonas de cisalhamento locais. As feições apresentadas por essas rochas, tanto textural quanto composicionalmente, embora não sejam determinativas, parecem ser condizentes com uma origem paraderivada.

Gnaisses tonalíticos

Os gnaisses tonalíticos constituem termos que compreendem biotita-quartzo-oligoclásio gnaisses, muscovita-biotita-quartzo-oligoclásio gnaisses, biotita-oligoclásio-quartzo gnaisses, muscovita-biotita-oligoclásio-quartzo gnaisses e sericita-clorita-biotita-quartzo-oligoclásio-hornblenda gnaisses.

São rochas que ostentam coloração esbranquiçada a localmente cinza claro a escuro, possuem foliação do tipo gnaissificação marcante, caracterizada principalmente pelos minerais filossilicáticos, e apresentam textura granoblástica fina a média, definida pelos minerais granulares, e ainda granonematoblástica, caracterizada pela associação de minerais quartzo-feldspáticos com anfibólios, a qual apresenta ainda feições cataclásticas.

O plagioclásio, caracterizado composicionalmente em todas as amostras como oligoclásio, formam cristais de granulação fina a média, anédricos a localmente com formas poligonais, e frequentemente estão em processo parcial de alteração (Fotomicrografia 3.2-28), compreendendo sericitização, caulinização e saussuritização.

O quartzo ocorre em arranjo granoblástico com plagioclásio, e apresenta-se com granulação fina a média e localmente grossa, estirado, com extinção ondulante e fortemente orientados, constituindo níveis irregulares, que configuram um tênue bandamento composicional paralelo à foliação.

Cristais de biotita, muscovita e clorita formam palhetas finas a raramente médias, anédricos prismáticos, que pontualmente constituem agregados, e que se dispõem

incipiente a fortemente orientados (Fotomicrografia 3.2-29), definindo junto com minerais granulares uma foliação milonítica.

Cristais de hornblenda, de ocorrência local, são subédricos a euédricos, ostentam granulação média a grossa, e associam-se a filossilicatos e demais minerais definindo uma tênue foliação, marcada principalmente por feições cataclásticas.

Minerais opacos, representados por sulfetos a localmente pela associação desses a óxidos, são finos e anédricos, e distribuem-se dispersamente na rocha. Ocorrem ainda como minerais traços, cristais de apatita, titanita, rutilo, zircão, epidoto e alanita, todos de granulação fina e freqüentemente anédricos, distribuídos aleatoriamente nos diferentes termos petrográficos.

Gnaisses granodioríticos

São rochas de coloração verde clara, constituídas por finos cristais de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, carbonato, clorita, muscovita, minerais opacos, titanita e ainda traços de biotita e apatita.

Apresentam desenvolvimento de foliação do tipo gnaissificação marcante, definida pela orientação de filossilicatos em meio a níveis granulares, sendo a textura caracterizada como granoblástica fina com aspecto cataclástico, devido à ocorrência de faixas de minerais que apresentam redução na granulação, que se desenvolvem subparalelamente à foliação, além da ocorrência de várias microfraturas.

Os cristais de quartzo e feldspatos possuem granulação fina e são anédricos, dispostos em arranjo granoblástico formando níveis granulares irregulares. O plagioclásio corresponde composicionalmente a oligoclásio, que se apresenta parcialmente alterado para minerais de argila e carbonato, enquanto o feldspato potássico é caracterizado como microclínio.

Os minerais micáceos formam finas palhetas subédricas prismáticas bem orientadas, por vezes definindo finos níveis, caracterizando assim uma foliação marcante, que se apresenta levemente ondulada. Os carbonatos são extremamente finos e anédricos, e ocorrem disseminados por toda a rocha, em contato com os demais minerais granulares, e ainda preenchendo microfraturas.

Minerais opacos, titanita e apatita, formam cristais anédricos de granulação fina, que ocorrem dispersos pela rocha.

Gnaisses monzograníticos

Os gnaisses monzograníticos são rochas de coloração rósea, que têm como principais constituintes minerais quartzo, oligoclásio e microclínio, ocorrendo subordinadamente ainda goethita, muscovita e minerais opacos. Freqüentemente esses

minerais apresentam-se fortemente deformados, caracterizando uma rocha protomilonítica porfiróide (Fotomicrografia 3.2-30).

Representando a maioria dos porfiroclastos, os feldspatos potássicos são cristais de microclínio anédricos e de granulação muito grossa, que se apresentam fraturados e com geminação em grade deformada tectonicamente. Outros feldspatos potássicos de granulação fina a raramente média, composicionalmente correspondendo a ortoclásio, em conjunto com cristais de plagioclásio e quartzo, são anédricos e de mesma granulação, constituindo a matriz da rocha.

O plagioclásio que forma porfiroclastos é oligoclásio, enquanto os minerais de granulação fina, amplamente deformados, são caracterizados como albita, apresentado-se localmente alterados para sericita e saussurita.

Os cristais de quartzo, além de associar-se a feldspatos, ocorrem ainda em zonas de fraturas, formando grãos grossos a muito grossos.

A goethita forma agregados dispostos ao longo de limites de grãos e em fraturas em plagioclásios, ocorrendo ainda em fraturamento que corta generalizadamente a rocha.

Sericita e muscovita fina associam-se essencialmente a plagioclásios, enquanto minerais opacos, representados por sulfetos e magnetitas de granulação fina e anédricos, por vezes alongados, ocorrem dispersos junto aos demais minerais.

Gnaisses sieno-graníticos

Ostentando coloração cinza clara, os gnaisses sieno-graníticos são compostos por finos cristais de quartzo, feldspatos (plagioclásio e potássico), biotita, muscovita, carbonato, epidoto e minerais opacos, além de traços de clorita, apatita, turmalina e zircão. Esses minerais apresentam-se orientados, caracterizando uma foliação do tipo gnaissificação conspícua e uma textura granoblástica.

Microscopicamente observa-se a ocorrência de cristais de microclínio, de granulação fina a média, que são anédricos subangulosos e/ou com bordas corroídas, e com proeminente desenvolvimento de geminação micropertítica, além de localmente apresentar-se em processo parcial de alteração (saussuritização).

Os cristais de plagioclásio, que se associam ao microclínio, são caracterizados como andesina, e apresentam-se finos a médios e anédricos, por vezes com inclusões de quartzo, e que ocorrem dispersos na rocha, normalmente acompanhando de forma irregular a foliação.

O quartzo forma grãos finos a médios, localmente grossos, anédricos estirados, com extinção ondulante pontualmente bem desenvolvida, que se associam a feldspatos junto aos planos da foliação.

Os cristais de biotita são finos a raramente médios, enquanto as palhetas de muscovita são predominantemente médias, ambos subédricos prismáticos, e que ocorrem orientados subparalelamente, caracterizando uma conspícua foliação do tipo gnaissificação, que se apresenta incipientemente ondulada.

Carbonato e epidoto formam grãos finos e anédricos, enquanto os minerais opacos chegam a constituir cristais de granulação média, todos dispostos irregularmente em planos da referida foliação.

Os minerais traços acima referidos são representados por cristais finos e anédricos, que se distribuem amplamente por toda a rocha.

Quartzo gnaisses

Estes gnaisses, que apresentam proporções de 64 a 78% de quartzo, possuem coloração cinza claro, verde claro a escuro e esbranquiçada, e são constituídos ainda por cristais de plagioclásio, feldspato potássico, biotita, muscovita, clorita, carbonato, minerais opacos, turmalina, epidoto e titanita, além de comumente ocorrem como minerais traços cristais de apatita, e ainda localmente rutilo e granada.

Observa-se o desenvolvimento de uma foliação do tipo gnaissificação incipiente a marcante, caracterizada pela orientação de minerais filossilicáticos que freqüentemente formam níveis que se intercalam a bandas granulares, definindo assim um conspicuo bandamento composicional (Fotomicrografia 3.2-31). A textura predominante é granolepidoblástica fina, ocorrendo, entretanto, arranjos granoblásticos, localmente com feições cataclásticas.

O quartzo forma grãos finos, freqüentemente poligonizados, que associados a feldspatos constituem faixas granulares desenvolvidas paralela a subparalelamente à foliação. Cristais de granulação média a localmente grossa ocorrem essencialmente em vênulas e microveios (que atingem até 1cm aproximadamente), que se apresentam estirados, acompanhando a estrutura da rocha.

Em todas as amostras analisadas o plagioclásio é representado por oligoclásio, em grãos anédricos a poligonais, ostentando granulação fina, por vezes geminados (tipo albita), e localmente em processo de alteração para carbonato e minerais de argila. Freqüentemente associa-se em arranjo granoblástico com cristais de quartzo, e localmente com clorita, carbonato e epidoto.

Os carbonatos são representados por finos grãos anédricos, dispostos em microfraturas, dispersos na rocha, ou ainda formando agregados irregulares. Também ocorrem em bordas de plagioclásio, representando o produto de alteração desses minerais.

Formando palhetas de granulação fina a média, os cristais de clorita, que possuem pleocroísmo variando de amarelo-esverdeado a verde-claro, tendendo composicionalmente a serem ricas em ferro, apresentam-se incipientemente orientados. Biotita e muscovita, também de granulação fina, apresentam-se bem orientadas, normalmente constituindo faixas filossilicáticas, as quais em conjunto com as cloritas, definem a foliação superimposta à rocha. É comum ainda a ocorrência de muscovita de granulação grossa associada às venulações quartzosas.

Os minerais opacos são representados predominantemente por sulfetos e localmente pela associação destes com magnetita, que formam cristais anédricos finos, associados às faixas filossilicáticas (Fotomicrografia 3.2-32).

De ocorrência localizada nessas rochas, o feldspato potássico, caracterizado como microclínio, forma cristais de granulação fina, também poligonizados, freqüentemente associados a oligoclásio e quartzo.

Epidoto da variedade clinozoizita, constitui cristais prismáticos finos, intimamente associados ao plagioclásio, enquanto titanita que forma grãos muito finos, ocorre inclusa em cristais de clorita.

Os minerais traços também constituem cristais de granulação fina, são anédricos e ocorrem dispersos na rocha.

3.2.4. Protólitos e Metamorfismo

As considerações sobre os protólitos dos distintos tipos petrográficos e o metamorfismo que atuou sobre esses na área de estudo embasam-se nas paragêneses e/ou associações minerais reconhecidas durante os trabalhos petrográficos, além de dados disponíveis na literatura, que atribuem para as unidades da região estudada metamorfismo situado na fácies anfíbolito (Teixeira *et al.* 1987; Zanardo, 1992 e Roig, 1993).

Seqüência metavulcânica/plutônica

As associações minerais mais importantes identificadas nos litotipos pertencentes à seqüência metavulcânica/plutônica são apresentadas a seguir:

Xistos máficos/ultramáficos

- talco + actinolita/tremolita + antofilita
- talco + biotita + antofilita + flogopita
- talco + antofilita + clorita
- clorita + tremolita
- clorita + cummingtonita + antofilita
- antofilita + tremolita
- antofilita + actinolita/tremolita + cummingtonita + talco + clorita
- tremolita + antofilita + clorita + talco
- actinolita/tremolita + bronzita + olivina + antofilita + clorita
- hornblenda + granada + cianita + clorita
- hornblenda + antofilita + clorita
- hornblenda + antofilita + albita + clorita $\pm$ quartzo
- hornblenda + andesina + quartzo
- hornblenda + andesina + carbonato + quartzo
- hornblenda + cummingtonita + oligoclásio $\pm$ quartzo
- cummingtonita + tremolita ou actinolita/tremolita + antofilita
- cummingtonita + gedrita + cianita
- cummingtonita/grünerita + tremolita

- cummingtonita + antofilita + clorita + talco
- cummingtonita + hornblenda + antofilita + clorita + carbonato

Anfibolitos

- hornblenda + andesina + quartzo $\pm$ cianita $\pm$ carbonato $\pm$ flogopita $\pm$ granada $\pm$ clorita $\pm$ titanita $\pm$ escapolita

Essas rochas metavulcânicas/plutônicas, embora metamorfasadas em fácies anfibolito, possuem assembléias minerais que tendem a composições de peridotitos e basaltos komatiíticos provenientes de derrames básicos e ultrabásicos, respectivamente, ou ainda a rochas plutônicas, o que é atestado pelo quimismo dessas, apresentado no capítulo 4.

Aqueles de origem básica são representados pela variedade de rochas à base de clorita e actinolita/tremolita e ainda ortoanfibolitos, que devem ter sido originados a partir de basaltos, enquanto os ultramáficos estão associados meta-ortopiroxenitos, cummingtonita/grünerita xistos, talco xisto e antofilita xisto, que provêm da ação metamórfica sobre piroxenitos, peridotitos e dunitos, como já aventado por Choudhuri *et al.* (1982, 1988), Roig (1993) e Zanardo *et al.* (1996).

As distintas fases metamórficas que atuaram no conjunto litológico da seqüência metavulcânica/plutônica são marcadas pelas diferentes fases minerais, sendo o metamorfismo representado pela substituição dos minerais originais (à base de olivina, clino e ortopiroxênios e espinélio) por antofilita (por vezes intercrecida com tremolita), tremolita com ou sem exsolução de cummingtonita e ainda por clorita magnesianas. Segundo Zanardo *et al.* (1996) essas transformações desenvolveram-se progressivamente durante a implantação da foliação principal, com temperaturas do início do processo de deformação estimado da ordem de aproximadamente 700°C, embora esses mesmos autores atribuam temperaturas entre 750 a 800°C para o ápice metamórfico, caracterizado pela ocorrência, mesmo pontual, da mineralogia primária à base de ortopiroxênio e olivina com evidências de recuperação e recristalização sem desestabilização.

Entretanto, devido à especificidade das áreas dos prospectos, foram caracterizados somente ortopiroxênios na região de Jacuí, sendo que a ausência desses minerais nas proximidades de Bom Jesus da Penha e adjacências deve-se provavelmente às contínuas transformações a que os mesmos foram submetidos, gerando anfibólio, clorita e talco.

A partir dos estudos petrográficos foram caracterizados clino e ortoanfibólitos, inclusive com desenvolvimento de processos de exsolução, além ainda de rochas anfibolíticas portadoras de granada e cianita, o que permite presumir que as condições metamórficas atingiram a fácies anfibolito médio a alto, em regime de pressão relativamente alto, possivelmente com temperaturas superiores a 700°C. Desta forma, os dados ora obtidos corroboram com as proposições de Teixeira *et al.* (1987), Zanardo (1992) e Zanardo *et al.* (*op. cit.*) para o conjunto litológico supracitado.

A geração de anfibólitos do tipo actinolita/tremolita relaciona-se com o decréscimo da temperatura, podendo nesse caso representar ainda condições de fácies anfibolito ou

xisto verde. Já a ocorrência de cloritas magnesianas pode ser associada tanto a esta fase de arrefecimento das condições metamórficas como também ainda expressar condições de maior temperatura (superiores a 600°C), como demonstrado por Jenkins & Chernoski Jr. (1986), enquanto a ocorrência de cristais de talco, especialmente os de granulação mais fina, foram gerados em condições de fácies xisto verde, a partir do consumo de ortopiroxênio, antofilita e actinolita/tremolita.

Desta forma, constituem feições retrometamórficas a associação de actinolita/tremolita, clorita e talco, que são os minerais predominantes nas diversas rochas metavulcânicas/plutônicas estudadas, tanto na região de Jacuí como nos arredores de Bom Jesus da Penha.

Seqüência metassedimentar

Abaixo são apresentadas as associações minerais reconhecidas nas rochas de origem metassedimentar:

Quartzitos

- quartzo + sericita
- quartzo + sericita + pseudomorfos de feldspatos

Quartzo xistos

- quartzo + muscovita/sericita + biotita

Muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos

- quartzo + sericita/muscovita + biotita + granada ± albita ± cianita

Rochas calcissilicáticas

- quartzo + oligoclásio + carbonato + hornblenda + cummingtonita + granada + clorita + biotita
- quartzo + hornblenda + flogopita + carbonato + epidoto + andesina
- biotita + escapolita + carbonato + quartzo + granada + muscovita + andesina

Metachertes

- quartzo + granada + goethita

Formações ferríferas e metachertes ferruginosos

- hematita + quartzo
- quartzo + magnetita + hematita + goethita ± cuprita ± cromita ± sulfetos

Paragneisses

- quartzo + oligoclásio + biotita + muscovita ± clorita
- quartzo + microclínio + albita + biotita
- quartzo + microclínio + carbonato + clorita + muscovita

- quartzo + oligoclásio + microclínio + biotita + muscovita ± carbonato
- quartzo + oligoclásio + clorita ± microclínio ± epidoto ± carbonato
- quartzo + oligoclásio + albita + microclínio + ortoclásio + muscovita

A sequência de rochas supracitada é representante do metamorfismo que atuou em rochas sedimentares originadas por processos distintos, que constam de sedimentação essencialmente clástica/psamítica e sedimentação pelítica-química exalativa.

São representantes do primeiro processo os muscovita/sericita-quartzo xistos e quartzitos, sendo associados ao segundo processo os (cianita)-muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, rochas calcissilicáticas, anfibolitos granadíferos, quartzo anfibolitos, xistos grafitosos, metachertes ferruginosos e metachertes granadíferos.

As associações minerais observadas nas rochas de origem sedimentar também indicam claramente metamorfismo de fácies anfibolito, registrado principalmente pela ocorrência de anfibólio, plagioclásio, granada e cianita em xistos e anfibolitos, e evidências de fusão parcial, indicando temperaturas próximas ou superiores a 700°C. Nessas rochas, a ocorrência de biotitas cloritizadas marca o evento retrometamórfico de fácies xisto verde.

O estudo aqui desenvolvido corrobora as proposições de Crosta *et al.* (1986), Schrank *et al.* (1990), Soares *et al.* (1990) e Zanardo (1992), entre outros, quanto ao caráter paraderivado das rochas gnáissicas presentes na área de estudo, para as quais o metamorfismo registrado também é equivalente aos demais tipos de rocha, com a presença principalmente de cristais de ortoclásio, e ainda segundo Zanardo (1992), andesina e mobilizados oriundos de anatexia.

Os processos deformacionais superimpostos a esses gnaisses, freqüentemente configurando-lhes aspectos cataclásticos a miloníticos, além de aspectos microestruturais e de neomineralização, são indicativos de temperaturas próximas a 450°C, marcados principalmente por recristalização (quartzo e feldspatos) e formação de albita e mirmequita. A ocorrência de cristais de biotita cloritizada, em associação ao freqüente processo de saussuritização dos cristais de plagioclásio mais antigos (com geração principalmente de sericita e carbonato), e fragmentação de feldspatos e quartzo marcam o retrometamorfismo, situado em fácies xisto verde média a baixa.

Mobilizados granitóides de natureza pré- a sintectônica (ortognaisses)

- quartzo + sericita + albita + microclínio
- quartzo + albita + biotita + sericita
- quartzo + albita + clorita + epidoto

As associações minerais observadas nas rochas ortognaissicas, principalmente de albita, sericita, biotita e clorita, evidenciam grau metamórfico situado na fácies xisto verde, condições estas relacionadas aos estágios finais da evolução das zonas de cisalhamento Riacho Fundo, na região de Jacuí, e Bom Jesus da Penha e Mumbuca, nas adjacências do município de Bom Jesus da Penha.

A colocação dos mobilizados aparenta ter ocorrido em condições de fácies anfibolito, antes ou precocemente à implantação da referida zona de cisalhamento na região de Jacuí.

3.2.5. Síntese do Estudo Petrográfico

A Faixa Metavulcano-Sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha e a unidade gnáissica que a hospeda apresentam grande similaridade na constituição litológica nas distintas áreas estudadas.

O Complexo Barbacena é representado por ortognaisses de composições tonalíticas, granodioríticas e monzogranodioríticas e que representam mobilizados granitóides de natureza pré- a sintectônica, alojados ao longo da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, embora ocorram também corpos gnáissicos provavelmente de natureza similar intrazonas de cisalhamento (zonas de cisalhamento Bom Jesus da Penha e Mumbuca) nas proximidades da região de Bom Jesus da Penha.

A seqüência metavulcano-sedimentar que representa a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha é reconhecida neste e em diversos trabalhos como *mélange* ou complexo ofiolítico. Desta forma, é dificultada a distinção entre algumas rochas representantes de sedimentação química, que podem ser associadas tanto a momentos de quiescência vulcânica quando da geração dos litotipos vulcânicos de filiação básica/ultrabásica, como também a processos de intercalação vulcânica durante a deposição dos sedimentos constituintes do Grupo Araxá/Canastra, bem como de intrusivas estratiformes ou não.

Constituem a seqüência metavulcânica/plutônica diversos tipos petrográficos deformados e metamorfisados em condições de fácies anfibolito médio a alto. No presente estudo, foram caracterizados predominantemente xistos (que constituem distintos termos, à base de clorita, actinolita/tremolita, cummingtonita/grünerita, antofilita, talco e hornblenda), e subordinadamente meta-ortopiroxenitos. São admitidos para essas rochas protólitos de composição piroxenítica, peridotítica e dunítica.

Representam a seqüência metassedimentar litotipos atribuídos ao Grupo Araxá/Canastra, que constam de xistos, quartzitos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas, metachertes e paranfibolitos. Também são representantes da referida unidade os paragnaisses hospedeiros do complexo ofiolítico. Esse conjunto litológico é representante de sedimentos clásticos/psamíticos e pelítico-químicos exalativos deformados e metamorfisados também condições similares àquelas caracterizadas para as rochas metábásicas/ultrabásicas.

Parte dessas rochas, principalmente os xistos, podem ainda ter sido originados a partir de processos hidrotermais, ou pelo menos terem sido submetidos aos referidos processos. Embora abordado com maior detalhe nos capítulos seguintes, essas rochas, notadamente os muscovita/sericita-quartzo xistos, são os principais representantes do minério aurífero, sendo passível de associação ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento Riacho Fundo, na região de Jacuí, e Bom Jesus da Penha e Mumbuca, nos arredores de Bom Jesus da Penha.

Tal hipótese corrobora com a proposição de Zanardo *et al.* (2000) para a ocorrência de rochas hidrotermais/metassomáticas que têm sido caracterizadas como metassedimentos do Grupo Araxá/Canastra. Entretanto, não se descarta a possibilidade desses serem constituintes desta unidade e que localmente se apresentam hidrotermalizados.

3.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL

As concentrações auríferas estudadas estão intimamente associadas à Zona de Cisalhamento Riacho Fundo (região de Jacuí), e balizadas pelas zonas de cisalhamento Bom Jesus da Penha (cidade homônima) e Mumbuca (região de Nova Resende).

O controle estrutural superimposto aos prospectos pesquisados, influenciado pelas zonas de cisalhamento supracitadas, é resultante do desenvolvimento de estruturas regionais. Nesse sentido, o presente capítulo de geologia estrutural, considera também o padrão estrutural regional, com o objetivo de subsidiar interpretações acerca de dados de geologia estrutural de cada prospecto estudado.

São caracterizados a seguir o padrão estrutural regional e os padrões locais, verificados junto à sequência metavulcano-sedimentar nos prospectos estudados em detalhe, os quais são complementados por estudos de microanálise.

3.3.1. Padrão Estrutural Regional

Para se verificar o padrão estrutural regional foram realizados estudos de fotointerpretação, análise de redes de drenagem e topografia em escala regional e traçado de perfis esquemáticos, descritos a seguir.

Na referida análise foram utilizadas as folhas topográficas na escala 1:50.000 de São Sebastião do Paraíso (SF.23-V-A-VI-3), Fortaleza de Minas (SF.23-V-A-VI-4), Alpinópolis (SF.23-V-B-IV-3), Monte Santo de Minas (SF.23-V-C-III-1), Jacuí (SF.23-V-C-III-2) e Nova Resende (SF.23-V-D-I-1).

A verificação/extração dos padrões de drenagens da região entre Jacuí-Bom Jesus da Penha-Nova Resende, realizada no presente estudo, permitiu o reconhecimento dos segmentos retilíneos de drenagem, possibilitando o reconhecimento da influência ou controle tectônico na implantação da rede de drenagem.

A Figura 3.3-1a ilustra os padrões dos segmentos interpretados como lineamentos correspondentes a prováveis discontinuidades (fraturas e/ou falhas) que apresentam maior frequência, enquanto a Figura 3.3-1b apresenta os padrões de maior amplitude.

Utilizando-se as mesmas folhas topográficas acima referidas, foram compilados os distintos níveis topográficos da região, os quais foram empregados tanto na confecção de perfis esquemáticos como também na confecção do mapa hipsométrico, este último apresentado em conjunto com os traços interpretados como discontinuidades nas Figuras 3.3-2 a 3.3-5, ilustrando os padrões de altos e baixos topográficos que ocorrem na região.

Conforme pode ser constatado nas figuras supracitadas, ocorrem padrões que correspondem a estruturas tectônicas com diversas orientações. As estruturas reconhecidas como orientadas nas direções NW-SE (Fig. 3.3-2) e NE-SW (Fig. 3.3-3), embora representadas por menores frequências e amplitudes, como ilustrado na Figura 3.3-1, constituem sistemas marcantes, embora aqueles de direção N-S (Fig. 3.3-4) e E-W (Fig. 3.3-5) mais se destaquem, quer seja por ocorrerem com maior frequência ou por apresentarem maior amplitude.

Quando observadas as características hipsométricas da região, que demonstram os distintos graus de dissecação da área, é nítida a influência exercida por estruturas tectônicas, quer seja por fraturamentos e/ou falhamentos. Dentre os padrões reconhecidos, os que mais se destacam na região centro-leste da área estudada são os de direção N-S, e subordinadamente os de direção E-W/NE-SW (Figs. 3.3-4 e 3.3-5). Nessa região, especificamente nos arredores do município de Jacuí, as concentrações auríferas são condicionadas estruturalmente pela Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, que ostenta orientação próxima a E-W a ENE-WSW, e também por falhamentos secundários associados a esta zona, com orientações próximas a N-S.

Já na região centro-oeste são marcantes as condicionantes estruturais nas direções NW-SE e secundariamente NE-SW (Figs. 3.3-2 e 3.3-3). Nessa região estão localizados prospectos balizados por estruturas regionais que ostentam orientação NW-SE (zonas de cisalhamento Bom Jesus da Penha e Mumbuca). Observa-se ainda nessa região uma tênue contribuição dos sistemas de fraturamentos N-S, havendo ausência de registro geomorfológico dos sistemas E-W.

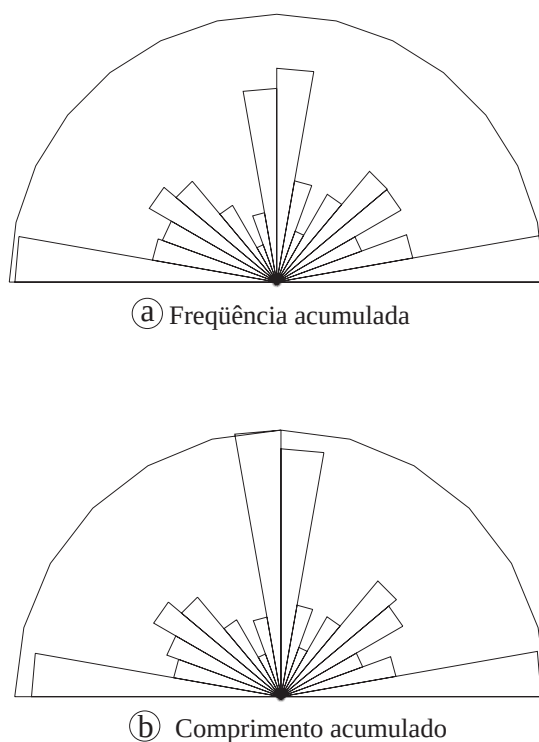


Figura 3.3-1. Diagramas de rosetas ilustrando as (a) frequências e (b) amplitudes dos lineamentos correspondentes a prováveis descontinuidades.

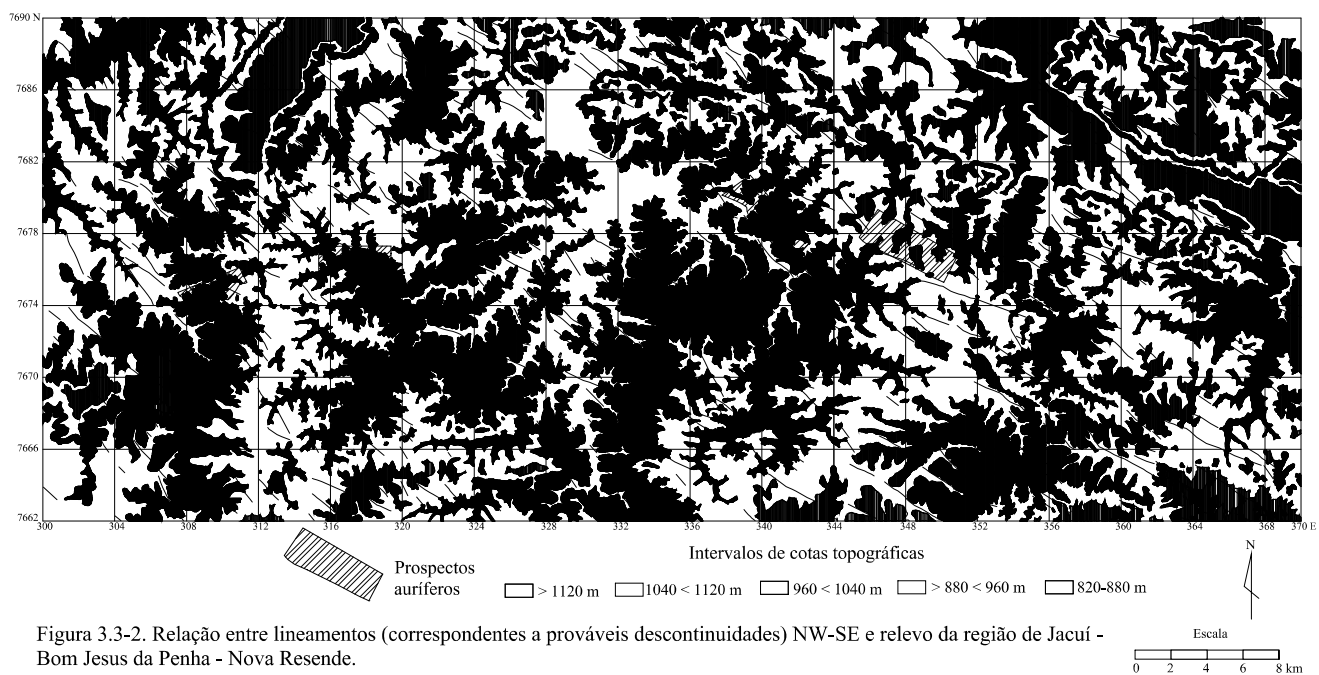


Figura 3.3-2. Relação entre lineamentos (correspondentes a prováveis descontinuidades) NW-SE e relevo da região de Jacuí - Bom Jesus da Penha - Nova Resende.

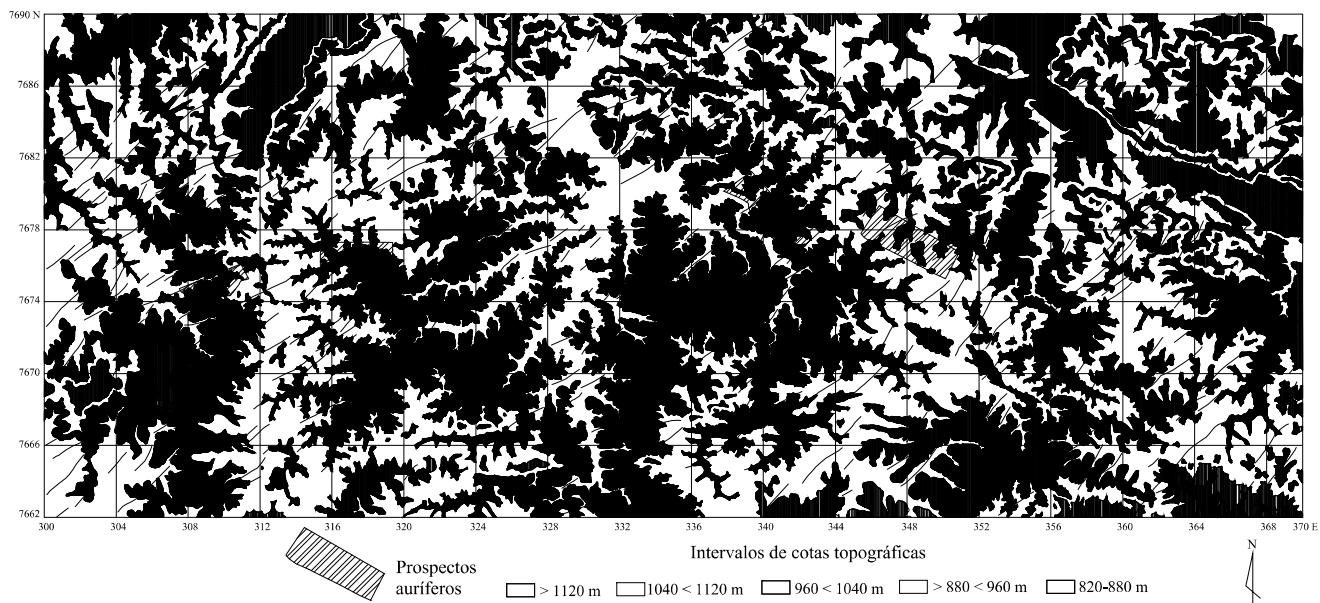


Figura 3.3-3. Relação entre lineamentos (correspondentes a prováveis descontinuidades) NE-SW e relevo da região de Jacuí - Bom Jesus da Penha - Nova Resende.

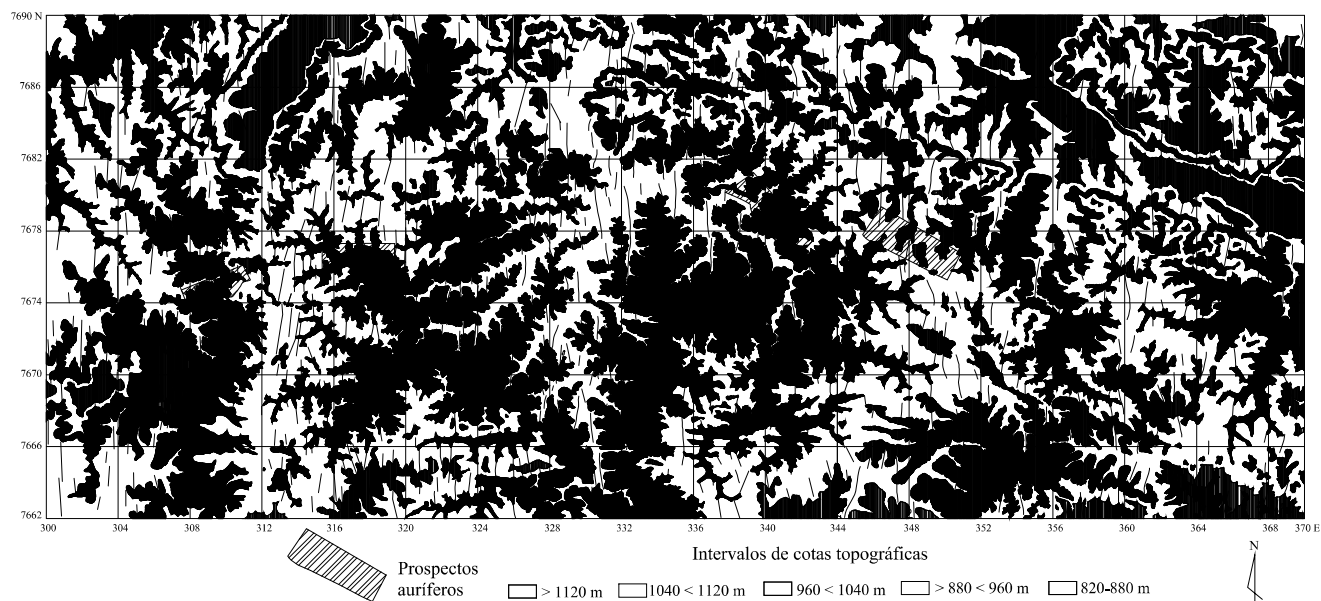


Figura 3.3-4. Relação entre lineamentos (correspondentes a prováveis descontinuidades) N-S e relevo da região de Jacuí - Bom Jesus da Penha - Nova Resende.

Escala
0 2 4 6 8 km

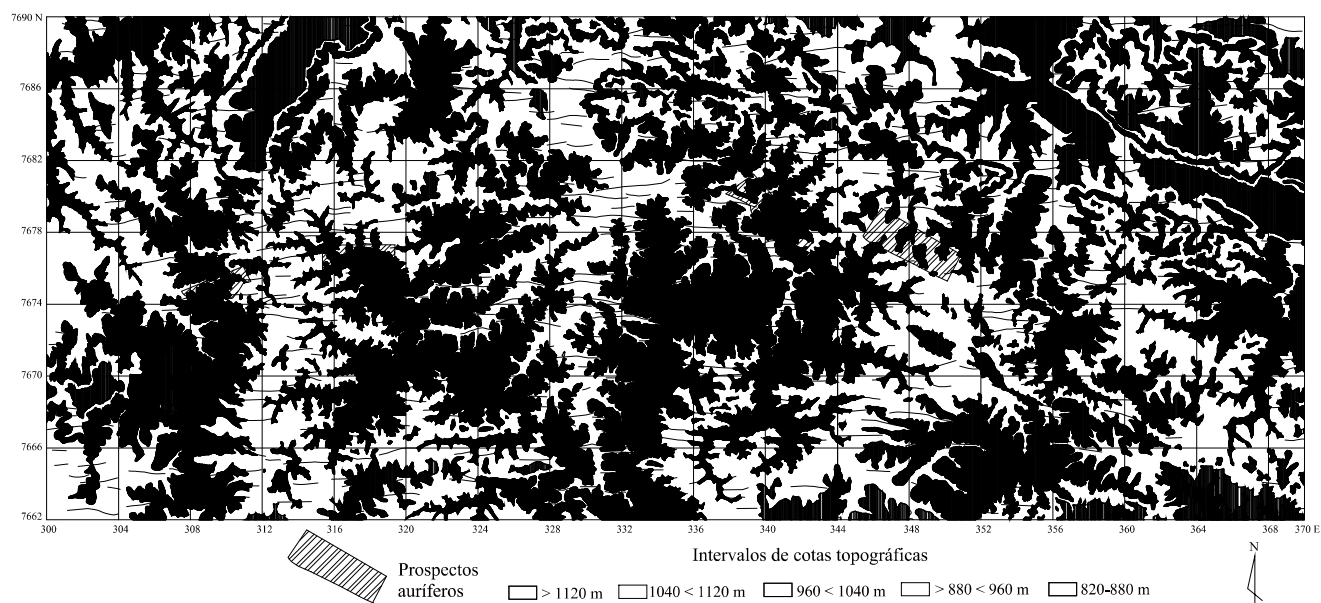


Figura 3.3-5. Relação entre lineamentos (correspondentes a prováveis descontinuidades) E-W e relevo da região de Jacuí - Bom Jesus da Penha - Nova Resende.

3.3.2. Caracterização Estrutural dos Prospectos Auríferos

A caracterização estrutural das áreas pesquisadas abrange o estudo das principais feições planares (bandamento composicional, foliação, falhas, fraturas e veios) e feições lineares (lineações de estiramento).

Bandamento Composicional

No **Prospecto Boa Vista** o bandamento composicional é uma estrutura desenvolvida incipiente a marcadamente nos metachertes ferruginosos e grafíticos, formações ferríferas bandadas, rochas calcissilicáticas e rochas gnáissicas. Alguns termos básicos/ultrabásicos localmente possuem um tênue bandamento, destacando-se, entretanto principalmente quando essas rochas se apresentam intemperizadas. Essa estrutura pode apresentar-se ondulada, microdobrada a dobrada irregularmente.

Da mesma forma, as rochas do **Prospecto Lenhoso** localmente também ostentam bandamento composicional que varia de incipiente a marcante, destacando-se também os metassedimentos químicos e as rochas gnáissicas, e somente de forma secundária os metabasitos/ultrabasitos.

No Prospecto Gravatá os litotipos que apresentam bandamento composicional são predominantemente metachertes e formações ferríferas bandadas e gnaisses. Nessa área o desenvolvimento de bandamento em rochas metavulcânicas/plutônicas também é subordinado. Porém, o bandamento apresenta-se melhor desenvolvido em metassedimentos ferruginosos, que são definidos por intercalações rítmicas de óxidos de ferro.

Já no **Prospecto Colônia** são portadores da referida estrutura as rochas calcissilicáticas, gnáissicas e anfibolíticas, com destaque para os xistos básicos/ultrabásicos, nos quais é comum a ocorrência de níveis antofilíticos-cummingtoníticos. O bandamento freqüentemente se dispõem paralelo a subparalelo à foliação principal dessas rochas, podendo estar ondulados a anastomosados.

Foliações

No **Prospecto Boa Vista** são caracterizados tectonitos do tipo S a subordinadamente S-L, sendo que as foliações observadas possuem um padrão de distribuição geral similar ao Prospecto Lenhoso, condizente com o desenvolvimento da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, e que ocorrem com direção próxima a E-W, apresentando mergulhos que variam de médio a alto ângulo, predominando mergulhos de aproximadamente 80° (Fig. 3.3-6a).

A foliação principal é caracterizada nesse prospecto como uma estrutura planar penetrativa bem desenvolvida na maioria das rochas, e que forma uma xistosidade incipiente a normalmente conspícua, localmente deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação, que freqüentemente apresenta-se incipiente.

Em metassedimentos a foliação é definida pela isorientação de minerais filossilicáticos, sendo comum a ocorrência de cristais de quartzo estirados associados aos planos dessa estrutura, que freqüentemente constitui uma foliação milonítica. Nas rochas metavulcânicas/plutônicas a orientação de anfibólios define a foliação, à qual também normalmente é superimposta a uma clivagem de crenulação. A foliação nas rochas gnáissicas, predominantemente do tipo gnaissificação, apresenta-se milonítica a

cataclástica, definida pela intercalação de níveis de distinta composição, pela ocorrência de minerais estirados e ainda amplamente fraturados.

A área do **Prospecto Lenhoso** é constituída predominantemente por tectonitos do tipo *S-L*, e a foliação constitui uma estrutura planar penetrativa na maioria das rochas, sendo comumente caracterizada por uma xistosidade, que varia de conspícua a raramente incipiente.

Nos metassedimentos que se intercalam as rochas metavulcânicas/plutônicas, a foliação principal é definida pela isorientação de cristais de muscovita/sericita, ou destes associados à biotita, além de cristais de quartzo alongados e estirados paralelamente, caracterizando uma xistosidade marcante ou ainda uma foliação milonítica. Esta foliação freqüentemente apresenta-se deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação.

Nas rochas metavulcânicas/plutônicas, a foliação principal é marcada pela orientação de cristais de actinolita/tremolita, clorita, hornblenda, antofilita e talco, que definem uma xistosidade incipiente a marcante, à qual é normalmente superimposta uma foliação do tipo clivagem de crenulação, que varia de espaçada a apertada, gerando localmente padrões irregulares de dobramentos.

A foliação observada nos paragneisses é predominantemente do tipo milonítica a protomilonítica, sendo caracterizada por cristais de quartzo e feldspatos estirados, recristalizados e associados a níveis de minerais máficos orientados paralelamente. Os gnaisses considerados como ortoderivados também possuem foliação milonítica, sendo caracterizada pelas mesmas feições, carente, entretanto, das associações de minerais máficos.

As foliações apresentam um padrão de distribuição extremamente similar, não sendo justificável caracterizá-las individualmente por unidade. Desta forma, a Figura 3.3-6b apresenta o padrão geral das foliações, de direção próxima a E-W, coincidente com a orientação da zona de cisalhamento local. Os mergulhos da foliação variam de 55° a 89°, predominando, entretanto, os valores próximos a 80°.

Apenas localmente foi caracterizada foliação de baixo ângulo, incipientemente desenvolvida, com mergulho variando de 12° a 28° e com direções NW-SE, NE-SW e WNW-ESE. Estruturas *SC* macroscópicas foram identificadas apenas pontualmente, e indicam movimentação predominantemente sinistral.

Já na área do **Prospecto Gravatá**, representada predominantemente por tectonitos do tipo *S*, as foliações possuem um padrão de orientação totalmente distinto daquelas da região de Jacuí, e que são condicionadas pela Zona de Cisalhamento de Bom Jesus da Penha (Cavalcante *et al.*, 1979).

Possuem direção geral NW-SE, com mergulhos predominantes para SW a raramente para NE, e que variam de médio a alto grau, destacando-se, entretanto mergulhos de 60°, ocorrendo secundariamente ainda foliações de direção NE-SW com mergulhos de alto ângulo para NE (Fig. 3.3-6c).

Nas diversas rochas desse prospecto a foliação principal apresenta-se marcadamente desenvolvida, e é caracterizada por uma xistosidade que freqüentemente se apresenta ondulada e deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação. É

comum ainda o desenvolvimento de feições miloníticas, principalmente em rochas gnáissicas.

Da mesma forma, no **Prospecto Colônia**, a foliação também caracteriza tectonitos do tipo S, e similarmente ao Prospecto Gravatá, possui direção geral NW-SE, com mergulhos para SW a subordinadamente para NE, que ostentam baixos a altos ângulos, predominando, entretanto mergulhos de médio ângulo, próximo a 45° (Fig. 3.3-6d). Nessa área o desenvolvimento dessas estruturas está condicionado tectonicamente à Zona de Cisalhamento Mumbuca.

A foliação principal é do tipo xistosidade e normalmente se apresenta conspícua, sendo localmente deformada por uma foliação do tipo clivagem de crenulação, pouco a pontualmente bem desenvolvida. Feições miloníticas a essa estrutura são marcantes em vários termos petrográficos, predominando, entretanto, em gnaisses e em rochas quartzosas.

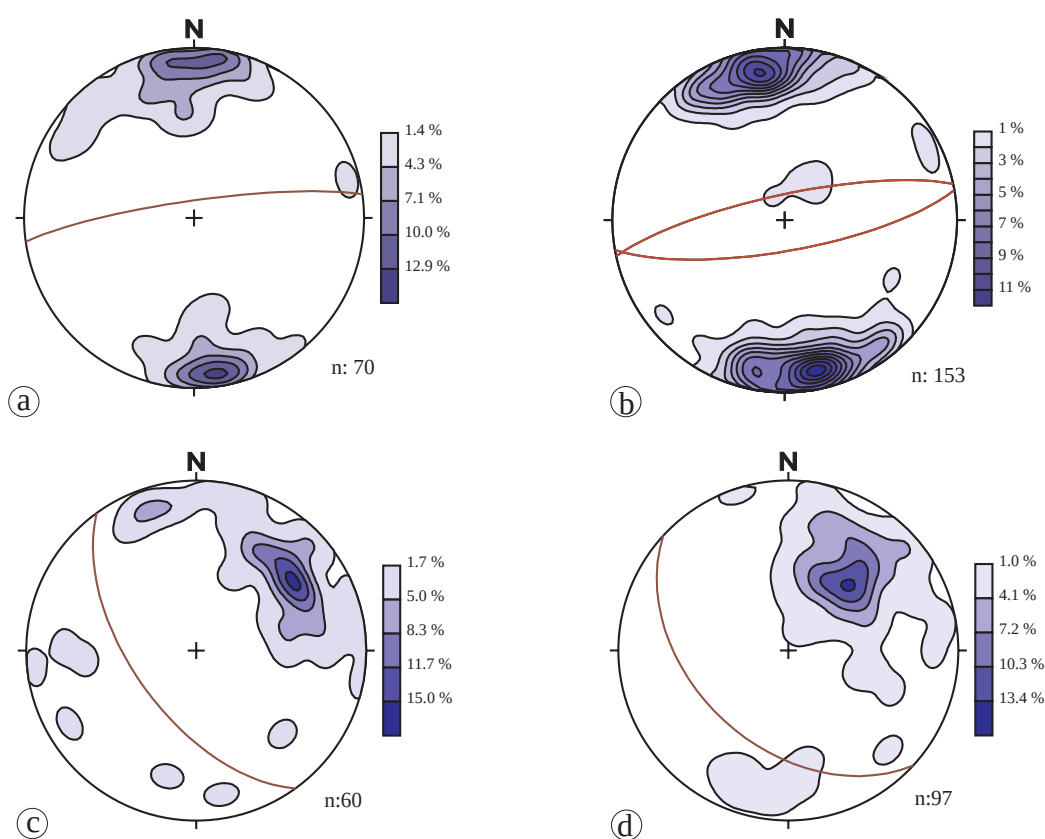


Figura 3.3-6. Estereogramas (projeção hemisfério inferior) ilustrando o padrão de orientação das foliações dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia. As linhas indicam a direção dos planos principais das foliações.

Falhas

Os trabalhos de fotointerpretação permitiram traçar os principais lineamentos de drenagens, correspondentes a fraturas e/ou falhas, e que são controlados pelas direções ENE-WSW, NNW-SSE, NNE-SSW, N-S e NE-SW, conforme mostram os mapas geológicos (apresentados nas Figuras 3.1-1, 3.1-3, 3.1-5 e 3.1-7). Entretanto, destaca-se que enquanto há ampla ocorrência de tais estruturas nas áreas estudadas na região de Jacuí, estas são praticamente ausentes naquelas situadas nos arredores de Bom Jesus da Penha.

No **Prospecto Boa Vista**, lineamentos de direção ENE-WSW marcam o desenvolvimento uma zona milonítica, caracterizada por feições indicativas de movimentação transcorrente levógira. Dentre essas feições, destaca-se a ocorrência de lineações de estiramento subhorizontais, estiramento de cristais de quartzo e feldspato, formas sigmóides em minerais granulares e desenvolvimento de *micafish*, entre outras menos expressivas.

Essa zona milonítica representa a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, caracterizada e denominada por Morales *et al.* (1983), que condiciona estruturalmente os prospectos auríferos da região de Jacuí. Embora predominem as feições dúcteis nessa zona, caracterizadas pela milonitização, observa-se o desenvolvimento de fraturamentos e veios de quartzo paralelos à direção do cisalhamento, configurando o caráter dúctil-rúptil desta estrutura.

Dentre os lineamentos secundários, observa-se o predomínio daqueles orientados na direção NNW-SSE, os quais promovem deslocamento generalizado em todos os conjuntos litológicos, e de ocorrência menos expressiva, lineamentos NNE-SSW e NW-SE apresentam as mesmas características (Fig. 3.1-1, pág. 17). Considerando o ângulo entre as referidas estruturas e a zona de cisalhamento, essas se aproximam às estruturas Riedel do tipo R' e T, X e R' e mais restritamente X-P, conforme ilustrado na Figura 3.3-7a.

Estes lineamentos (Fotografia 3.3-1) podem corresponder a falhamentos transcorrentes e talvez à falhas normais ou inversas, que promoveram justaposição dos diferentes corpos rochosos. A ocorrência de feições cataclásticas em vários locais do prospecto corrobora com esta proposição.

Desta forma, alguns lineamentos são correlacionados a falhamento transcorrente sinistral, sendo evidenciado em rochas gnáissicas zonas de cataclase, com geração de microfraturas e falhas, as quais localmente deslocam alguns minerais.

Localmente nessa área foi caracterizada a ocorrência de falha normal, marcada por deslocamento de veio de quartzo, apresentando rejeito inferior a um metro.

Os lineamentos de direção ENE-WSW, no **Prospecto Lenhoso**, como na área anteriormente referida, também marcam a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo. Localmente as feições características de movimentação são definidas pelo amplo e marcante desenvolvimento de lineações de estiramento subhorizontal, característico em todo o pacote de muscovita/sericita-quartzo xisto, além de cristais de quartzo estirados e de placas de *micafish*, estruturas SC, desenvolvimento de sigmóides em quartzo de vênulas e veios centimétricos, os quais também apontam para uma movimentação transcorrente sinistral.

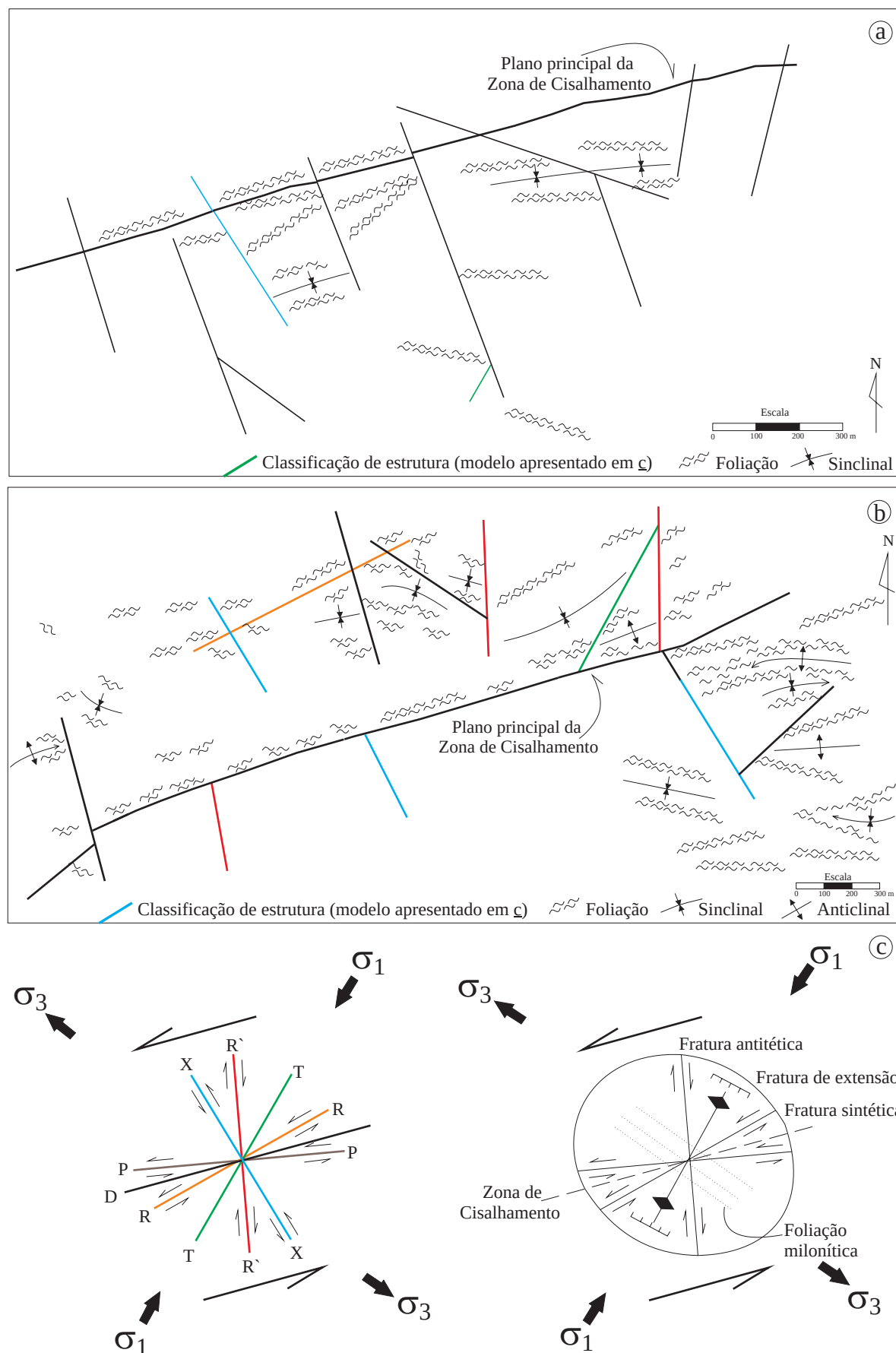


Figura 3.3-7. Padrão estrutural dos prospectos (a) Boa Vista e (b) Lenhoso, e (c) representação de estruturas associadas à formação de zona de cisalhamento transcorrente levógira sob condições ideais, disposta de acordo com a orientação da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo.

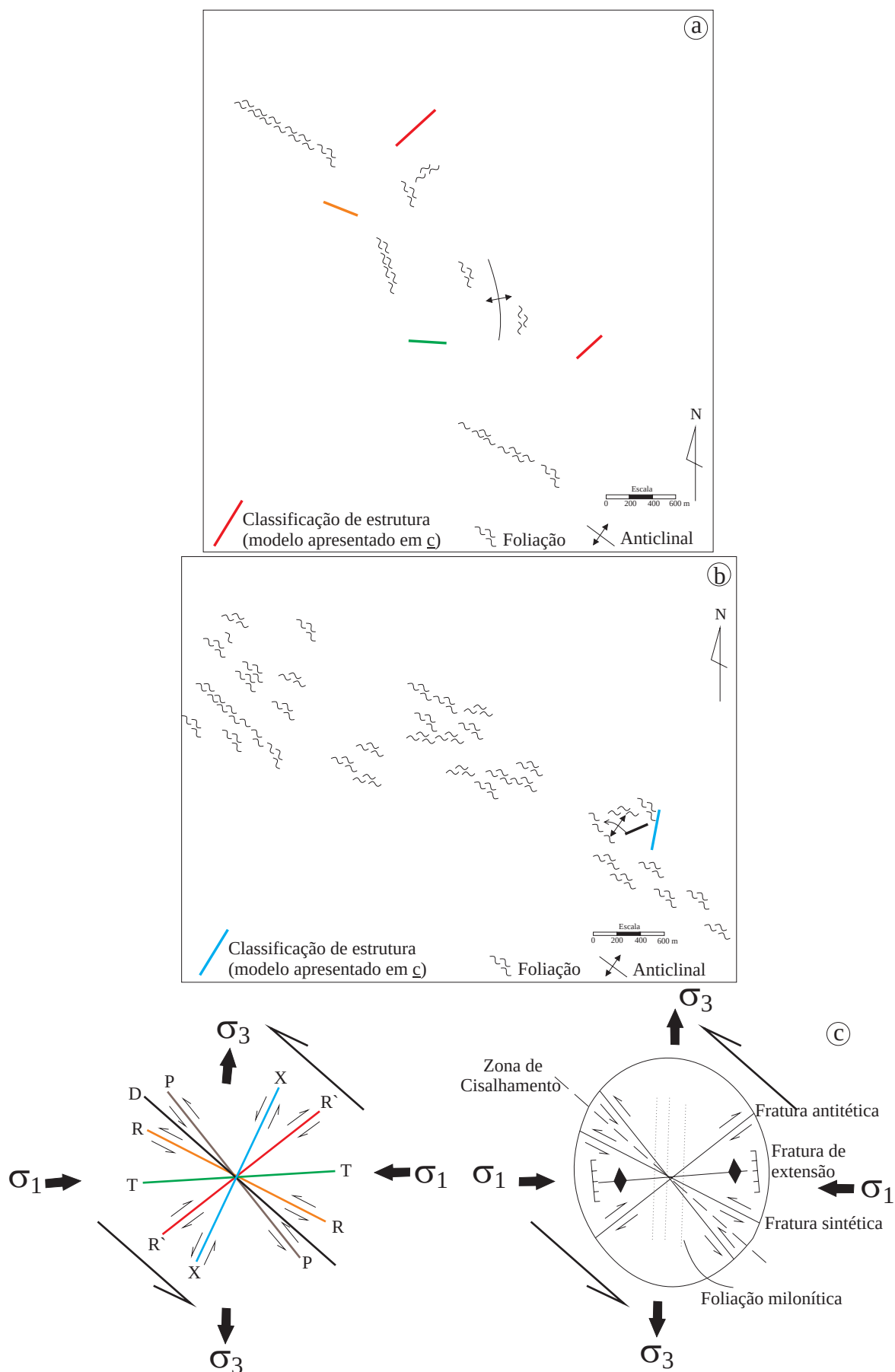


Figura 3.3-8. Padrão estrutural dos prospectos (a) Gravatá e (b) Colônia, e (c) representação de estruturas associadas à formação de zona de cisalhamento transcorrente levógira sob condições ideais, disposta de acordo com a orientação da zona de cisalhamento Bom Jesus da Penha.

A maioria dos demais lineamentos corresponde a falhas secundárias/fraturas (Fotografia 3.3-2), e como ilustrado no mapa geológico deste prospecto (Fig. 3.1-3, pág. 22), os de direção NNW-SSE que ocorrem no extremo oeste da área, limitam os corpos de gnaisses, rochas metaultrabásicas e muscovita/sericita-quartzo xistos. O mesmo ocorre com os lineamentos desta mesma direção, além daqueles de direção NW-SE, que ocorrem na região central, limitando corpos de gnaisses, metaultrabásicas e de muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, bem como os lineamentos de direção N-S e NNE-SSW, dispostos próximos a região leste, que justapõem as rochas supramencionadas.

Em formações ferríferas bandadas se observa o desenvolvimento de falha transcorrente macroscópica, inclusive com geração de dobras de arrasto, promovendo fraturamento em cristais de quartzo, indicativos de movimentação sinistral.

Observa-se microscopicamente em quartzo xisto milonítico o desenvolvimento de feições sigmoidais em cristais de sericita, as quais localmente apresentam-se microdobradas, além do desenvolvimento de estruturas SC e fraturamento em minerais desenvolvido perpendicularmente à foliação principal, observados em rochas metabásicas/ultrabásicas. Em gnaisses, microzonas de cisalhamento (Fotomicrografia 3.3-1), promovem deslocamento de cristais de titanita, indicando claramente movimentação transcorrente sinistral, embora como ilustrado na mesma fotomicrografia, também haja desenvolvimento de microzonas dextrais, bem como também zonas de cataclase.

Essas estruturas acima referidas representam, de acordo com a direção e sentido da zona de cisalhamento, estruturas Riedel do tipo X, R', T e R, como ilustrado na Figura 3.3-7b.

As falhas no **Prospecto Gravatá** têm ocorrência restrita, e são marcadas por lineamentos de drenagem pouco extensos, caracterizados principalmente pela justaposição de blocos de rochas distintas. Desta forma, ocorrem quatro pequenos falhamentos na área (Fig. 3.1-5, pág. 25), abrangendo as direções NE-SW, E-W e WNW-ESSE, e que possivelmente devem corresponder a falhas normais e/ou inversas, sendo correlacionáveis às discontinuidades Riedel do tipo R', T e R (não ilustrado).

Apesar da área cartografada não abranger o plano principal da Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha (Cavalcante *et al.*, 1979), é notória a influência exercida por essa estrutura, que orienta as camadas na direção NW-SE, e gera milonitização nos diversos tipos rochosos, principalmente metassedimentos quartzosos e rochas gnáissicas.

No **Prospecto Colônia**, os lineamentos de drenagem, que podem corresponder a falhas, são pouco expressivos, e em princípio apenas pontualmente devem constituir falhas (Fig. 3.1-7, pág. 28), sendo correlacionáveis a estruturas Riedel do tipo X e R' a T (não ilustrado).

As feições observadas em campo são condizentes com a estruturação relacionada às zonas de cisalhamento NW-SE, que condicionam tectonicamente as diversas rochas deste prospecto. Essas estruturas maiores, que ocorrem também fora dos limites da área mapeada, correspondem à Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha, com influência

também reconhecida no prospecto acima referido, e Zona de Cisalhamento Mumbuca (Morales *et al.*, 1983; Soares *et al.*, 1990).

Fraturas

As fraturas observadas no **Prospecto Boa Vista** (Fotografia 3.3-3) ocorrem predominantemente com direção N-S a NNW-SSE, ou seja, são perpendiculares à Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, representando estruturas Riedel de alto ângulo (R'), com mergulhos para E e para WNW, que variam de médio a alto ângulo, predominando os mergulhos superiores a 80° (Fig.3.3-8a).

São estruturas fechadas a raramente abertas, apenas localmente com desenvolvimento de minerais de alteração em seus planos, principalmente argilo-minerais, e que variam de dimensões centimétricas a métricas.

Os fraturamentos observados em afloramentos rochosos do **Prospecto Lenhoso** (Fotografia 3.3-4), embora se distribuam praticamente em todas as direções e com mergulhos variados (superiores a 35°), predominam na direção NNW-SSE, portanto também normal à direção principal das foliações e da zona de cisalhamento (Fig. 3.3-8b), e constituem principalmente estruturas do tipo R'.

Embora predominem fraturas fechadas, localmente se desenvolvem estruturas abertas, preenchidas por argilo-minerais e óxidos secundários.

No **Prospecto Gravatá** as fraturas (Fotografias 3.3-3 e 3.3-5) se desenvolvem principalmente oblíquas à foliação, e secundariamente perpendiculares a essa estrutura, apresentando direção geral ENE-WSW e mergulhos que variam de baixo a alto ângulo para ESE a localmente para NNW, estando melhor representados, entretanto, por mergulhos superiores a 80° (Fig. 3.3-8c).

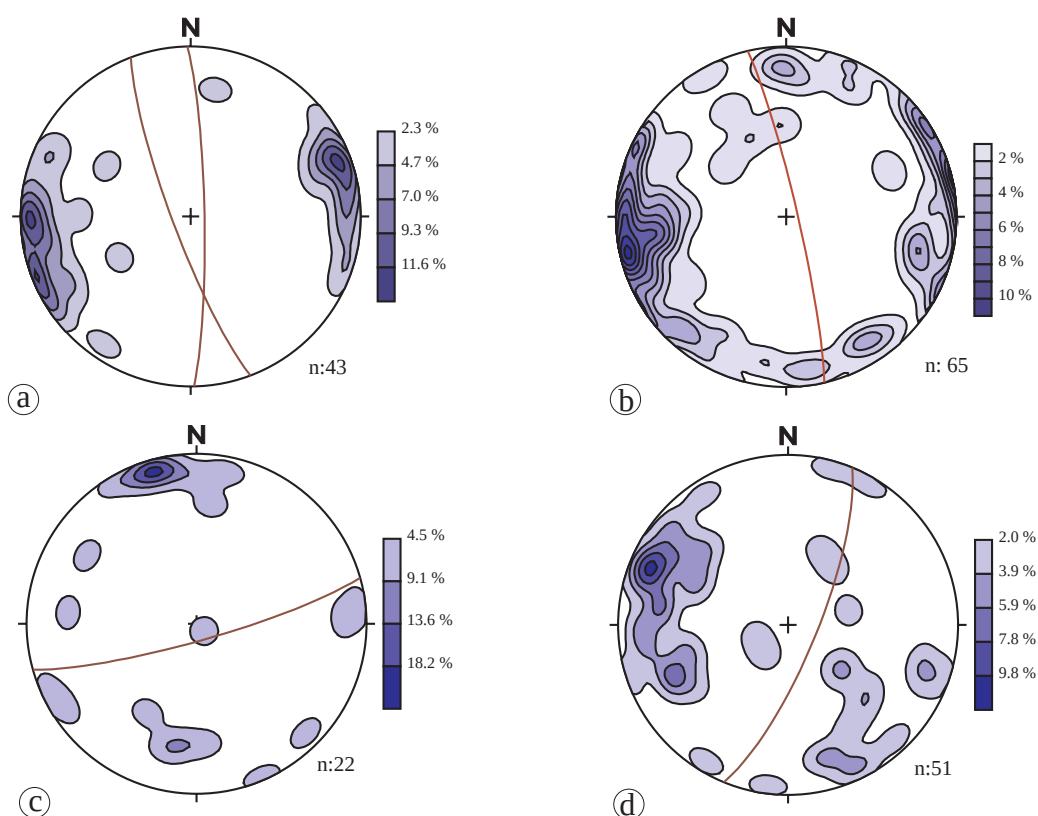


Figura 3.3-8. Estereogramas (projeção hemisfério inferior) ilustrando o padrão de orientação das fraturas que ocorrem nos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

Essas fraturas, que correspondem a estruturas Riedel de alto ângulo do tipo R' a predominantemente fraturas de extensão (T), são essencialmente fechadas, raramente atingem dimensões métricas e embora ocorram em vários litotipos, predominam nos muscovita/sericita-quartzo xistos.

O padrão de fraturamento observado no **Prospecto Colônia** (Fotografia 3.3-6) é caracterizado pela disposição de fraturas também oblíquas à foliação, de direção predominante NNE-SSW, ostentando mergulhos de baixo a principalmente alto ângulo, tendo como mergulho médio 75° (Fig. 3.3-8d).

De acordo com a orientação das zonas de cisalhamento local, essas fraturas são classificadas como cisalhante X. Secundariamente ocorrem fraturas praticamente paralelas à foliação, de direção NNW-SSE.

Nesse prospecto as fraturas são centimétricas a raramente métricas, e apresentam-se fechadas a localmente abertas, preenchidas comumente por argilo-minerais, normalmente constituindo sistemas pouco a muito espaçados.

Lineações de estiramento

As lineações de estiramento ocorrem freqüentemente paralelizadas às lineações minerais, e embora sejam feições restritas a alguns tipos petrográficos, correspondem ao eixo deformacional X, sendo, portanto indicativas da direção de transporte tectônico.

No **Prospecto Boa Vista** é verificado o desenvolvimento de lineações de estiramento de direção próximas a E-W, de baixo ângulo, com mergulhos predominantes entre 10 a 20° (Fig. 3.3-9a).

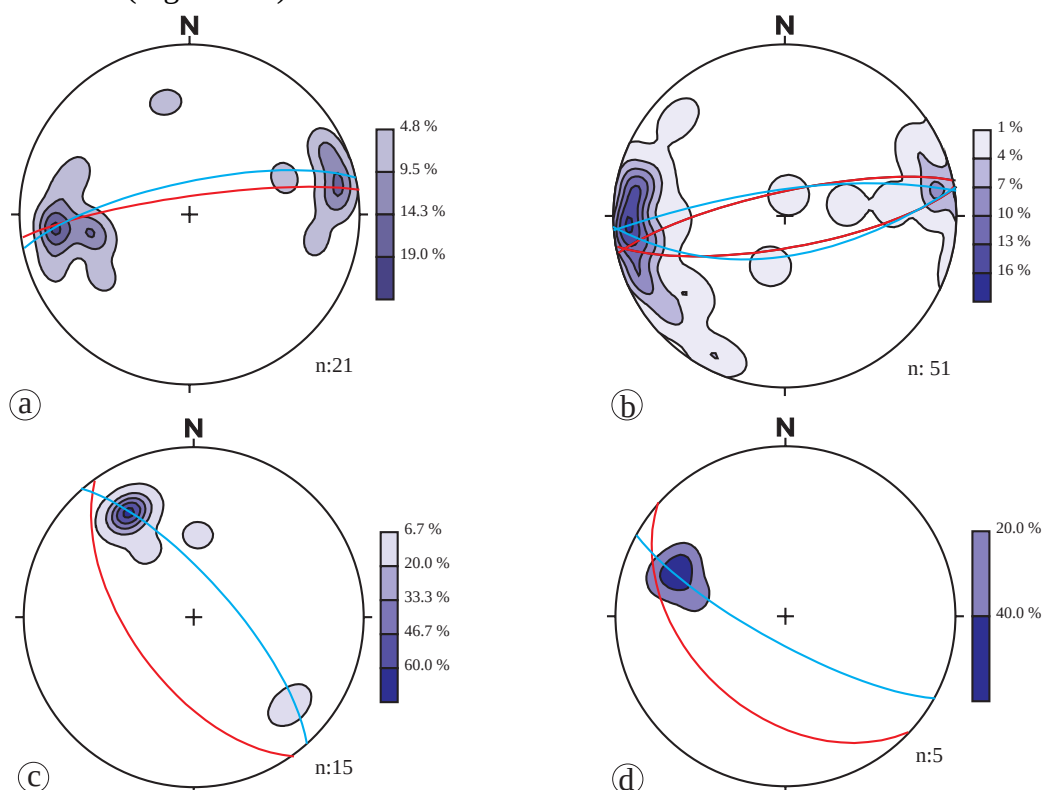


Figura 3.3-9. Estereogramas (projeção hemisfério inferior) ilustrando o padrão de orientação das lineações de estiramento nos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia. São ilustradas as projeções da orientação geral das lineações (em azul) e o plano principal da foliação (em vermelho).

Essa mesma direção é caracterizada nas lineações que ocorrem nos litotipos do **Prospecto Lenhoso**, as quais ocorrem contidas nos planos da foliação milonítica. Os mergulhos dessas estruturas são predominantemente de baixo ângulo, embora de forma muito subordinada ocorram altos ângulos de mergulho (Fig. 3.3-9b).

Já nos **prospectos Gravatá e Colônia** essa estrutura linear é pouco desenvolvida, e apesar dos dados serem pouco representativos, estes se apresentam com direção NE-SW e ostentam mergulhos que variam até 28° , referente à primeira área (Fig. 3.3-9c), sendo o segundo prospecto caracterizado por lineações de direção WNW-ESE com mergulhos em torno de 32° (Fig.3.3-9d).

Veios

Abaixo são apresentados os padrões estruturais observados nos diversos sistemas de veios que ocorrem nas áreas de estudo, sendo as características detalhadas desses discriminadas no capítulo 5.

No **Prospecto Boa Vista** (Fotografias 3.3-7 a 3.3-9) foram caracterizados vênulas e veios quartzosos, dispostos ao longo dos planos das foliações, essencialmente com direção ENE-WSW, e com mergulhos que variam de SSE a subordinadamente NNW, e que são predominantemente de alto ângulo, havendo apenas pontualmente mergulhos em torno de 50° (Fig. 3.3-10a).

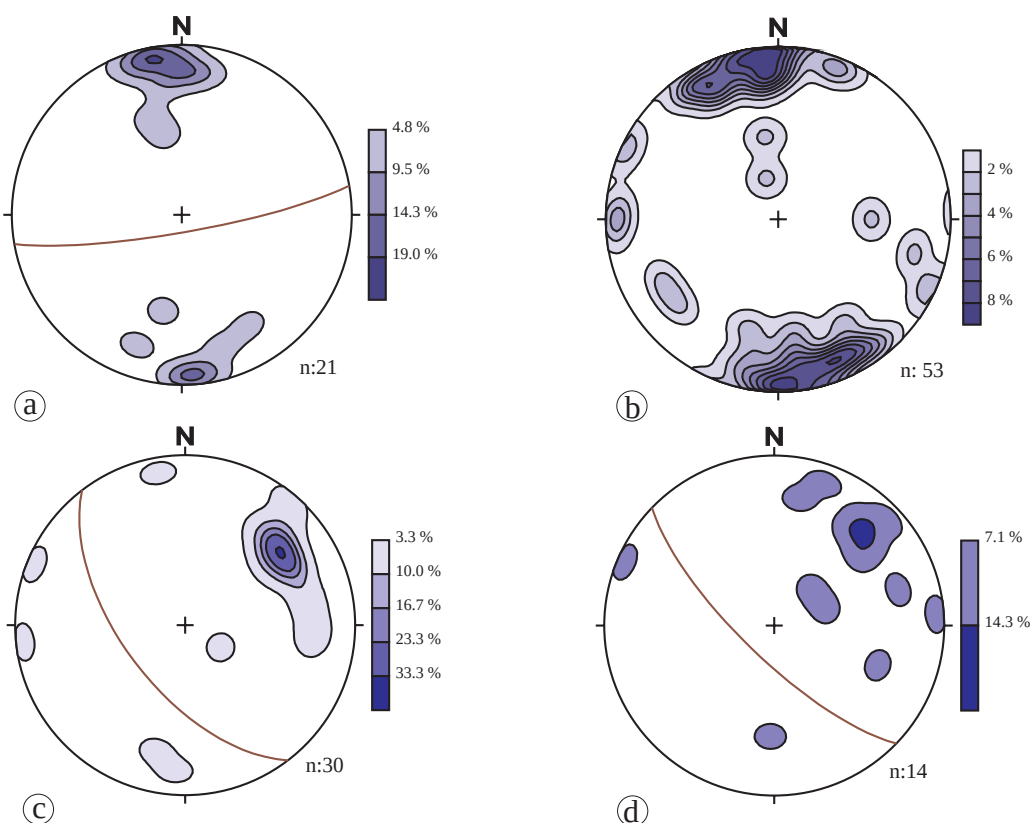


Figura 3.3-10. Estereogramas (projeção hemisfério inferior) ilustrando o padrão de orientação de veios que ocorrem nos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia. As linhas indicam a orientação preferencial dos veios.

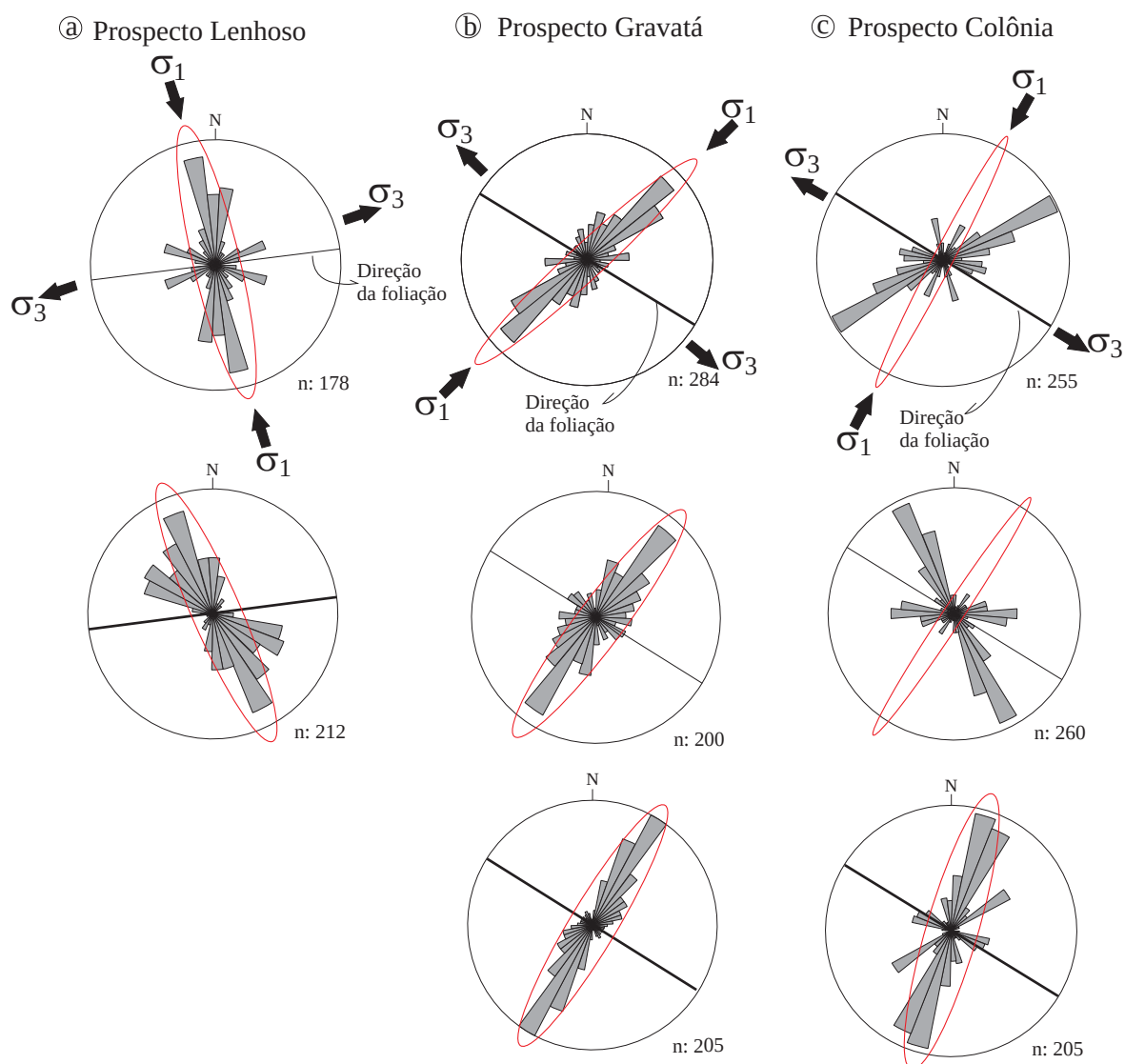


Figura 3.3-11. Diagramas de roseta ilustrando as direções preferenciais de microfraturas cicatrizadas portadoras de inclusões fluidas - Prospectos (a) Lenhoso, (b) Gravatá e (c) Colônia. A direção da foliação plotada nos diagramas é coincidente com as zonas de cisalhamento que afetam cada área, sendo para essas simulado o posicionamento do tensor máximo na direção das maiores frequências de microfraturas orientadas em alto ângulo segundo a foliação milonítica.

São veios de cisalhamento central, conforme classificação de Hodgson (1989), que ocorrem ao longo da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, correlacionáveis à cisalhante D de Riedel, hospedados predominantemente em muscovita/sericita-quartzo xistos (Fotografias 3.3-7 e 3.3-8), muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e gnaisses (neste último tipo litológico ilustrado na Fotografia 3.3-9), tendo ainda ocorrência subordinada em rochas básicas/ultrabásicas.

Os veios caracterizados no **Prospecto Lenhoso** (Fotografias 3.3-8 a 3.3-11) são essencialmente quartzosos, e ocorrem ao longo dos planos da foliação, na direção ENE-WSW e com mergulhos para NNW ou SSE (Fig. 3.3-10b). Apresentam-se com dimensões milimétricas a submétricas, freqüentemente com formas lenticulares a raramente tabulares e ainda boudinados a dobrados, como ilustrado nas fotografias supracitadas.

Considerando-se a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, de acordo com a classificação de Hodgson (1989), a geometria observada corresponde a veios de cisalhamento central, também correlacionáveis a cisalhante D de Riedel, que embora ocorram nos diversos tipos petrográficos da área, também predominam em muscovita/sericita-quartzo xistos.

Diferindo dos demais veios caracterizados na região de Jacuí (Prospecto Boa Vista), localmente ocorrem veios com direção NNE-SSW e NW-SE, constituídos por cristais de quartzo hialino a fumê, e segundo a classificação supracitada, estes veios são do tipo *tension gashes*, além de representarem a cisalhante de alto ângulo X (em relação à mesma zona de cisalhamento).

Os mergulhos apresentados pelos veios são normalmente de alto ângulo, apenas localmente havendo mergulhos inferiores a 50°.

Dispostos também predominantemente em planos da foliação, os veios que ocorrem no **Prospecto Gravatá** (Fotografias 3.3-7, 3.3-9 e 3.3-12) possuem direção geral NW-SE, com mergulhos para SW, que variam de alto a baixo ângulo, predominando, entretanto mergulhos de 60° (Fig. 3.3.10c), sendo, portanto, também caracterizados como veios de cisalhamento central, os quais se aproximam mais de cisalhante P, de acordo com a orientação da Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha.

Embora neste prospecto, como naqueles da região de Jacuí, a ocorrência de veios e venulações se destaque em muscovita/sericita-quartzo xistos, também ocorrem veios mapeáveis encaixados junto aos corpos de rochas metabásicas/ultrabásicas e secundariamente em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, como apresentado no mapa geológico da Figura 3.1-5 (pág. 25).

Os veios no **Prospecto Colônia**, também dispostos ao longo da foliação, se apresentam similares aos do Prospecto Gravatá, com direção NW-SE e com mergulhos para SW variando de alto a baixo ângulo, predominando, entretanto mergulhos de 65° (Fig. 3.3-10d). Constituem veios de cisalhamento central e representam a cisalhante D de Riedel.

Na referida área também são reconhecidos veios mapeáveis, hospedados pelo conjunto de rochas metabásicas/ultrabásicas e em granada-sericita-quartzo xistos,

apresentados no mapa geológico da Figura 3.1-7 (pág. 28), ressaltando-se, entretanto, que no geral esses são escassos.

3.3.3. Padrão Estrutural de Inclusões Fluidas Secundárias

Objetivando-se o reconhecimento do padrão geral de microfraturas cicatrizadas portadoras de inclusões fluidas, foram quantificadas as distintas gerações destas microestruturas, possibilitando a constatação do estilo deformacional superimposto aos veios de quartzo estudados, bem como também um melhor entendimento do quadro evolutivo cinemático local.

Como as referidas amostras (mapas de pontos geológicos – apêndice 1) foram coletadas orientadas, e o corte efetuado foi aproximadamente paralelo aos eixos XZ, nesses é possível posicionar os tensores máximo (σ_1) e mínimo (σ_3), permitindo a constatação da relação entre os distintos microfraturamentos cicatrizados e o desenvolvimento das zonas de cisalhamento.

O comportamento dessas microestruturas nos diversos veios de quartzo estudados é ilustrado na Figura 3.3-11.

Assim, observa-se que no Prospecto Lenhoso as microfraturas portadoras de inclusões fluidas orientadas paralelamente ao σ_1 constituem as maiores freqüências, havendo ausência a tênue desenvolvimento dessas paralela a subparalelamente ao σ_3 (Fig. 3.3.11a), sendo constatado o mesmo para as microfraturas provenientes de amostras de veios do Prospecto Gravatá (Fig. 3.3.11b).

Já em relação aos microfraturamentos desenvolvidos nas amostras estudadas do Prospecto Colônia observa-se que quando analisados os veios de cisalhamento, as maiores concentrações dessas microestruturas se desenvolvem obliquamente à foliação milonítica, tanto com direção NW como NE, enquanto que no veio que ostenta orientação normal à zona de cisalhamento essas são geradas paralelamente ao σ_1 , havendo quantias incipientes de microfraturas orientadas segundo σ_3 (Fig. 3.3.11c).

3.3.4. Síntese do Padrão Estrutural

O padrão estrutural regional é marcado principalmente por estruturas orientadas na direção E-W e N-S, embora aquelas orientadas nas direções NE-SW e NW-SE também representem sistemas marcantes.

Essa estruturação regional marca o desenvolvimento das zonas de cisalhamento local, bem como também suas estruturas secundárias. Os padrões que não possuem relação direta com essas zonas são representantes de uma estruturação maior, associada ao Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio.

Ressalta-se a importância do reconhecimento da ampla geração de estruturas orientadas próximas a N-S, pois ao referido padrão estão associadas as mineralizações hidrotermais de ouro do Depósito JS-1 (Feola, 1999) e de platinóides da Jazida Fortaleza de Minas (Relatório interno Mineração Serra da Fortaleza – Grupo RTZM), ambos na cidade homônima.

As áreas estudadas são condicionadas pelas zonas de cisalhamento Riacho Fundo (região de Jacuí) e Bom Jesus da Penha e Mumbuca (na região entre Bom Jesus da Penha e Petúnia), todas com características de movimentação transcorrente levógira. Essas estruturas impõem um marcante padrão de orientação à Faixa Metavulcano-Sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha, com orientação próxima a E-W a ENE-WSW, marcado pela primeira zona de cisalhamento e NW-SE pelas demais.

Na área que compreende os prospectos Boa Vista e Lenhoso são caracterizadas estruturas secundárias marcantes, principalmente cisalhantes Riedel de alto ângulo, sendo praticamente ausente essas feições na região dos demais prospectos, devido ao estilo de alojamento das concentrações auríferas, que para a primeira área é marcado por um padrão intrazona de cisalhamento, enquanto para a segunda é registrada disposição interzonas de cisalhamento.

O processo de milonitização, diretamente associado ao desenvolvimento dessas zonas, é marcado principalmente em rochas à base de composições quartzosas e/ou

quartzo-feldspáticas, como metassedimentos/hidrotermalitos e gnaisses diversos, caracterizado marcadamente não somente pela cominuição dos grãos (como sugerido por Schmid & Handy, 1991, entre outros), mas principalmente pelo aumento do tamanho desses, associados a diversos aspectos característicos de milonitização, sugerindo deformação progressiva.

No presente trabalho foi caracterizada essencialmente a foliação milonítica de alto ângulo, devido ao estudo localizado nas áreas mineralizadas. Entretanto, Zanardo (1992) e Zanardo *et al.* (1996) reconhecem na região em apreço uma foliação pretérita, de baixo ângulo, indicativa de movimentação tangencial dúctil resultante de processo colisional.

Embora as feições associadas à foliação milonítica e às lineações de estiramento também sejam coerentes com o desenvolvimento dos sistemas transcorrentes, algumas lineações, notadamente aquelas de maior ângulo de mergulho, devam ser representantes de movimentação frontal preservadas, ou ainda atestarem as modificações sofridas (não somente estas estruturas, mas também acamamento e foliações) durante a implantação das zonas de transcorrência. Nas áreas pesquisadas foram observadas ainda pequenas dobras, locais, e que podem ser representantes das diferentes fases de deformação.

Os veios de quartzo ocorrem dispostos predominantemente ao longo dos planos dessas foliações, sendo caracterizados como veios de cisalhamento a localmente como *tension gashes*, dispostos predominantemente em estruturas Riedel do tipo D.

A análise de microfraturas cicatrizadas corrobora com as informações cinemáticas supracitadas, bem como também com o posicionamento dos vetores de maior e menor compressão (σ_1 e σ_3), caracterizados, respectivamente a NNW-SSE e ENE-WSW para a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo, e NE-SW e NW-SE, respectivamente, para o conjunto de tectonitos associados às zonas de cisalhamento Bom Jesus da Penha e Mumbuca.

4. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados e interpretados dados litoquímicos obtidos a partir de análises abrangendo rochas de origem sedimentar/hidrotermal, vulcânica e ainda gnaisses (para e ortoderivados) que ocorrem nos prospectos estudados, sendo ilustrado o posicionamento das amostras nos mapas de pontos geológicos (apêndice 1) e sumarizado na Tabela 4.1-1 (apêndice 2) os distintos litotipos analisados.

As análises geoquímicas foram realizadas no laboratório da Lakefield Geosol Ltda, sendo dosados os elementos maiores SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5 , com teores obtidos por análises de fluorescência de Raios-X (fusão com tetraborato de lítio). Os dados analíticos resultantes das referidas análises são apresentados na Tabela 4.1-2 (apêndice 3).

Também foram dosados os teores dos seguintes elementos traços: Au (Fire Assay/Absorção atômica), As e Se (Geração de hidretos –AA-), Sb, Ag, Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Ni, Mo, Bi, B, W, Y, V, Ba, Be, Cd, Sr, Zr, Li e Sc (ICP multiácida), Rb, S, Ta, Hf, U, Ga, Nd (fluorescência de Raios-X – pó prensado) e Sn (fluorescência de Raios-X – fusão com tetraborato de lítio), para os quais os dados analíticos constam na Tabela 4.1-3 (apêndice 3). A dosagem dos teores de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu (Tab. 4.1-4 – apêndice 3), também foi feita por fluorescência de Raios-X – fusão com tetraborato de lítio.

A interpretação dos dados geoquímicos compreende a análise de diagramas do tipo Harker, utilizados para avaliar a cogeneticidade entre os diferentes tipos petrográficos através de suas correlações, além ainda de diagramas classificatórios e de caracterização do ambiente geotectônico.

4.2. ROCHAS METASSEDIMENTARES/HIDROTERMAIS

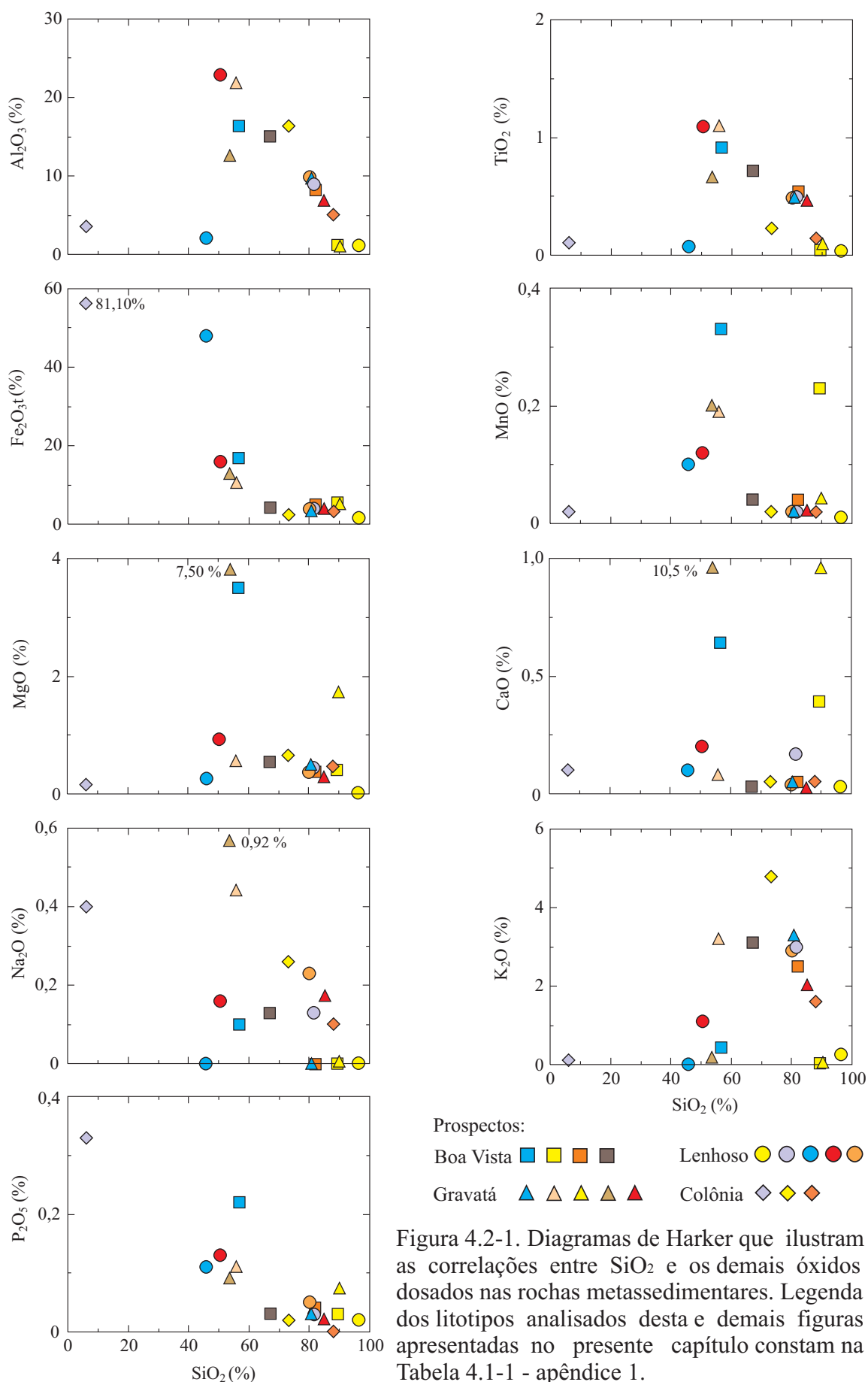
As rochas metassedimentares e/ou hidrotermais submetidas a análises geoquímicas compreendem principalmente os muscovita/sericita-quartzo xistos e muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e subordinadamente rochas quartzíticas, metachertes e formações ferríferas (Tab. 4.1-1 – apêndice 1).

4.2.1. Elementos Maiores

Dentre os elementos maiores (Tab. 4.1-2 – apêndice 3), destacam-se os teores de SiO_2 , que variam de 45,90 até 96,50% em peso. Devido a essa abundância, serão apresentadas e discutidas as variações dos diversos óxidos em relação à sílica (Fig. 4.2-1).

Os mais elevados teores de Al_2O_3 são constatados em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos dos prospectos Lenhoso e Gravatá, para os quais são registradas variações entre 15 a 23% desse óxido. Os muscovita/sericita-quartzo xistos de todas as áreas também ostentam teores expressivos, variando de 5 a 15%. Observa-se uma correlação negativa entre Al_2O_3 e SiO_2 , excetuando-se apenas as amostras de formações ferríferas, que junto a

metacherte hidrotermal e rochas quartzíticas, ostentam os menores teores do referido óxido.



Os teores ora constatados são condizentes com a composição dos diferentes litotipos. Enquanto os maiores valores refletem a presença de minerais do grupo da granada, os valores intermediários representam o quimismo dos minerais filossilicáticos.

Em relação aos teores de **TiO₂** também se verifica uma correlação negativa com o SiO₂, sendo que valores mais expressivos são marcados em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos dos prospectos Lenhoso e Gravatá, que ostentam pouco mais de 1%, e que são seguidos pelos mesmos litotipos que ocorrem no Prospecto Boa Vista (0,7 a 0,9%). Os muscovita/sericita-quartzo xistos das diversas áreas apresentam teores relativamente similares desse óxido, situados próximos a 0,5%. Esses teores são condizentes com a ampla ocorrência de rutilos/leucoxênios nas rochas metassedimentares estudadas.

Os teores de **Fe₂O₃(t)** apresentam uma tênue correlação negativa com o SiO₂, e pontualmente chegam a representar mais de 80% em formações ferríferas maciças do Prospecto Colônia e 48% neste tipo litológico, porém bandado, que ocorre no Prospecto Lenhoso. Já o teor de Fe₂O₃(t) da rocha classificada petrograficamente como metacherte hidrotermal, que ocorre no Prospecto Boa Vista (BV-53) se apresenta bem inferior, representado apenas por 5,6%.

Dentre as demais rochas, novamente os muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos ostentam os maiores teores, para os quais são verificados valores de 10,6-16,8%, enquanto a maioria dos litotipos apresenta teores inferiores a 6%.

Os melhores teores de **MnO** são registrados em muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto do Prospecto Boa Vista e que atingem 0,33%. Destacam-se secundariamente ainda os valores observados neste tipo litológico e em paranfibolito do Prospecto Gravatá e em metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista. No geral, entretanto, as rochas analisadas possuem teor muito baixo desse óxido, sendo que grande parte das amostras ostenta valores abaixo de 0,05%, e embora tenham sido abordados junto aos elementos maiores (esses e outros óxidos), segundo a classificação de Shaw (1964) esses ocorrem como elementos menores ($> 0,1 < 1\%$) e como elementos traços ($< 0,1\%$).

Pontualmente os teores de **MgO** são marcados por valores que atingem até 7,5% em paranfibolito do Prospecto Gravatá, refletindo sua composição à base de granada. Secundariamente são registrados teores de 3,5% em muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto (Boa Vista) e 1,7% em rocha quartzítica (Gravatá), sendo que as demais amostras ostentam teores inferiores a 1%.

Como no caso acima, para o **CaO** os maiores teores são verificados também no paranfibolito, que devido a sua composição atinge 10,5%. Esse óxido, embora com valores muito menos expressivos, é marcado por teores próximos a 1% em quartzitos do Prospecto Gravatá, sendo ainda relativamente expressivos os teores constatados em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos (0,64%) e em metacherte hidrotermal (0,39%) que ocorrem no Prospecto Boa Vista, visto que as demais rochas analisadas ostentam valores entre 0,02 a 0,2%.

Teores de **Na₂O**, que marcam uma tênue correlação negativa com o SiO₂, chegam a atingir valor de 0,92% em parafibolito, sendo seguidos por valores próximos a 0,4% junto a muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e formação ferrífera (prospectos Gravatá e Colônia, respectivamente). O restante do conjunto litológico apresenta teores entre 0,1 a 0,26%, havendo muitas amostras onde o referido óxido não foi detectado.

Verifica-se que as rochas analisadas apresentam no geral expressivos teores de **K₂O**, resultantes da ampla ocorrência de micas brancas na maioria dos litotipos. Os valores observados desse óxido delineiam uma incipiente correlação negativa com o SiO₂. O muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Colônia ostenta o maior teor observado (4,8%), resultante de enriquecimento local das referidas micas.

Constata-se ainda uma variação nos teores de K₂O entre tipos petrográficos similares, onde os muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos dos prospectos Boa Vista (BV-65) e Gravatá apresentam teores maiores que 3%, enquanto essas mesmas rochas, quando dos prospectos Boa Vista (BV-07) e Lenhoso, possuem teores que variam entre 0,43 a 1,1%. Embora marcada por uma diferença menor nos teores, os muscovita/sericita-quartzo xistos também exibem a referida distinção.

A grande maioria das rochas apresenta teores de **P₂O₅** inferiores a 0,07%, sendo apenas localmente caracterizados valores de até 0,33% em formação ferrífera (Colônia), destacando-se secundariamente os teores em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, principalmente do Prospecto Boa Vista, que atingem até 0,22%.

4.2.2. Elementos traços

Dentre os elementos traços dosados nas rochas metassedimentares/hidrotermais (Tabela 4.1-3 – apêndice 3), Au, Ag, Se, Sb, Sn, Bi, W, Be, Ta, Hf e U ocorrem com teores inferiores aos limites de detecção (Fig. 4.2-2). Ressalta-se que Au, que tem limite de detecção de 5 ppb, não foi constatado em nenhuma das amostras mineralizadas (xistos de todas as áreas, metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista e quartzitos dos prospectos Lenhoso e Gravatá).

Embora haja considerável variação nos teores dos elementos traços, se destacam principalmente aqueles referentes a B, Cr, Ni, S e Ba, como ilustrado na Figura 4.2-2.

O B está presente em todas as rochas analisadas, normalmente com teores acima de 1.200 ppm nos diversos xistos, chegando a atingir 2.347 ppm em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Colônia, sendo registrados localmente, entretanto, teores relativamente baixos em rochas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso (542 e 306 ppm, respectivamente). À exceção da formação ferrífera do Prospecto Lenhoso, que atinge valor próximo a 1.800 ppm, estes litotipos nos demais prospectos, quartzitos e parafibolito estudados, apresentam teores inferiores ao limite de detecção (<10 ppm – quartzito do Prospecto Lenhoso) a no máximo 719 ppm (metacherte hidrotermal do Prospecto Boa Vista).

A ocorrência de Cr é comum a todos os litotipos estudados, sendo os teores de maior destaque aqueles de muscovita/sericita-quartzo xisto e de muscovita/sericita-

granada-(biotita) xisto dos prospectos Colônia e Boa Vista, respectivamente, que atingem teores maiores que 1.600 ppm.

Também registrados em todas as rochas, os teores de Ni apresentam-se mais robustos em xistos do Prospecto Colônia, com valores superiores a 1.100 ppm, seguidos pelos teores de 646 ppm em xistos do Prospecto Boa Vista.

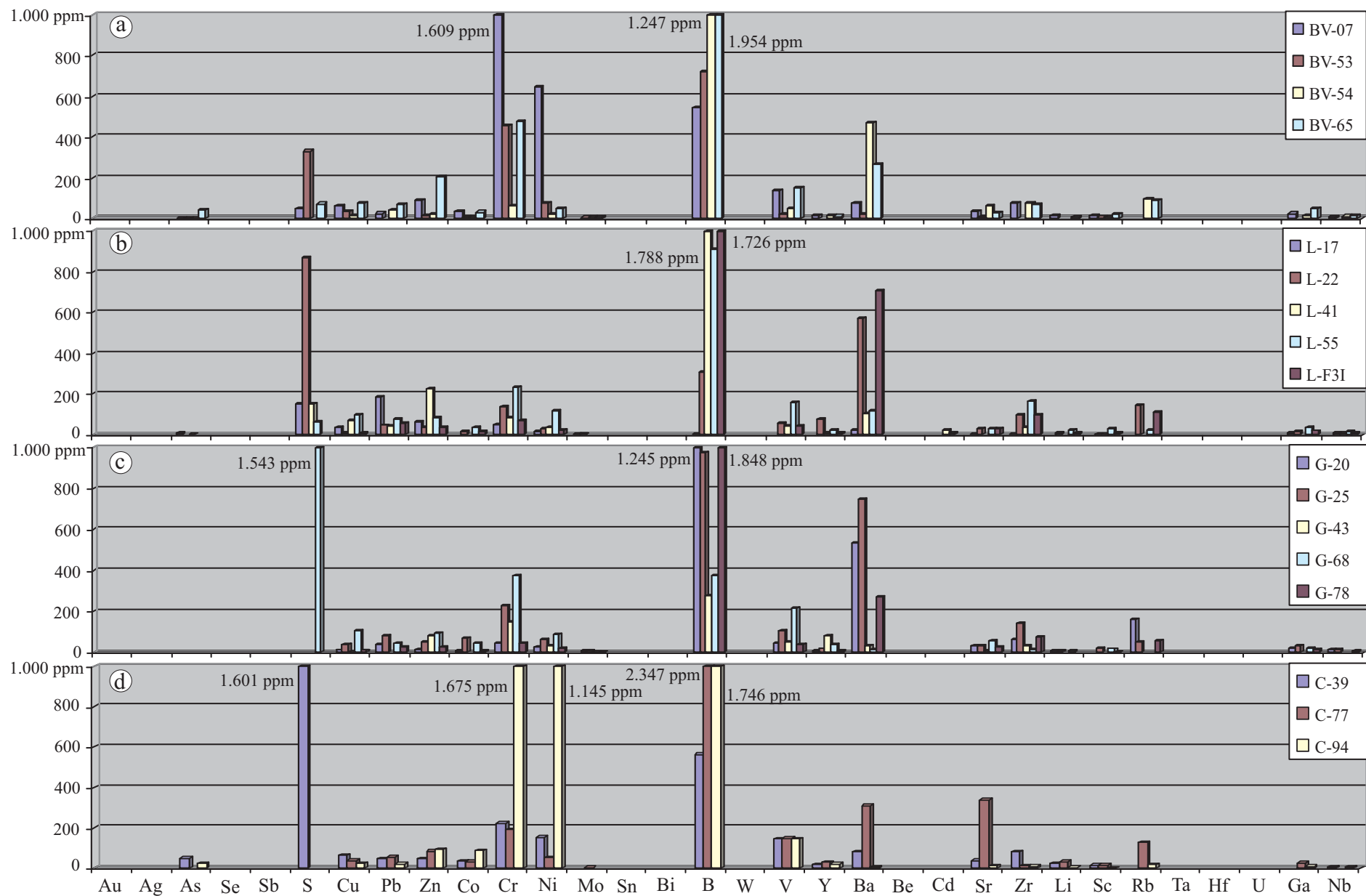


Figura 4.2-2. Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços constatados em rochas metassedimentares dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

Os teores de S nesse grupo de rochas apresentam grande variação, com valores inferiores ao limite de detecção (<50 ppm – todos os metassedimentos do Prospecto Gravatá) a superiores a 1.500 ppm (em paranfibolito e formação ferrífera, respectivamente dos prospectos Gravatá e Colônia).

O Ba é representado por teores acima de 700 ppm em muscovita/sericita-quartzo xisto e muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto que ocorrem nos prospectos Lenhoso e Gravatá, e embora com teores menos expressivos, sua ocorrência é registrada em todos os tipos petrográficos.

Os teores verificados para os elementos dosados foram plotados em diagramas multielementares (normalizados pela crosta continental) que são apresentados na Figura 4.2-3, onde se observa nas rochas do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.2-3a) o desenvolvimento de uma forte anomalia de B (concentrações próximas a 200 vezes do padrão). Embora não apresentado no referido diagrama, devido à ocorrência pontual, o As também se apresenta anômalo em muscovita/sericita-granada xisto grafitoso (40 vezes). São consideradas ainda expressivas as anomalias positivas, embora tênues, definidas por Pb, Mo e secundariamente Cr, enquanto constituem anomalias negativas principalmente os teores de Sr proveniente de metacherte hidrotermal.

Nas rochas do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.2-3b) as anomalias positivas mais pronunciadas também são definidas pelo B, com concentrações similares ao prospecto anteriormente referido, além de Pb e subordinadamente de Mo. Também nestas rochas, dentre as anomalias negativas a de maior destaque se refere a Sr.

Para o **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.2-3c), da mesma forma, o B constitui as anomalias positivas de maior destaque, também com concentrações próximas àquelas já caracterizadas nas rochas dos demais prospectos. Novamente Pb e secundariamente Mo definem tênues anomalias positivas, bem como também o Sr marca a mais pronunciada anomalia negativa.

Os teores de B, como nos litotipos das demais áreas, também marca uma forte anomalia positiva no **Prospecto Colônia** (Fig. 4.2-3d), com concentrações que chegam a 250 vezes o padrão. O Cr e Ni definem tênues anomalias e o Pb, embora com concentrações inferiores às anteriormente registradas, também se apresenta incipientemente anômalo. Já dentre as anomalias negativas, pontualmente se destaca o Ba.

4.2.3. Elementos terras raras

A distribuição dos ETR (elementos terras raras) dosados é ilustrada na Figura 4.2-4, com teores normalizados pela crosta continental, sendo seus teores apresentados na Tabela 4.1-4 – apêndice 3.

As rochas do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.2-4a) formam, embora com algumas diferenças, dois agrupamentos com distintos teores dos ETR, caracterizados pela similaridade entre muscovita/sericita-quartzo xisto e muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto e entre metacherte hidrotermal e muscovita/sericita-granada xisto grafitoso. Dentre esses, destaca-se o segundo agrupamento por apresentar empobrecimento geral de ETRL (elementos terras raras leves), para os quais se registra pequeno incremento nos teores de

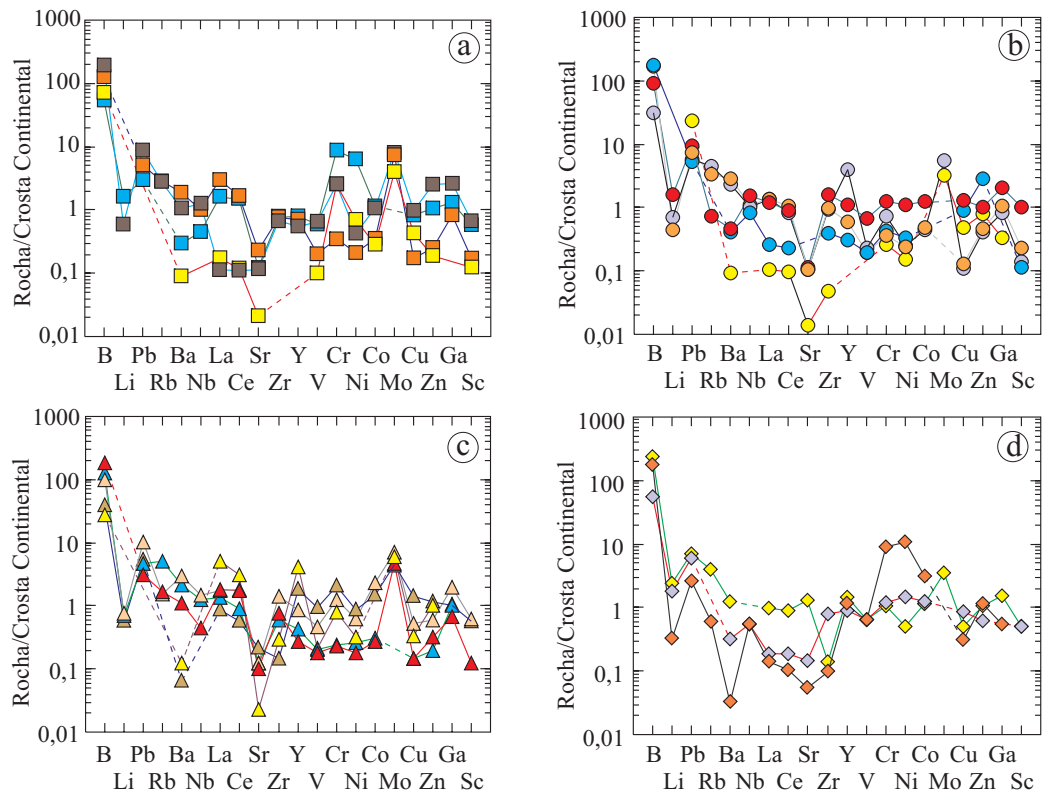


Figura 4.2-3. Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços (normalizados pela Crosta Continental) para as rochas metassedimentares/hidrotermais dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

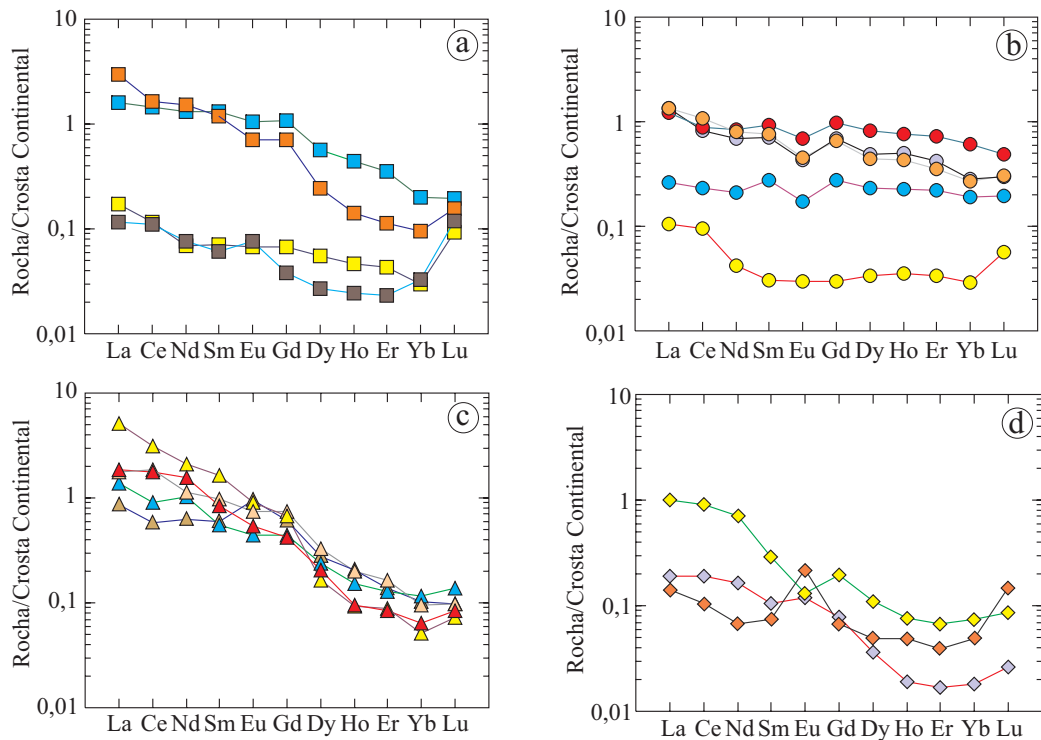


Figura 4.2-4. Diagramas que ilustram o padrão de distribuição dos elementos terras raras (normalizados pela Crosta Continental) para as rochas metassedimentares/hidrotermais dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

ETRP (elementos terras raras pesados). Já o primeiro agrupamento caracteriza uma distribuição relativamente normal.

No conjunto, essas rochas apresentam um padrão de enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP (razões La_n/Yb_n variando de 17,4 a 152,8), com fracionamento mais acentuado nos ETRP (razão Gd_n/Yb_n chegando até 9,1) do que nos ETRL (razão La_n/Sm_n de no máximo 7,2) nas amostras BV-07 e BV-54, ocorrendo fracionamento inverso nas demais amostras (razões máximas $La_n/Sm_n = 7,1$ e $Gd_n/Yb_n = 1,4$). Embora apresente empobrecimento geral dos ETR, o muscovita/sericita-granada xisto grafitoso é marcado por anomalia positiva de Eu ($Eu_n/Eu^* = 1,4$), enquanto as demais rochas ostentam razões entre 0,7 a 0,9.

Constata-se que nas rochas do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.2-4b), a distribuição dos teores desses elementos é marcada por um padrão quase retilíneo, sendo que as rochas quartzíticas ostentam os menores teores, enquanto os maiores são registrados em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, embora neste litotipo, como nos demais, ocorra um empobrecimento geral em relação à normalização adotada, principalmente dos ETRL.

Entretanto, no conjunto total os ETRL marcam um pequeno enriquecimento (razões La_n/Yb_n variando entre 6,7 a 24,3), evidenciando fracionamento fortemente acentuado nesses (razões máximas $La_n/Sm_n = 9,8$ e $Gd_n/Yb_n = 2,9$). O Eu (Eu_n/Eu^*) apresenta valores entre 0,6 e 0,9.

Nos litotipos do **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.2-4c) observa-se um padrão normal de distribuição, havendo, entretanto, tênue empobrecimento em ETRL em parafibolito e incipiente incremento nos teores de Lu em todas as amostras.

As razões entre os elementos evidenciam um forte enriquecimento em ETRL (La_n/Yb_n variando de 42,0 a 491,6, respectivamente em parafibolito e quartzito), sendo marcado no geral fracionamento dos ETRP (razões máximas $La_n/Sm_n = 9,1$ e $Gd_n/Yb_n = 15,7$). É marcada ainda anomalia positiva de Eu ($Eu_n/Eu^* = 1,55$) na rocha anfíbolítica.

Nas rochas que ocorrem no **Prospecto Colônia** (Fig. 4.2-4d) constata-se um empobrecimento generalizado nos teores dos referidos elementos considerando-se a padronização utilizada, sendo marcante, embora ainda negativa, a anomalia definida pelo aumento do teor de Eu em formação ferrífera.

Porém, no geral, observa-se enriquecimento de ETRL (razões La_n/Yb_n variando de 14,1 a 64,8), havendo fracionamento destes em relação aos ETRP (razões máximas $La_n/Sm_n = 9,9$ e $Gd_n/Yb_n = 3,18$). Quanto à referida anomalia de Eu, já constatada pela simples observação da figura supracitada, confirma-se não somente em formação ferrífera,

mas principalmente em muscovita/sericita-quartzo xisto, os quais possuem, respectivamente, razões Eu_n/Eu^* de 1,2 e 3,0, configurando, portanto, marcantes anomalias positivas.

Esses padrões devem refletir a composição mineralógica das rochas analisadas, principalmente aquelas que possuem granadas, que conseqüentemente apresentam maiores teores em ETRP. Em todos os conjuntos petrográficos não são perceptíveis anomalias de Ce, correlacionáveis a ambientes marinhos.

4.2.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis

As razões entre elementos incompatíveis têm sido aplicada em estudos relacionados à identificação de rochas precursoras a hidrotermalismo, bem como também na afinidade magmática de rochas alteradas hidrotermalmente (MacLean & Kranidiotis, 1987; Barret *et al.*, 1993 e MacLean & Barret, 1993, entre outros).

Embora com contexto distinto, são utilizadas as relações entre Zr e Y, TiO_2 e Al_2O_3 , sugeridas pelos autores supracitados, objetivando-se verificar a cogeneticidade ou não das rochas estudadas.

As referidas relações são ilustradas na Figura 4.2-5, onde Zr-Y definem dois *trends* lineares que passam pela origem, sugerindo cogeneticidade entre os dois agrupamentos de amostras. Já Zr- TiO_2 exibem uma variação um pouco maior, passível de correlacionar as amostras a três *trends*, enquanto Zr- Al_2O_3 marcam uma ampla dispersão, sendo que ambas as relações formam agrupamentos que passam também pela origem.

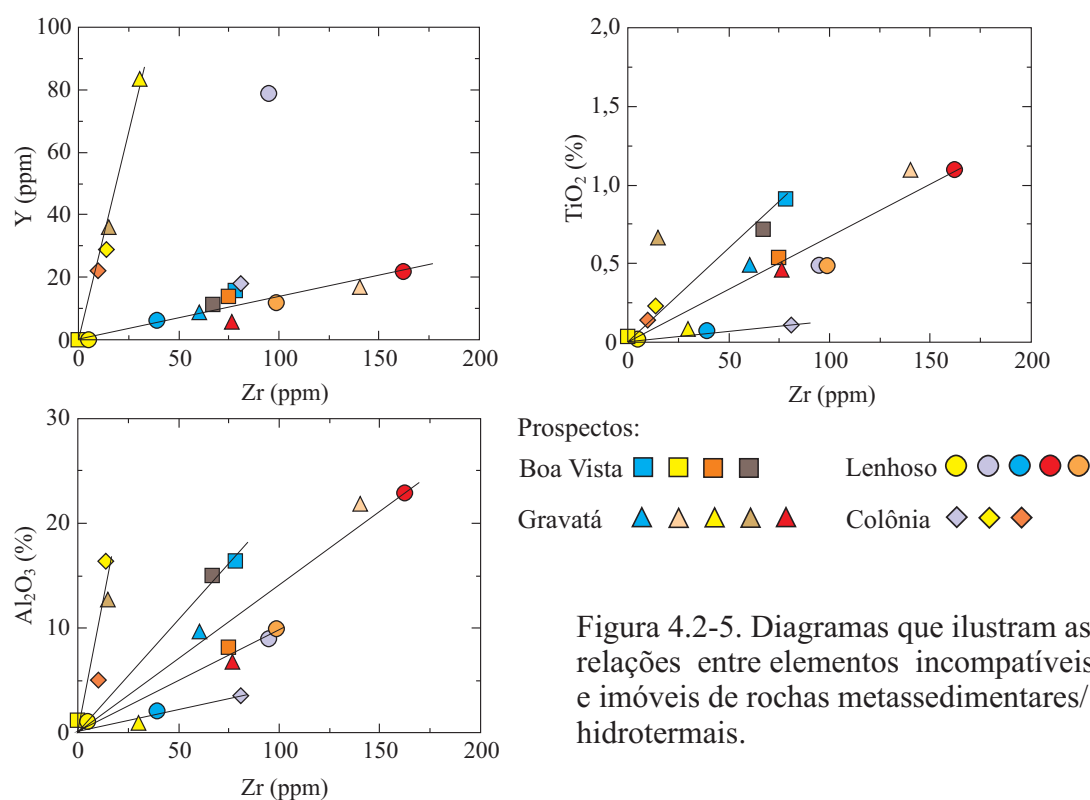


Figura 4.2-5. Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis de rochas metassedimentares/hidrotermais.

4.3. ROCHAS METAVULCÂNICAS/PLUTÔNICAS BÁSICAS/ULTRABÁSICAS

Foram submetidas a análises rochas metavulcânicas/plutônicas abrangendo os termos clorita xistos, actinolita/tremolita xistos, antofilita xistos, talco xistos, cummingtonita/grünerita xistos e meta-ortopiroxenitos (Tab. 4.1-1 – apêndice 1).

4.3.1. Elementos Maiores

Os elementos maiores das rochas metabásicas/ultrabásicas (Tab. 4.1-2 – apêndice 3) foram analisados considerando a relação entre MgO e os demais óxidos, conforme apresentado na Figura 4.3-1.

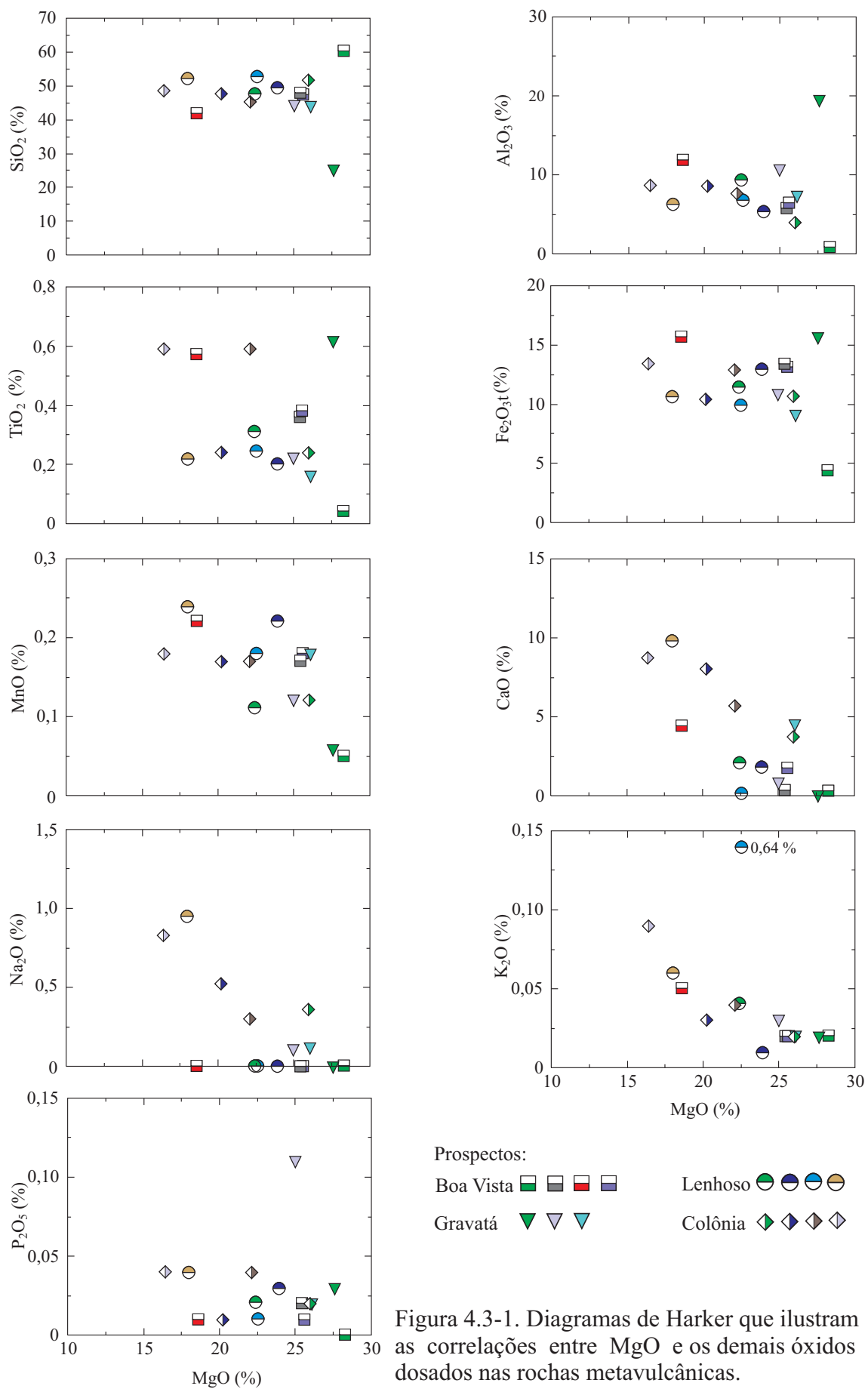


Figura 4.3-1. Diagramas de Harker que ilustram as correlações entre MgO e os demais óxidos dosados nas rochas metavulcânicas.

Os teores de **MgO** variam de 7,5% até 28,30% , sendo possível por meio desses valores classificar as rochas analisadas em:

- Peridotitos komatiíticos (teores de MgO acima de 20%)
 Talco xistos *com* e *sem* ortopiroxênio (Boa Vista e Lenhoso)
 Meta-ortopiroxenito (Lenhoso)
 Cummingtonita/grünerita xisto (Lenhoso)
 Clorita xistos/*fels* (Boa Vista, Gravatá e Colônia)
 Antofilita xistos (Gravatá e Colônia)
- Basaltos komatiíticos (teores de MgO entre 12-20%)
 Actinolita/tremolita xistos (Boa Vista e Colônia)
 Clorita xisto (Lenhoso)

Excetuando-se CaO, Na₂O, Al₂O₃, K₂O e MnO, que marcam *trend* onde as porcentagens de MgO decrescem com o aumento desses óxidos (correlação negativa), todos os demais óxidos apresentam uma ampla dispersão dos teores, não apresentando correlações com o MgO.

Quanto aos teores constatados de **SiO₂**, embora localmente com valores anormais de até 60% (em talco xisto do Prospecto Boa Vista), apresentam-se predominantemente entre 40-50%, ocorrendo também de forma pontual, valor em torno de 25% em clorita xisto do Prospecto Gravatá. O elevado teor de SiO₂ constatado na rocha supracitada o diferencia das demais, não somente pelos valores desse óxido, mas também pela redução nos teores dos demais óxidos dosados, como apresentado a seguir.

Os teores de **Al₂O₃** nessas rochas também se mostram expressivos, pontualmente com valores próximos a 20% em clorita xisto que ocorre no Prospecto Gravatá, sendo que os demais tipos petrográficos ostentam teores entre 3-13%, ocorrendo, entretanto, valores inferiores a 1% em talco xisto do Prospecto Boa Vista. Os mais elevados teores são condizentes com a composição da rocha, à base de clorita, embora outros tipos de rochas similares apresentem valores inferiores.

Embora o **TiO₂** seja representado por teores de até 0,6%, predominam valores pouco acima de 0,1 a próximos a 0,4%, sendo registrado ainda pontualmente teores inferiores a esses valores, denotando praticamente a ausência do referido óxido em talco xisto do Prospecto Boa Vista.

Quanto ao Fe_2O_3 , essas rochas metavulcânicas/plutônicas ostentam teores entre 9 e 16%, que são condizentes com a composição mineralógica dos mesmos, embora para o talco xisto do Prospecto Boa Vista seja registrado apenas 4,4% desse óxido.

Enquanto os teores de MnO se apresentam pouco expressivos e variam de 0,05 a 0,24%, os de CaO atingem valores próximos a 10% em clorita xisto do Prospecto Lenhoso. Outros litotipos, provenientes principalmente do Prospecto Colônia, também são marcados por altos teores de CaO .

Em relação aos teores de Na_2O , embora haja grande variação, inclusive com ausência deste, observa-se que clorita xistos e actinolita/tremolita xistos dos prospectos Lenhoso e Gravatá, respectivamente, ostentam valores que se aproximam de 1%.

Para o K_2O são registrados teores que atingem valores superiores a 0,6%, embora pontual, marcados em talco xistos do Prospecto Lenhoso. A grande maioria dos litotipos ostenta teores entre 0,02 e 0,09%.

Os teores de P_2O_5 na maioria das rochas apresentam-se limitados a valores inferiores a 0,05%, representando pouco mais de 0,1% somente em clorita xisto do Prospecto Gravatá.

4.3.2. Elementos traços

Os teores dos elementos traços que ocorrem nessas rochas são apresentados na Tabela 4.1-3 (apêndice 3) e ilustrados na Figura 4.3-2, onde se observa que os valores mais expressivos se referem a Cr e Ni, seguidos pelos teores de B e secundariamente Ba e Zn.

O Cr está presente em todas as rochas estudadas, normalmente com teores expressivos, chegando a ostentar valores próximos a 3.500 ppm em clorita xisto do Prospecto Lenhoso. Nesse sentido, destacam-se as rochas que apresentam baixos teores desse metal, como os clorita xistos dos prospectos Gravatá e Colônia e actinolita/tremolita deste último prospecto, para os quais são registrados valores entre 39 a 313 ppm.

A presença de Ni também foi registrada em todas as rochas, e embora com valores menores que o elemento acima descrito, ainda se mostram robustos na maioria das rochas. Atingem teores de até 1.900 ppm em talco xisto do Prospecto Lenhoso, ocorrendo, entretanto, valores extremamente baixos (entre 30 e 44 ppm) em xistos do Prospecto Colônia.

Os teores de B em rochas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso e muito secundariamente do Prospecto Colônia também se destacam entre os elementos dosados, chegando a representar mais de 1.600 ppm em actinolita tremolita xisto da primeira área.

Embora de forma incipiente, também são representativos os teores de Ba, principalmente aqueles constatados em clorita xisto do Prospecto Colônia, além ainda de Zn, embora de forma mais secundária, que é melhor marcado em rochas dos prospectos Lenhoso e Colônia.

Diagramas multielementares para os elementos traços dosados nas rochas de metavulcânicas/plutônicas de composição básica/ultrabásica (normalizados pela crosta oceânica) são ilustrados na Figura 4.3-3, através dos quais se observa que para rochas do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.3-3a) os teores de B que constituem as anomalias positivas

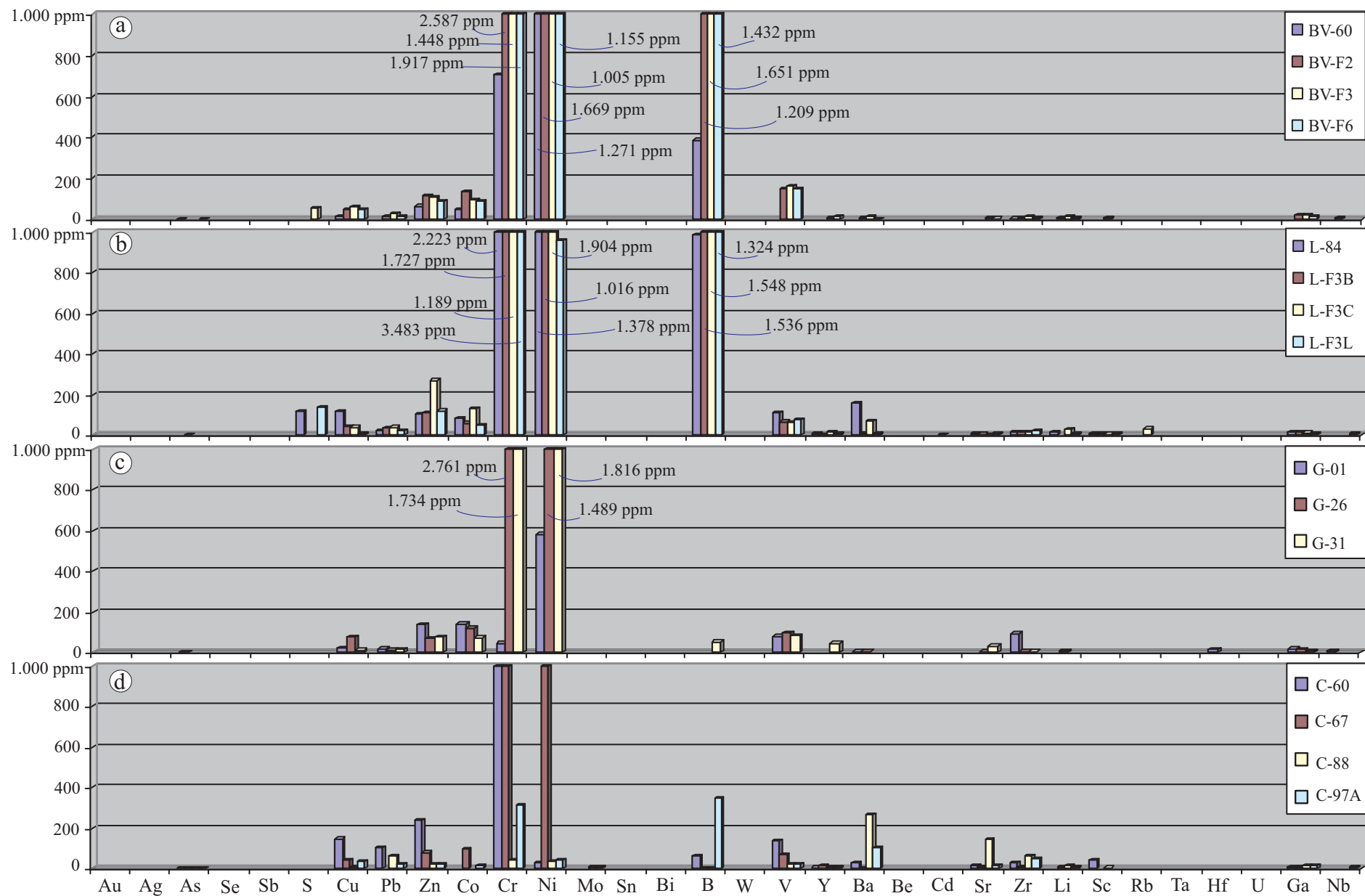


Figura 4.3-2. Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços constatados em rochas me vulcânicas dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

mais marcantes (concentrações entre 100 e 400 vezes), destacando-se ainda os valores de Pb (20 a 35 vezes), Cr e Ni (que caracterizam concentrações de até 10 vezes). Já as anomalias negativas são marcadas principalmente pelos teores de Sr (empobrecimento de até 80 vezes), seguidas pelos valores observados de Zr (até 70 vezes) e mais pontualmente de Cu e Ba (próximos a 9 vezes).

As rochas do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.3-3b) mostram um padrão de anomalias relativamente similar a área anteriormente referida. As anomalias positivas são marcadas

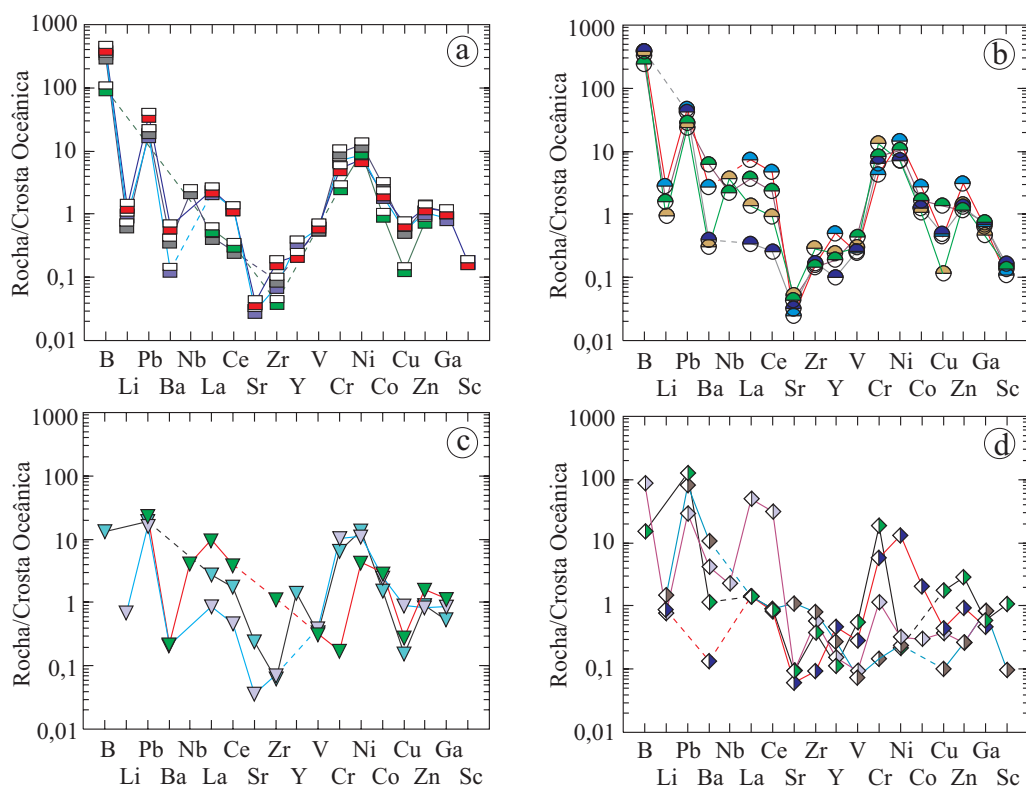


Figura 4.3-3. Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços (normalizados pela Crosta Oceânica) para as rochas metavulcânicas dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

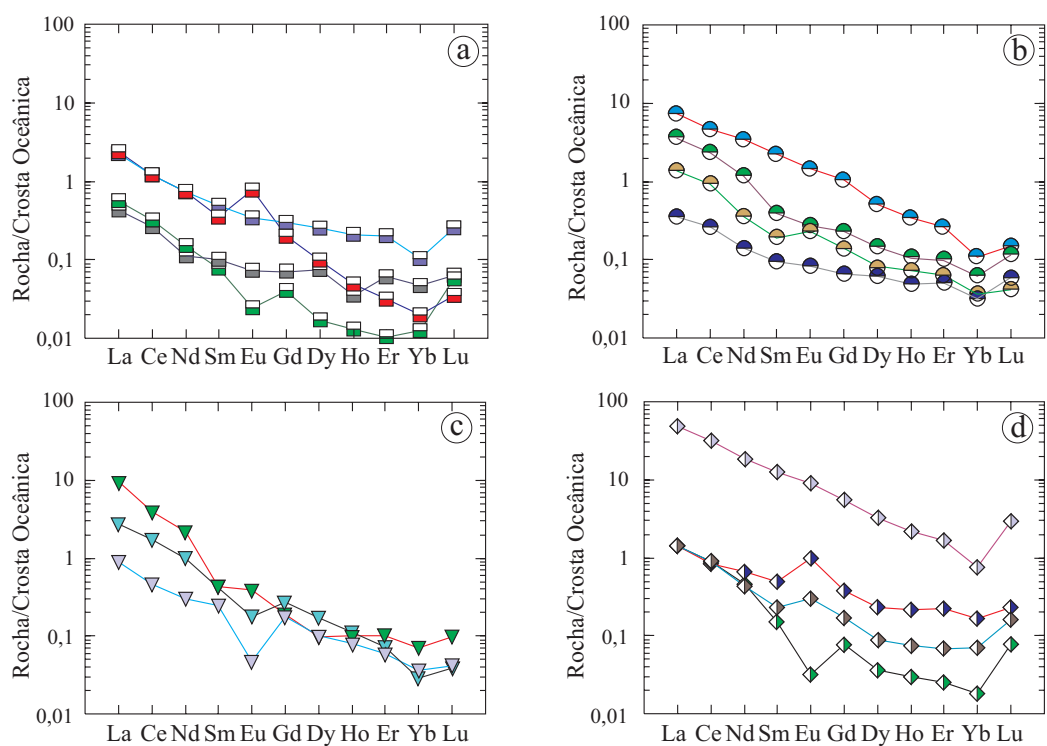


Figura 4.3-4. Diagramas que ilustram o padrão de distribuição dos elementos terras raras (normalizados pela Crosta Oceânica) para as rochas metavulcânicas dos prospectos (a) Boa Vista, (b) Lenhoso, (c) Gravatá e (d) Colônia.

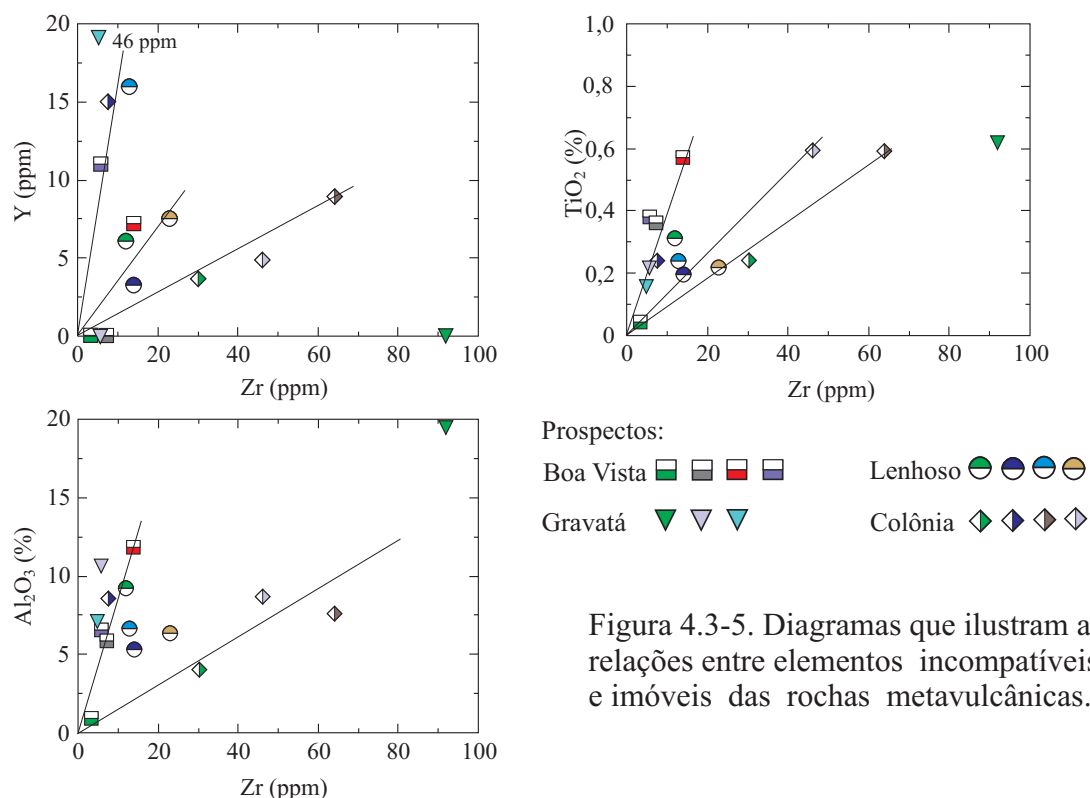


Figura 4.3-5. Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis das rochas metavulcânicas.

pelos teores de B (com concentrações entre 250 a 400 vezes) e Pb (25 a 50 vezes), e ainda de forma secundária de Cr e Ni (até 15 vezes). Anomalias negativas são definidas principalmente pelos teores de Sr, que apresenta empobrecimento de até 85 vezes em relação ao padrão adotado.

De igual forma, as rochas do **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.3-3c) definem anomalias positivas para os mesmos elementos, destacando-se primeiramente os teores de Pb (até 25 vezes), que são seguidos por B, embora com ocorrência local (antofilita xisto) e com concentrações inferiores às das demais áreas (15 vezes), além de Cr e Ni, com concentrações similares às desse último elemento, embora seja caracterizada pontualmente deficiência de Cr. Novamente as anomalias negativas são registradas principalmente em Sr e Zr (70 e 40 vezes, respectivamente), além de secundariamente Ba e Cu.

No **Prospecto Colônia** (Fig. 4.3-3d) os xistos metavulcânicos também são marcados por marcantes anomalias positivas de Pb, que atingem concentrações próximas a 150 vezes, além de B, que marcam concentrações entre 15 a 100 vezes. Embora pontual (actinolita/tremolita xisto) La e Ce se apresentam anômalos (50 e 30 vezes, respectivamente), o mesmo ocorrendo com Ba, Cr e Ni, que ostentam teores que representam concentrações entre 10 a 20 vezes. Embora menos expressivos, os teores de Sr também marcam anomalias negativas (no máximo 50 vezes), além de Zr, Y, V, Cr, Ni, Cu e Sc, embora a variação pontual dos valores desses elementos caracterize concentrações positivas.

Essas anomalias, principalmente de Ni e Cr, são normais para rochas de composição ultrabásica, entretanto as de Pb, Ba e B provavelmente representem contaminação (proveniente de água do mar) ou mais provavelmente a ação de processos hidrotermais.

4.3.3. Elementos terras raras

Os teores dos ETR das rochas metavulcânicas/plutônicas (Tab. 4.1-4 – apêndice 3) são ilustrados na Figura 4.3-4, normalizados pela crosta oceânica.

Para os litotipos provenientes do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.3-4a) constata-se que os ETR são marcados por baixos teores, os quais, devido as diferenças exibidas pelos valores dos ETRL, formam dois agrupamentos tenuamente distintos.

No geral, os ETRL marcam um pequeno a considerável enriquecimento sobre os ETRP (razões La_n/Yb_n variando entre 4,3 a 58,2). Também é evidenciado fracionamento dos ETRL (razões La_n/Sm_n variando de 3,0 a 5,1 e Gd_n/Yb_n entre 1,1 a 2,1), ocorrendo fracionamento dos ETRP, entretanto, em actinolita/tremolita xisto ($La_n/Sm_n = 4,7$ e $Gd_n/Yb_n = 7,3$). Este tipo litológico marca ainda anomalia positiva de Eu ($Eu_n/Eu^* = 2,83$), enquanto nos demais litotipos esses valores são de 0,4 a 0,8, sendo as mais expressivas anomalias negativas em talco xisto.

Para o **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.3-4b) são caracterizados teores relativamente distintos dos ETR dos distintos tipos petrográficos, sendo comum a ocorrência de baixos valores, a exceção dos ETRL provenientes de meta-ortopiroxenito e principalmente talco xisto.

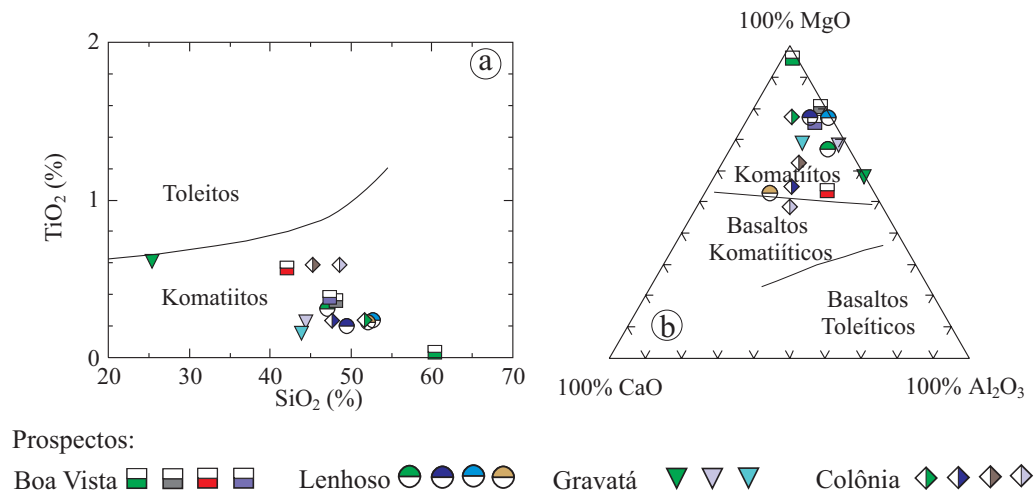


Figura 4.3-6. Diagramas classificatório de rochas básicas/ultrabásicas de (a) Arndt *et al.*, 1977 e (b) Viljoen *et al.*, 1982, ilustrando que as rochas metavulcânicas estudadas possuem filiação komatiítica.

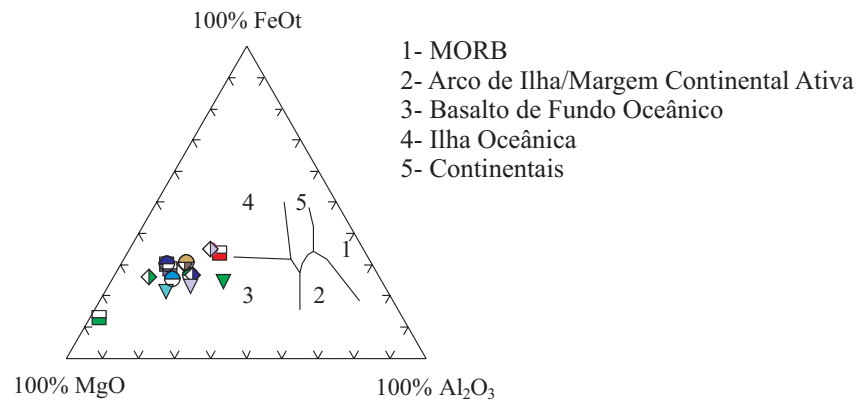


Figura 4.3-7. Diagrama de Pearce *et al.* (1977), ilustrando que as rochas metavulcânicas analisadas ocupam predominantemente o campo dos basaltos de fundo oceânico. Ver legenda da Figura 4.3-6.

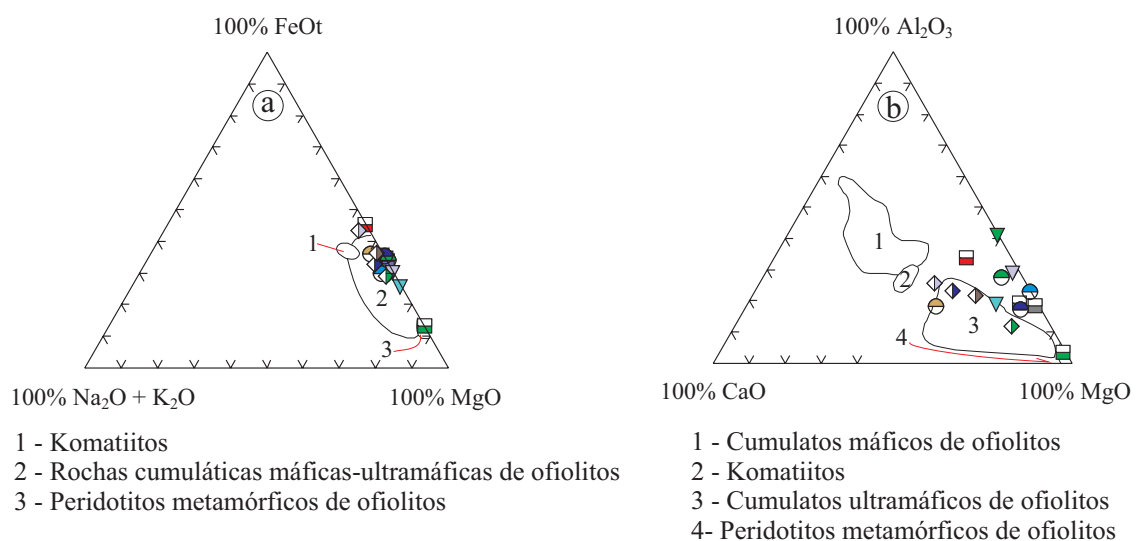


Figura 4.3-8. Diagramas de Coleman (1977) que ilustram em a) que as amostras ocupam predominantemente o campo das rochas cumuláticas máficas/ultramáficas de ofiolitos, e em b) que as amostras embora ocupem os campos dos cumulatos, a maioria se posiciona fora das áreas definidas. Ver legenda da Figura 4.3-6.

Os ETRL apresentam enriquecimento bem marcado sobre os ETRP (razões La_n/Yb_n variando entre 5,4 a 34,1), sendo registrado fracionamento principalmente dos ETRL (razões La_n/Sm_n entre 2,6 a 6,4 e Gd_n/Yb_n entre 1,5 a 2,9) a localmente do ETRP, em talco xisto ($La_n/Sm_n = 2,3$ e $Gd_n/Yb_n = 7,3$). O Eu forma anomalia tenuamente positiva em clorita xisto ($Eu_n/Eu^* = 1,41$), enquanto nas demais rochas os valores observados são praticamente normais, próximos a 1.

Como nas demais áreas, os litotipos que ocorrem no **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.3-4c) também apresentam baixos valores de ETR, havendo somente pequeno destaque novamente para os ETRL.

O padrão geral destes evidencia um enriquecimento dos ETRL (razões La_n/Yb_n que variam de 12,0 a 67,1), além de fracionamento principalmente dos ETRP sobre os ETRL (razões La_n/Sm_n de 2,5 a 4,7 e Gd_n/Yb_n 3,6 a 6,9), e ainda um marcante fracionamento inverso em clorita xisto ($La_n/Sm_n = 15,7$ e $Gd_n/Yb_n = 1,9$). Nestas rochas é marcada ainda uma anomalia positiva de Eu ($Eu_n/Eu^* = 1,3$), enquanto para as demais são definidas anomalias negativas ($Eu_n/Eu^* = 0,2$ a $0,5$).

Dentre o grupo de rochas analisadas do **Prospecto Colônia** (Fig. 4.3-4d), uma das variedades de actinolita/tremolita xisto apresenta padrão geral de enriquecimento de ETR, com valores relativamente elevados, quando comparados ao padrão geral descrito acima para a totalidade das rochas metavulcânicas/plutônicas. Entretanto, os demais litotipos ostentam baixos teores desses elementos.

Entretanto, quando analisadas as razões entre elementos leves e pesados, esses litotipos também apresentam enriquecimento geral dos ETRL (razões La_n/Yb_n que variam de 4,1 a 38,4), bem como exibem fracionamento predominante destes (La_n/Sm_n entre 2,0 a 6,8 e Gd_n/Yb_n 1,6 a 3,1) a localmente dos ETRP, em actinolita/tremolita xisto ($La_n/Sm_n = 2,7$ e $Gd_n/Yb_n = 5,1$). Nesse grupo de rochas, são registradas anomalias positivas de Eu em actinolita/tremolita xisto e secundariamente em clorita xisto ($Eu_n/Eu^* = 2,3$ e $1,5$, respectivamente), sendo observada anomalia negativa somente em antofilita xisto ($Eu_n/Eu^* = 0,3$).

4.3.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis

Para as rochas metavulcânicas/plutônicas também são utilizadas as relações entre Zr e Y, TiO_2 e Al_2O_3 para se verificar a cogeneticidade ou não das rochas estudadas.

A Figura 4.3.5 ilustra as referidas relações, onde se observa que Zr-Y definem dois *trends* incipientemente marcados, ocorrendo o mesmo com Zr-TiO₂, embora para esses a definição seja mais incipiente ainda. Para Zr-Al₂O₃ são definidos dois *trends*, também de forma tênue.

No geral as rochas metásicas/ultrabásicas exibem correlações que sugerem, como esperado, um padrão de derivação de protólitos múltiplos.

4.3.5. Ambiência geotectônica

As rochas metavulcânicas/plutônicas de filiação básica/ultrabásica são consideradas por autores diversos como constituintes de uma seqüência ofiolítica.

Quando analisadas através dos diagramas de Arndt *et al.* (1977) e Viljoen *et al.* (1982), essas ocupam essencialmente os campos referentes a komatiitos, conforme ilustrado nas Figuras 4.3-6a e b.

Em relação a ambientes tectônicos, com base no diagrama MgO-Al₂O₃-FeO, de Pearce *et al.* (1977), as amostras posicionam-se próximas ao campo dos basaltos de fundo oceânico (Fig. 4.3-7), as quais, entretanto tendem a se distanciar dos campos definidos por esses autores. Porém, cabe ressaltar que as rochas da região não apresentam composição basáltica, e provavelmente por isso apresentam o referido deslocamento nesse diagrama.

As composições das rochas analisadas são também comparadas com diagramas em função da relação FeO-MgO-(Na₂O+K₂O) e Al₂O₃-CaO-MgO (Figs. 4.3-8a e b), que segundo Coleman (1977), permite a distinção de komatiitos, peridotitos e cumulatos

máficos/ultramáficos de complexos ofiolíticos. Nesses diagramas, as amostras ocupam predominantemente o campo referente a cumulos máficos e ultramáficos, ocorrendo, entretanto, uma amostra que se posiciona no campo dos peridotitos metamórficos e ainda algumas que não ocupam as áreas definidas no diagrama (Fig. 4.3-8a).

Na representação gráfica que separa os campos máficos e ultramáficos (Fig. 4.3-8b), embora grande parte das amostras se posicione fora dos campos definidos, algumas ocupam a área dos cumulos ultramáficos, principalmente aquelas provenientes do Prospecto Colônia. A mesma amostra que no diagrama anterior ocorre no campo dos peridotitos, também aqui exibe quimismo que, de acordo com o presente diagrama, a posiciona na referida área.

4.4. ROCHAS GNÁISSICAS

Como através da análise petrográfica nem sempre é possível determinar a derivação dessas rochas, inicialmente os dados litoquímicos foram avaliados através do diagrama de Garrels & Mackenzie (1971), que utiliza a relação K_2O/Al_2O_3 - Na_2O/Al_2O_3 , para a qual esses autores estabelecem campos referentes a composições de rochas ígneas e de rochas sedimentares.

Conforme ilustrado na Figura 4.4-1, são caracterizados orto e paragneisses nas diversas áreas estudadas. Entretanto, no Prospecto Lenhoso é caracterizado quimicamente apenas ortogneisse, devido a análise apenas de uma amostra desta área, sendo, porém comum a ocorrência de rochas paraderivadas em todo o entorno do prospecto.

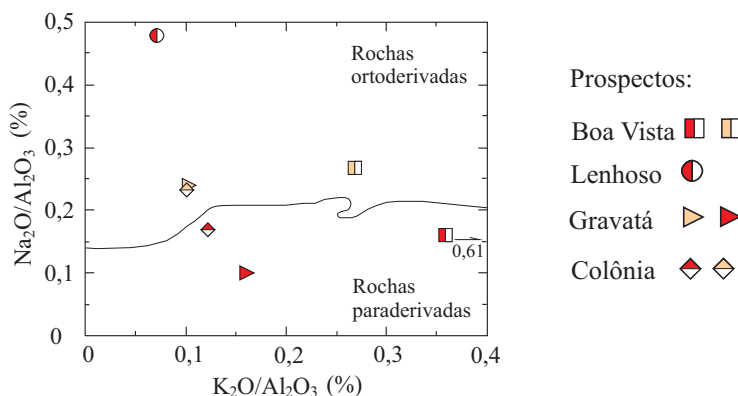


Figura 4.4-1. Diagrama K_2O/Al_2O_3 - Na_2O/Al_2O_3 com campos referentes às rochas metassedimentares e ígneas, segundo Garrels & Mackenzie (1971), onde é possível por meio da separação química, o reconhecimento de rochas gnáissicas para e ortoderivadas nos distintos prospectos.

4.4.1. Elementos maiores

Os teores dos elementos maiores dessas rochas são apresentados na Tabela 4.1-2 (apêndice 3), enquanto a Figura 4.4-2 ilustra, por meio de diagramas de Harker, a variação de SiO_2 em relação aos demais óxidos. São caracterizadas correlações negativas, embora incipientemente marcada, entre os teores de sílica e TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO e CaO , enquanto os demais se apresentam relativamente dispersos.

Os teores de Al_2O_3 apresentam-se robustos em todas as rochas estudadas, chegando a representar aproximadamente 20% em rocha do Prospecto Lenhoso, enquanto nas demais predominam teores próximos a 15%. Esses valores são condizentes com a ocorrência de minerais filossilicáticos, comum a todas as rochas.

O TiO_2 é marcado por teores que denunciam praticamente a ausência deste óxido em litotipo do Prospecto Boa Vista até 1,2% quando de ocorrência no Prospecto Gravatá. De mesma forma, essa ampla variação dos teores e inclusive a referida relação de redução e aumento dos teores da maioria dos óxidos dosados é verificada junto aos litotipos supracitados.

Assim, o Fe_2O_3 (0,78 a 10,6%), MnO (0,05 a 0,15%), MgO (< 0,10 a 4,1%), CaO (0,4 a 8,2%) e P_2O_5 (0,02 a 1,1%) também são marcados por distribuições similares,

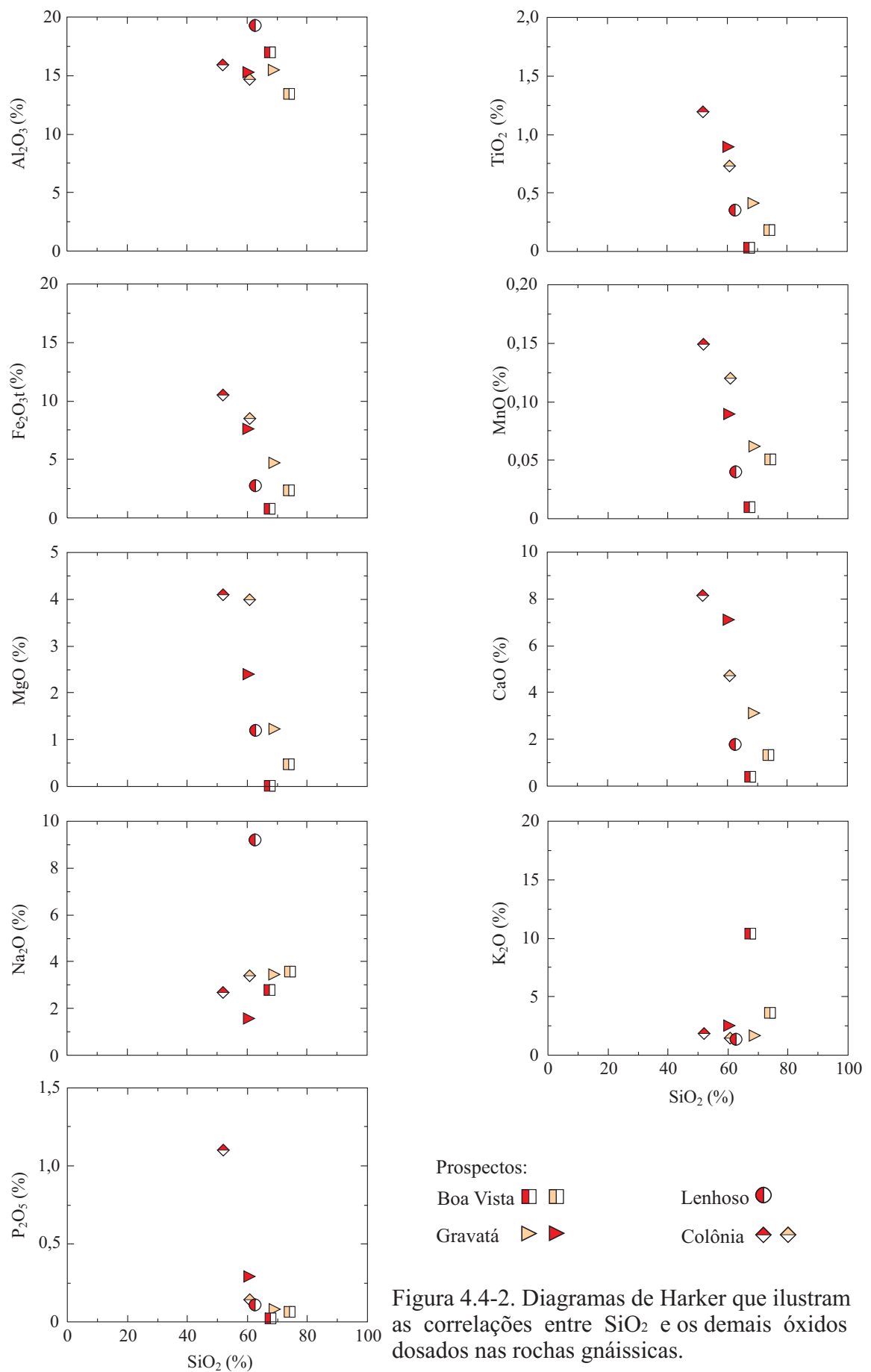


Figura 4.4-2. Diagramas de Harker que ilustram as correlações entre SiO_2 e os demais óxidos dosados nas rochas gnáissicas.

destacando-se, entretanto, que os teores mais elevados desse último óxido o separa das demais amostras, que ostentam valores de no máximo 0,29%.

Os teores de Na_2O situam-se entre 1,6 a 9,2%, registrados, respectivamente, em rochas dos prospectos Gravatá e Lenhoso, embora a maioria dos valores se situe entre o menor teor até 3,6%.

Essa distinção pontual dos teores também é observada para o K_2O , que localmente representa mais de 10% em gnaiss do Prospecto Boa Vista, enquanto os teores das demais rochas ostentam no máximo 3,6%.

4.4.2. Elementos traços

Os teores dos elementos traços verificados em rochas gnáissicas são apresentados na Tabela 4.1-3 (apêndice 3), sendo a relação entre esses ilustrada na Figura 4.4-3, na qual se observa que se destacam os valores referentes a S, Cr, B, Ba e Sr, e ainda tenuamente V e Rb.

O S ostenta teores próximos a 2.000 ppm em rochas do Prospecto Colônia, ocorrendo também teores robustos, embora inferiores, em gnaiss do Prospecto Lenhoso.

Os teores de Cr e Ni apresentam-se robustos nos litotipos do Prospecto Colônia, atingindo valores maiores que 1.300 ppm e superiores a 800 ppm, respectivamente. Também em rocha deste prospecto, o V ostenta teor relativamente expressivo, próximo a 250 ppm.

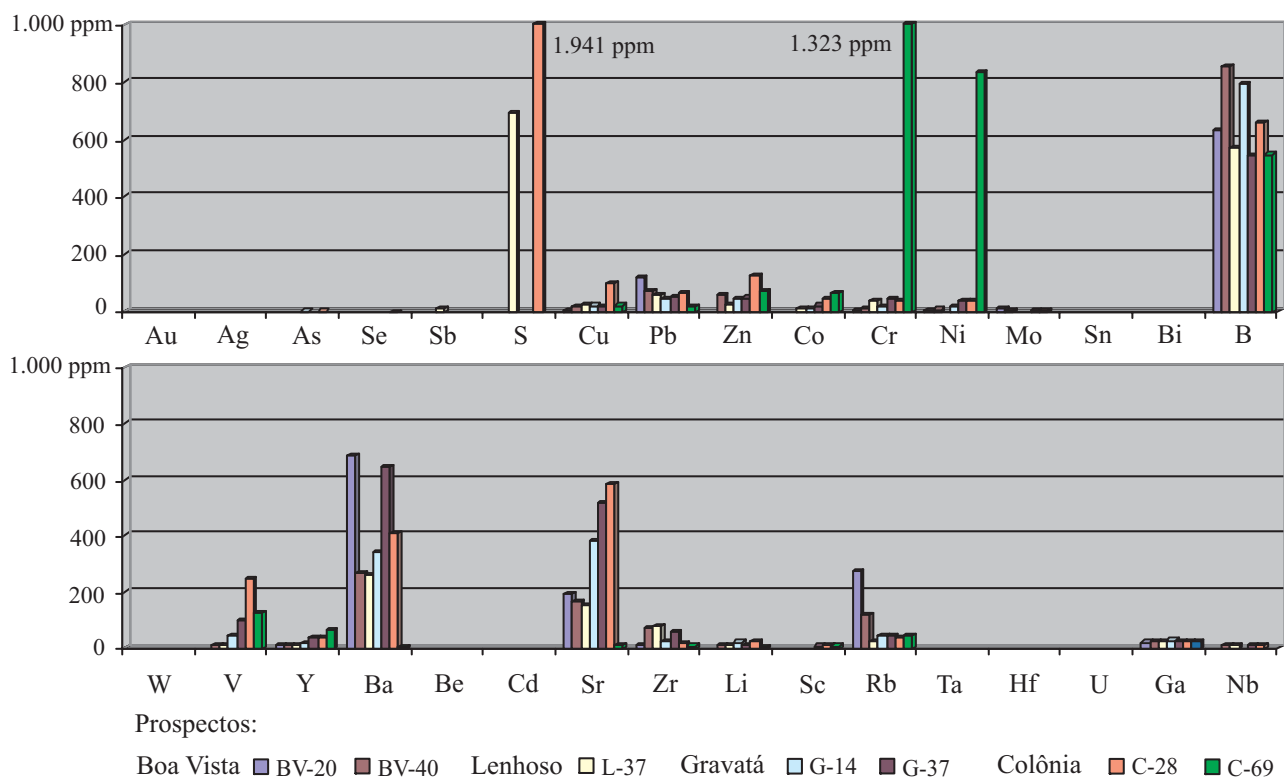


Figura 4.4-3. Diagramas de barras ilustrando os teores dos elementos traços constatados em rochas gnáissicas provenientes dos distintos prospectos estudados.

O B, Ba e Sr apresentam-se anômalos nos distintos litotipos de todos os prospectos. Esse primeiro elemento atinge valores em torno de 850 ppm em rocha do Prospecto Boa Vista, enquanto os teores de Ba de maior destaque representam mais de 680 ppm, também em rochas desse prospecto, a qual também apresenta os melhores teores de Rb, que embora menos expressivos, caracterizam valores de 275 ppm. O Sr é melhor representado pelos teores constatados em rocha do Prospecto Colônia, a qual ostenta valor próximo a 600 ppm.

A distribuição dos teores desses elementos é apresentada em diagramas multielementares normalizados pela crosta superior, ilustrados na Figura 4.4-4.

Para as rochas do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.4-4a) constata-se que o B constitui as anomalias positivas mais expressivas, com concentrações de 45 a 60 vezes o padrão, seguidos pelos teores de Pb, já com concentrações bem menos expressivas, de 4 a 6 vezes. Embora pontual, o Zr constitui anomalia negativa marcante (65 vezes).

O gnaiss do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.4-4a) possui um padrão de distribuição dos elementos traços relativamente similar ao prospecto anteriormente referido, diferindo apenas nas anomalias positivas que são marcadas por concentrações menos robustas, e ainda na anomalia negativa, ausente neste.

Para os litotipos do **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.4-4b) verifica-se a ocorrência das mesmas anomalias positivas já descritas, inclusive com concentrações próximas àquelas. Definem tênues anomalias negativas os teores de La, Ce e Zr, sendo esse último o mais expressivo (até 9,5 vezes).

Os elementos traços dos litotipos do **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.4-4b) definem um padrão onde o B e Pb, como nos demais prospectos, também constituem anomalias positivas, destacando-se, entretanto, as anomalias formadas pelos teores de Cr e Ni, que representam concentrações em torno de 40 vezes. Registra-se ainda para essas rochas, embora pontualmente, fortes anomalias negativas de Ba (120 vezes) e Sr (próximo a 90 vezes), além de Zr (até 70 vezes).

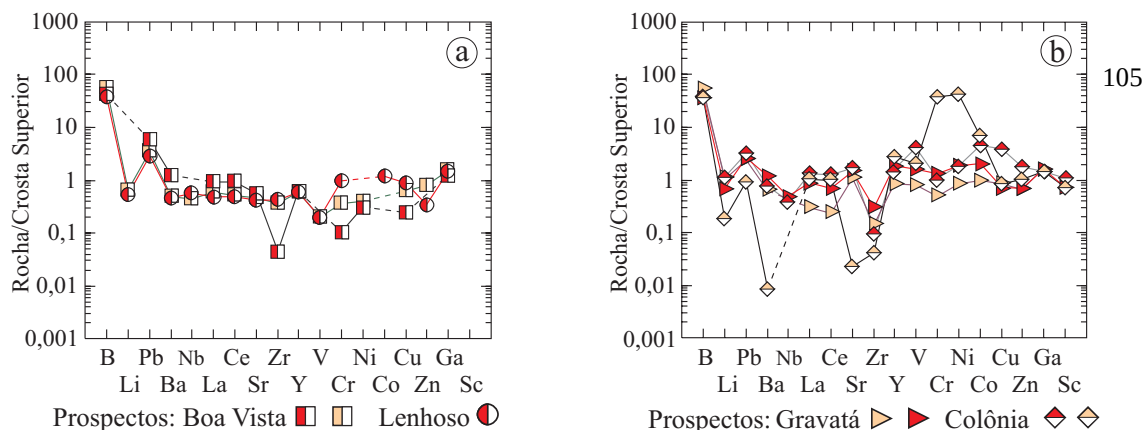


Figura 4.4-4. Diagramas multielementares que ilustram o padrão de distribuição de alguns elementos traços (normalizados pela Crosta Superior) para as rochas gnáissicas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso (a) e Gravatá e Colônia (b).

4.4.3. Elementos terras raras

Os teores de ETR constatados em rochas gnáissicas (Tab. 4.1-4 – apêndice 3) foram normalizados pela crosta superior, e são ilustrados na Figura 4.4-5.

Os gnaisses que ocorrem no **Prospecto Boa Vista** (Fig. 4.4-5a) apresentam baixos teores de ETR, que no conjunto total exibem forte enriquecimento de ETRL (razões La_n/Yb_n variando de 26 a 117). Para a amostra que exibe maior enriquecimento, constata-se ainda fracionamento dos ETRP ($La_n/Sm_n = 5,2$ e $Gd_n/Yb_n = 10,1$), ocorrendo também fracionamento dos ETRL ($La_n/Sm_n = 4,8$ e $Gd_n/Yb_n = 3,4$) naquela com menor enriquecimento. Para essas rochas o Eu ($Eu_n/Eu^* = 0,7$ e $0,9$) constitui tênue anomalia negativa.

À rocha pertencente ao **Prospecto Lenhoso** (Fig. 4.4-5a) também são comuns baixos teores de ETR, que divergem aos da área supracitada por ostentarem teores pouco inferiores de ETRL e pouco superiores de ETRP. No geral o padrão dessa é definido por consistente enriquecimento de ETRL ($La_n/Yb_n = 20,2$) e por incipiente fracionamento destes ($La_n/Sm_n = 3,6$ e $Gd_n/Yb_n = 3,2$), além de valor de Eu ($Eu_n/Eu^* = 0,8$) que constitui fraca anomalia negativa.

Ostentando os menores teores de ETR, os termos gnáissicos do **Prospecto Gravatá** (Fig. 4.4-5b) são marcados por padrões que no geral ostentam forte enriquecimento de ETRL ($La_n/Yb_n = 99,4$ a $142,0$), fracionamento tanto destes ($La_n/Sm_n = 9,3$ e $Gd_n/Yb_n = 5,9$) como de ETRP ($La_n/Sm_n = 8,0$ e $Gd_n/Yb_n = 10,1$) e por anomalias positivas de Eu ($Eu_n/Eu^* = 1,0$ e $1,1$).

Dentre as rochas gnáissicas estudadas, as do **Prospecto Colônia** (Fig. 4.4-5b) são as que exibem os teores menos robustos, tendendo a uma distribuição normal, principalmente dos ETRL, destacando-se ainda pontualmente teores que definem anomalia positiva de Lu. Para essas são caracterizados enriquecimentos de ETRL ($La_n/Yb_n = 26,4$ e $51,5$), fracionamento tanto de ETRL como de pesados ($La_n/Sm_n = 4,5$ e $Gd_n/Yb_n = 3,6$ e $La_n/Sm_n = 3,9$ e $Gd_n/Yb_n = 7,0$) e anomalias negativas de Eu ($Eu_n/Eu^* = 0,7$ a $0,9$).

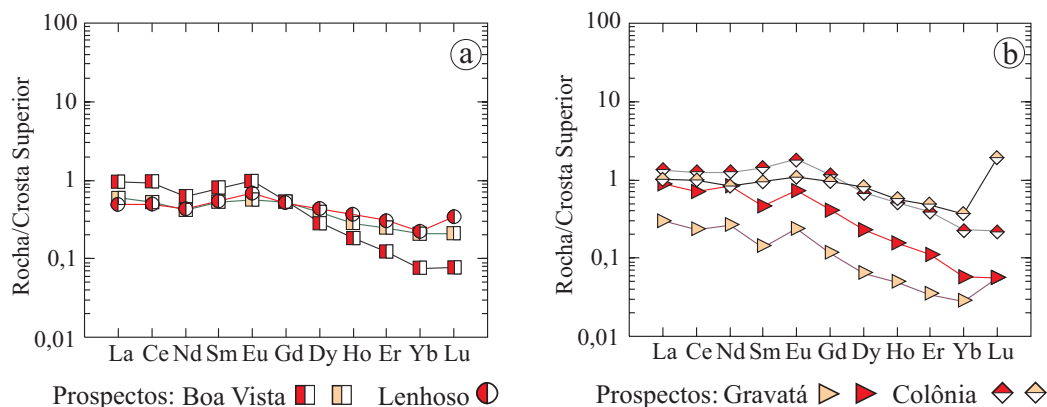


Figura 4.4-5. Diagramas que ilustram o padrão de distribuição dos elementos terras raras (normalizados pela Crosta Superior) para as rochas gnáissicas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso (a) e Gravata e Colônia (b).

4.4.4. Relação entre elementos imóveis e incompatíveis

Como nos demais tipos petrográficos, as relações entre Zr e Y, TiO_2 e Al_2O_3 também foram verificadas para as rochas gnáissicas.

Essas relações, entretanto, evidenciam no geral tênue a ausente correlação, como ilustrado na Figura 4.4-6. Assim, na relação Zr-Y são definidos dois *trends* incipientes, enquanto para Zr- TiO_2 é possível se definir três *trends*, embora também tenuamente marcados.

Já na relação Zr- Al_2O_3 , os litotipos analisados apresentam-se com teores praticamente constantes do óxido considerado, marcando um padrão praticamente linear definido pelos distintos teores de Zr.

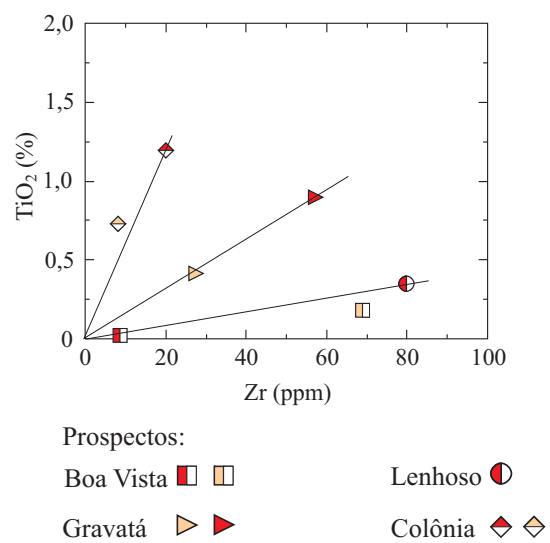
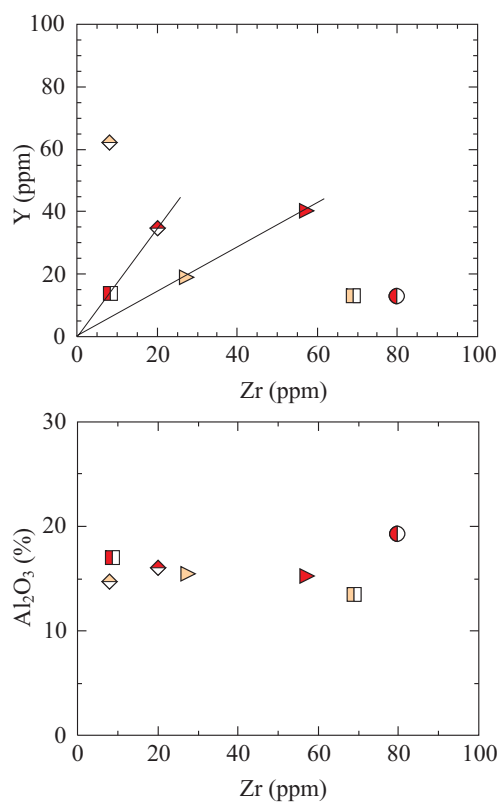


Figura 4.4-6. Diagramas que ilustram as relações entre elementos incompatíveis e imóveis das rochas gnáissicas.

4.4.5. Ambiência geotectônica

A composição das rochas gnáissicas analisadas as define como constituintes da série magmática cálcio-alcálica, constatada pela análise do diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971), ilustrado na Figura 4.4-7a, enquanto no diagrama de alcalinidade, desses mesmos autores, parte das amostras evidencia caráter alcalino, predominando, entretanto, aquelas com características subalcalinas (Fig. 4.4-7b).

Quanto ao ambiente geotectônico, por meio da utilização de diagramas discriminantes de Pearce *et al.* (1984), que de acordo com Föster *et al.* (1997) são os mais utilizados, constata-se para as rochas portadoras de Nb, que a relação Y-Nb (Fig. 4.4-8a) os posiciona no campo dos granitos de arco vulcânico + granitos sincolisionais, enquanto que no diagrama Y+Nb-Rb (Fig. 4.4-8b), que apresenta campos definidos para esses dois ambientes, as amostras ocupam o campo dos granitos de arco vulcânico e secundariamente os campos de granitos sincolisionais e intraplaca. Segundo Pearce (1996) esses diagramas refletem a fonte dos granitos e dos diferentes processos que atuam nessas fontes.

O diagrama R1/R2 (Batchelor & Bowden, 1985), apresentado na Figura 4.4-9, ilustra para as rochas classificadas quimicamente como ortoderivadas que as mesmas apresentam características pré e sincolisionais, embora ocorram amostras em campos distintos, inclusive fora das áreas pré-determinadas.

A análise dos dados no diagrama Sr-Rb (Condie, 1973) indica espessura da crosta entre 20 e 30 km a predominantemente maior que 30 km, como ilustrado na Figura 4.4-10.

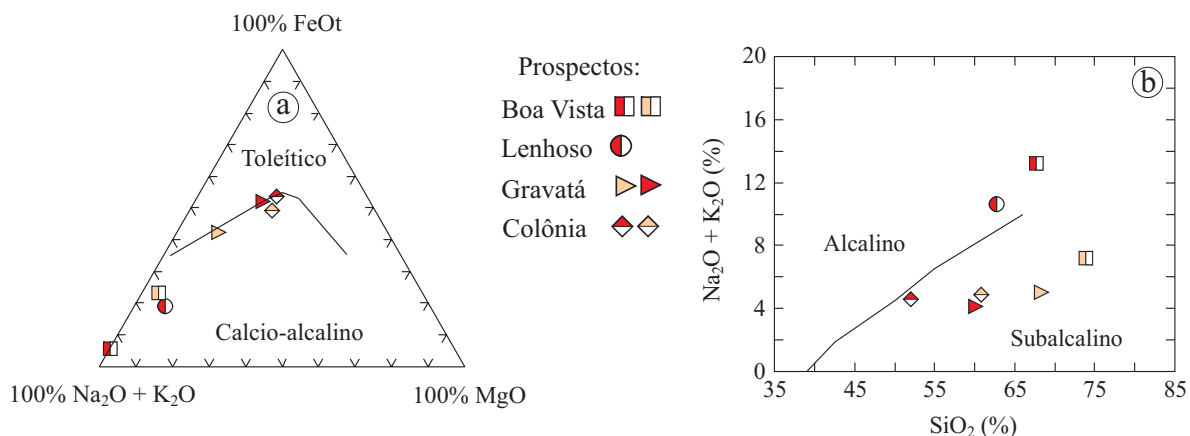


Figura 4.4-7. Diagramas classificatórios para granitóides (Irvine & Baragar, 1971). (a) Diagrama AFM, onde as rochas gnáissicas apresentam características cálcio-alcálicas, e (b) diagrama de alcalinidade, ilustrando que os litotipos são predominantemente subalcalinas.

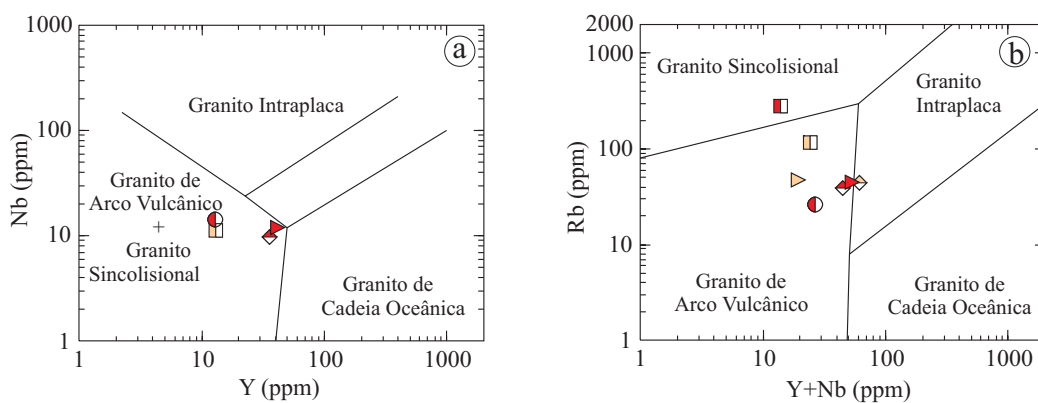


Figura 4.4-8. Diagramas de interpretação tectônica (Pearce *et al.*, 1984) ilustrando que as rochas gnáissicas se posicionam nos campos dos (a) granitos de arco vulcânico + granitos sincolisionais e (b) granitos de arco vulcânico a localmente granitos sincolisionais e ainda intraplaca. (legenda Figura 4.4-7).

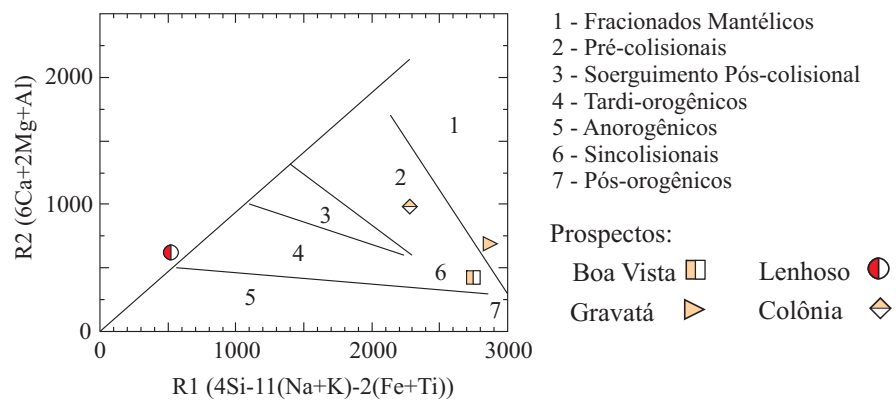


Figura 4.4-9. Diagrama geotectônico de Batchelor & Bowden (1985), ilustrando o posicionamento de rochas ortoderivadas.

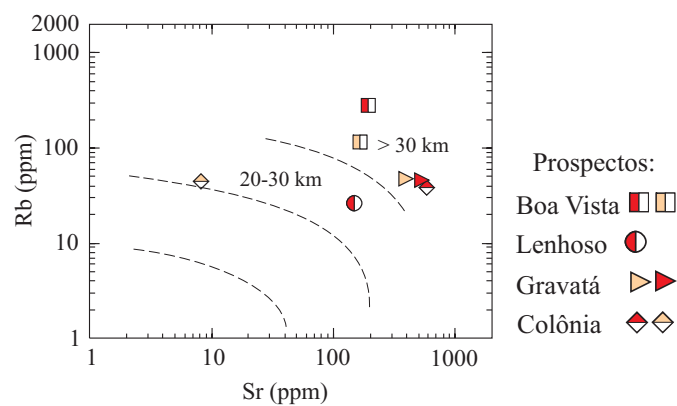


Figura 4.4-10. Diagrama Sr-Rb indicando espessura da crosta (Condie, 1973) para as rochas gnáissicas estudadas.

4.5. SÍNTESE DA ANÁLISE DOS PADRÕES GEOQUÍMICOS

As rochas consideradas como **metassedimentos** pertencentes ao Grupo Araxá/Canastra, que podem representar, pelo menos em parte o produto de ação hidrotermal, exibem quimismo que sugere cogeneticidade entre essas, marcado por *trends* relativamente regulares tanto nos diagramas de Harker como nas relações entre elementos incompatíveis e imóveis.

Dentre os elementos traços destacam-se principalmente os teores de B, Cr, Ni, S e Ba, sugerindo que durante o processo hidrotermal os fluidos interagiram com rochas de composição ácida e básica. As formações ferríferas estudadas, embora pouco representativas, situam-se no campo de depósitos hidrotermais, de acordo com a relação $Co+Cu+Ni-\Sigma ETR$ (Klein & Beukes, 1992, não ilustrado).

No geral essas rochas são marcadas por enriquecimentos de ETRL, com fracionamento principalmente destes sobre os ETRP, e ainda por anomalias positivas de Eu, que embora pontuais, mostram-se marcantes em muscovita/sericita-granada xisto grafitoso, muscovita/sericita-quartzo xisto, formação ferrífera e parafibrolito. Esses padrões devem refletir a composição mineralógica das rochas analisadas.

Dentre os conjuntos de rochas **metavulcânicas/plutônicas** analisadas, distingue-se termos petrográficos de filiação tanto básica como ultrabásica, representados por peridotitos e basaltos komatiíticos, com quimismo próximo ao definido para basaltos de fundo oceânico.

Esse grupo litológico, considerado como representante de um complexo ofiolítico, exhibe características químicas condizentes principalmente com cumulos máficos e ultramáficos.

Os incipientes *trends* marcados nos diagramas de Harker, associados às relações entre elementos incompatíveis e imóveis, embora sugiram cogeneticidade entre algumas rochas, marcam mais eficientemente a origem a partir de distintos protólitos, e em concordância com a caracterização petrográfica, devem prover de piroxenitos e dunitos.

Os elementos traços mais expressivos nesses litotipos são Cr e Ni, seguidos pelos teores de B, Ba e Zn, considerados normais, à exceção de B, que deve prover da ação hidrotermal.

Essas rochas exibem enriquecimento dos ETRL, fracionamento tanto dos ETRL como dos ETRP e anomalias positivas de Eu, destacando-se, aquelas marcadas em actinolita/tremolita xistos, clorita xistos, embora sejam registradas várias anomalias negativas, dentre as quais a mais pronunciada é registrada em antofilita xisto.

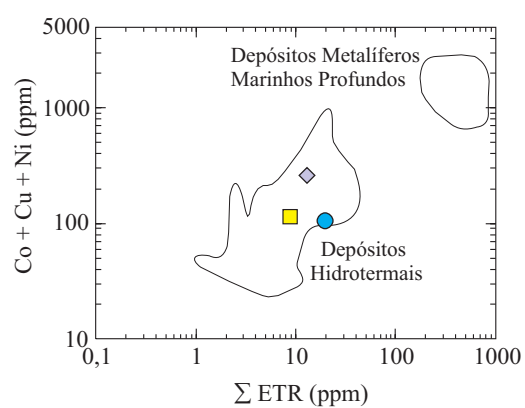
Os protólitos das rochas **gnáissicas** ora analisadas têm origem tanto ígnea como sedimentar, onde o desenvolvimento de tênues *trends* nos diagramas de Harker e a incipiente a ausente correlação entre elementos incompatíveis e imóveis atestam a referida distinção da derivação.

Essas são caracterizadas como pertencentes à série magmática cálcio-alcálica, evidenciando caráter predominantemente subalcalino, com padrão litoquímico condizente com granitos de arco vulcânico ou granitos sincolisionais, corroborando com as observações de campo da associação de parte dessas às zonas de cisalhamento, os quais devem ter sido alojados a profundidades superiores a 20 km.

Os elementos traços que apresentam teores mais robustos são S, Cr, B, Ba e Sr. Também neste grupo de rochas admite-se a influência de ação hidrotermal e/ou metassomática, propiciando o enriquecimento nos referidos elementos, com exceção de Sr, que deve ser representante dos processos de diferenciação superimpostos às rochas.

É registrado para todo o conjunto enriquecimento de ETRL, com fracionamento tanto dos ETRL como ETRP, além de anomalias positivas e principalmente negativas de Eu.

A análise conjunta dos dados evidenciam que as diversas rochas analisadas foram originadas de fontes ou protólitos distintos, e que as transformações metamórficas/metassomáticas e hidrotermais modificaram em graus variáveis a composição química, tanto dos elementos maiores como menores, traços e terras raras. Essas modificações devem ter se processado de acordo com as variações das condições físico-químicas (ambiente de P e T, composição das fases fluidas, pH, Eh, etc.) e reações mineralógicas.



Prospectos:

Boa Vista

Lenhoso

Colônia

Figura 4.5-1. Diagrama $\Sigma\text{ETR} - \text{Co}+\text{Cu}+\text{Ni}$ (Klein & Beukes, 1992) aplicado para a determinação da fonte do ferro e sílica das formações ferríferas estudadas.

5. CONTROLES E PROCESSOS ASSOCIADOS A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA PRIMÁRIA

As concentrações auríferas primárias associadas a Faixa Metavulcano-Sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha apresentam um marcante condicionamento estrutural e litológico, como exposto no capítulo 3.

Neste sentido, o presente capítulo aborda com maior detalhe a definição dos referidos controles, bem como também apresenta os processos condicionantes que propiciaram as mineralizações.

5.1. CONTROLE ESTRUTURAL

Objetivando-se a definição do controle estrutural superimposto às concentrações auríferas primárias, são considerados dados relativos a trabalhos de prospecção geoquímica associados às observações obtidas durante o desenvolvimento do presente trabalho.

A referida campanha prospectiva foi desenvolvida nas áreas de estudo pela empresa B.P. Mineração no final da década de 80, e os dados relativos a esta, que constam da quantificação de pintas de ouro em sedimentos de corrente, terraços aluvionares e solos, são reinterpretados e utilizados na caracterização geométrica/espacial das ocorrências auríferas.

A avaliação das principais bacias de drenagem entre a região de Jacuí, Bom Jesus da Penha e Petúnia, permite o reconhecimento de zonas auríferas anômalas detectadas em sedimentos ativos (Fig. 5.1-1). Embora a dinâmica fluvial propicie a dispersão das concentrações auríferas primárias, é possível o reconhecimento do padrão de orientação regional dessas, com direções variando de E-W a próximas de NE-SW na região de Jacuí e NW-SE a NE-SW nas proximidades de Bom Jesus da Penha.

Cabe ressaltar, entretanto, que o presente trabalho não aborda as zonas anômalas definidas a oeste de Jacuí (pesquisa autorizada somente a leste da referida cidade e na região de Bom Jesus da Penha).

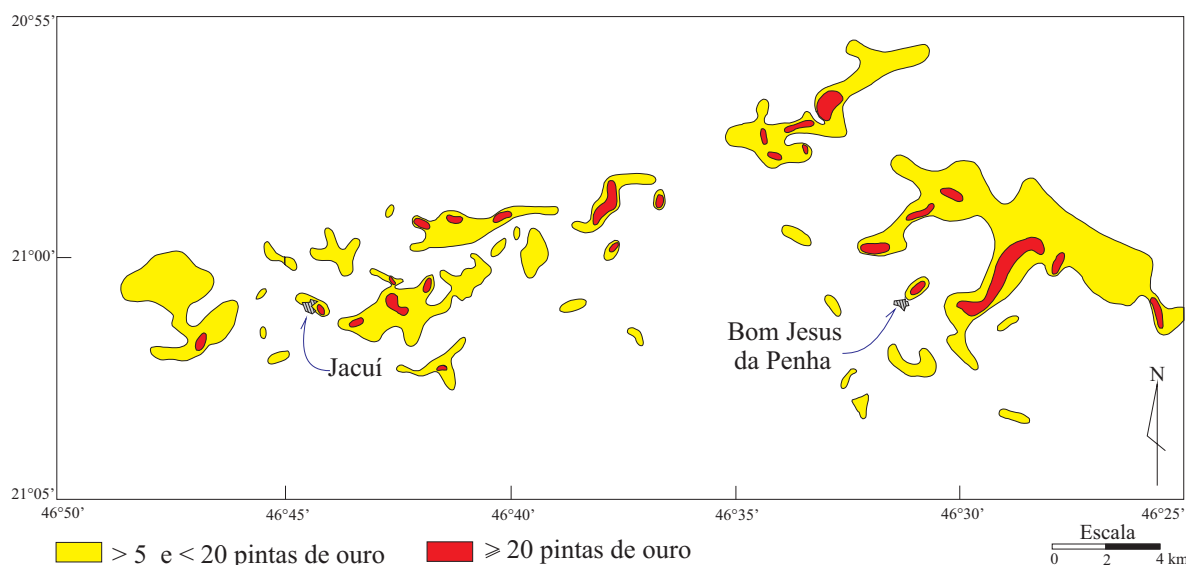


Figura 5.1-1. Mapa de anomalias auríferas (pintas de ouro) detectadas em sedimentos de corrente entre as regiões de Jacuí e Bom Jesus da Penha.

O estudo de terraços aluvionares das principais sub-bacias da região portadora de anomalias auríferas, delimitada na figura supracitada, confirma a marcante orientação ENE-WSW e NW-SE, respectivamente nas proximidades dos municípios de Jacuí e Bom Jesus da Penha (Fig. 5.1-2).

Por meio dos trabalhos prospectivos de detalhe desenvolvidos em solos é possível delinear a geometria das concentrações auríferas primárias para cada prospecto.

O **Prospecto Boa Vista**, conforme ilustrado em mapa de isovalores de pintas de ouro (Fig. 5.1-3), é marcado por um padrão de distribuição das zonas anômalas orientadas na direção ENE-WSW, concordantes com a direção da Zona de Cisalhamento Riacho Fundo. São definidas ainda zonas anômalas com tendência de orientação NNW-SSE, coincidentes com a orientação de falhamentos secundários que ocorrem na área (ver mapa geológico – Fig. 3.1-1 – pág. 17).

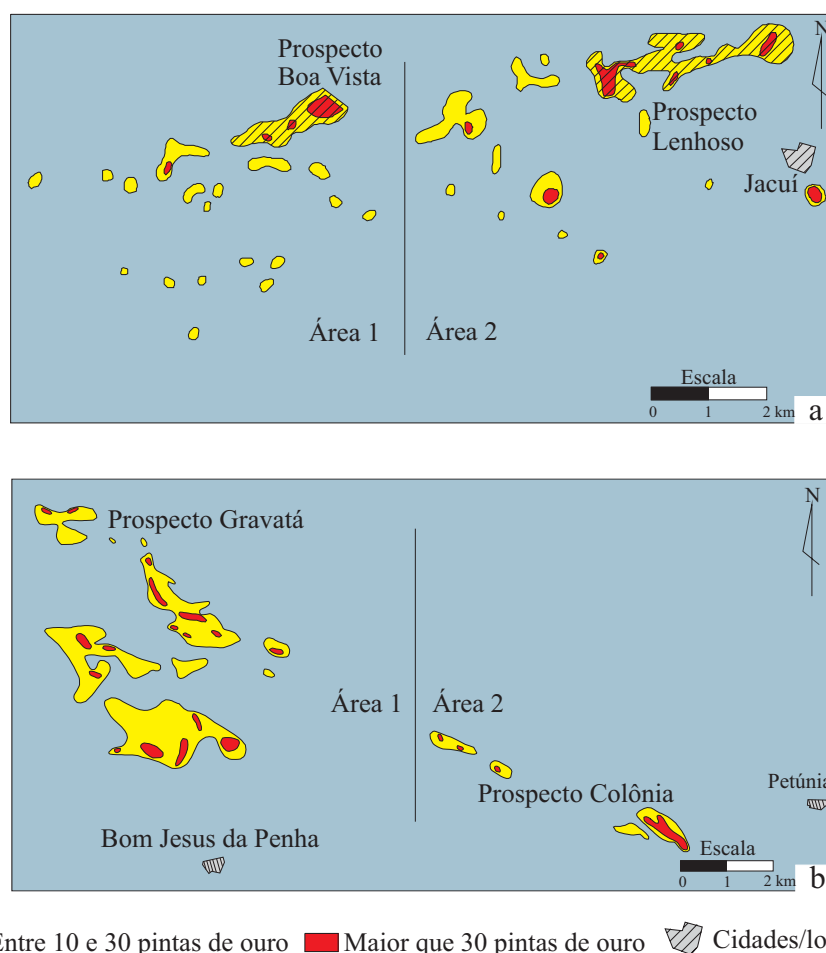


Figura 5.1-2. Mapas de anomalias auríferas (pintas de ouro) verificadas em terraços aluvionares na região de (a) Jacuí que delimitam os prospectos estudados (zonas anômalas hachuradas) e (b) entre Bom Jesus da Penha e Petúnia, onde os prospectos são delimitados pelas zonas anômalas presentes.

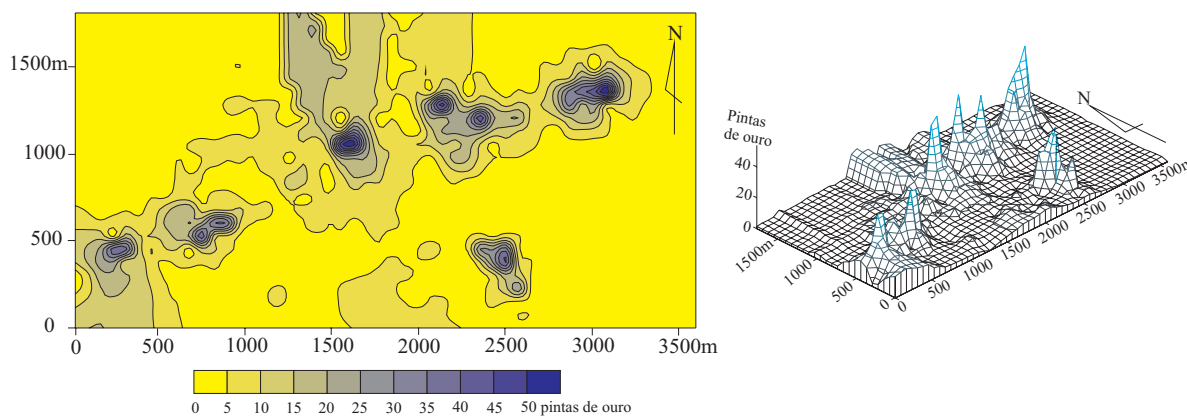


Figura 5.1-3. Mapa de isolinhas e representação tridimensional das anomalias de pintas de ouro em solo na área do Prospecto Boa Vista, mostrando uma forte orientação das anomalias na direção ENE-WSW.

Desta forma constata-se que as anomalias auríferas deste prospecto são controladas tectonicamente pela zona de cisalhamento e subordinadamente por seus falhamentos subsidiários.

A distribuição espacial das concentrações auríferas do **Prospecto Lenhoso** é ilustrada na Figura 5.1-4, onde se observa que as principais anomalias apresentam orientação geral ENE-WSW, mostrando-se, portanto, concordantes com a direção da principal estrutura observada na região (Zona de Cisalhamento Riacho Fundo). Como no prospecto anteriormente caracterizado, neste também são observadas dispersões das zonas anômalas com orientação normal a referida estrutura.

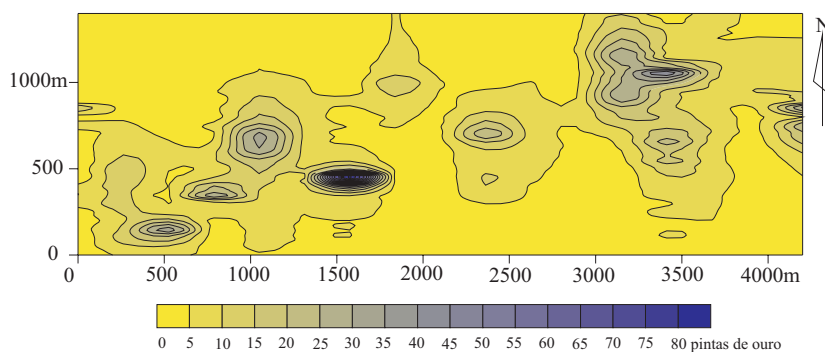


Figura 5.1-4. Mapa de isolinhas de pintas de ouro em solos que ocorrem no Prospecto Lenhoso, evidenciando duas concentrações maiores na área.

Assim, a Figura 5.1-5 ilustra com maior detalhe que as anomalias observadas nesse prospecto são controladas tectonicamente tanto pela zona de cisalhamento como também pelos falhamentos secundários presentes nesta área (ver mapa geológico – Fig. 3.1-3 – pág. 22).

Observa-se que na região oeste da área (Fig. 5.1-5a), as principais anomalias tendem à direção E-W, enquanto as concentrações secundárias distribuem-se preferencialmente na direção N-S. Já na região leste (Fig. 5.1-5b), as anomalias apresentam a mesma orientação, ocorrendo, porém também concentrações com tendência de orientação

N-S, sendo que o refinamento dos dados utilizados, confirma marcadamente essa orientação (Fig. 5.1-5c).

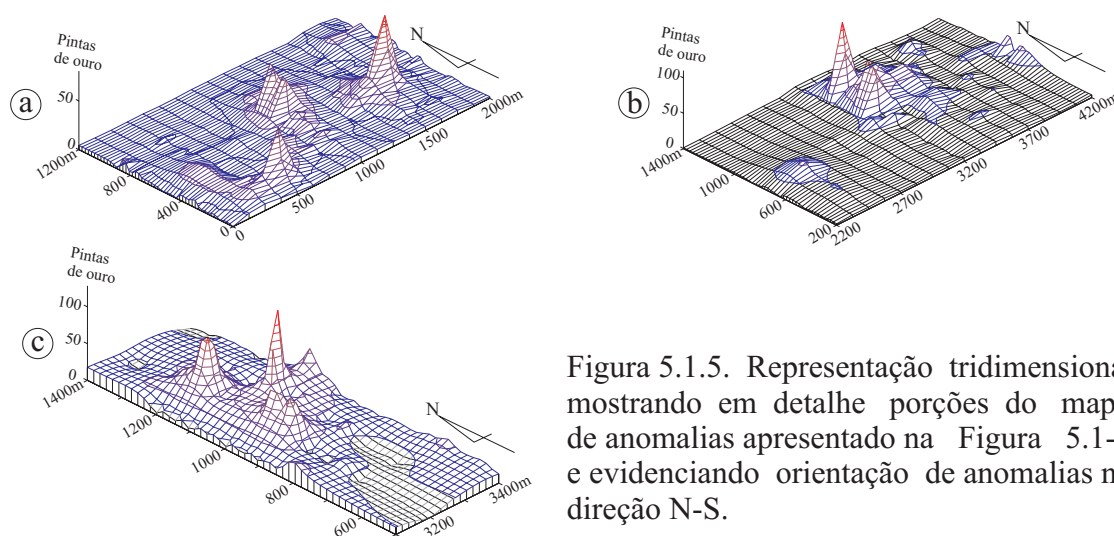


Figura 5.1.5. Representação tridimensional mostrando em detalhe porções do mapa de anomalias apresentado na Figura 5.1-4 e evidenciando orientação de anomalias na direção N-S.

Para o **Prospecto Gravatá** é definida uma disposição geral das anomalias na direção NW-SE, com dispersão das principais zonas marcada na direção NE-SW (Fig 5.1-6). Desta forma, são caracterizadas concentrações dispostas tanto paralela quanto perpendicularmente à Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha, que ocorre a sudoeste da área pesquisada, sendo, porém mais representativas estas últimas.

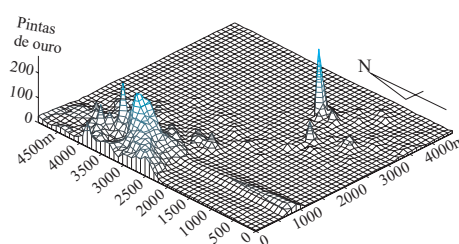
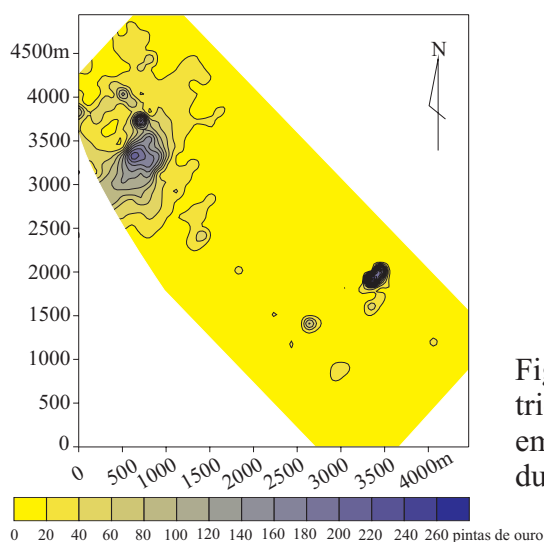


Figura 5.1-6. Mapa de isolinhas e representação tridimensional das anomalias de pintas de ouro em solo na área do Prospecto Gravatá, ilustrando duas zonas anômalas principais.

No **Prospecto Colônia** são registradas zonas auríferas anômalas com tendência geral de orientação NW-SE, coincidente com a Zona de Cisalhamento Mumbuca, havendo também concentrações dispersas orientadas na direção NNE-SSW (Fig. 5.1-7).

Ressalta-se que embora registrada a ocorrência de concentrações com orientação normal às zonas de cisalhamento que afetam as unidades litológicas nesses dois últimos

prospectos, durante os trabalhos de campo foram reconhecidas poucas feições condizentes com a geração de estruturas secundárias. Entretanto, como apresentado no capítulo 3.3., regionalmente há o amplo desenvolvimento de falhas e/ou fraturas que ostentam orientação NE-SW, muitas delas com inflexões condizentes com o padrão de orientação constatado junto às concentrações auríferas.

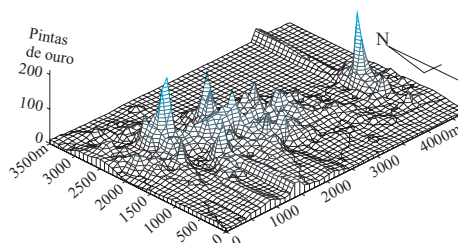
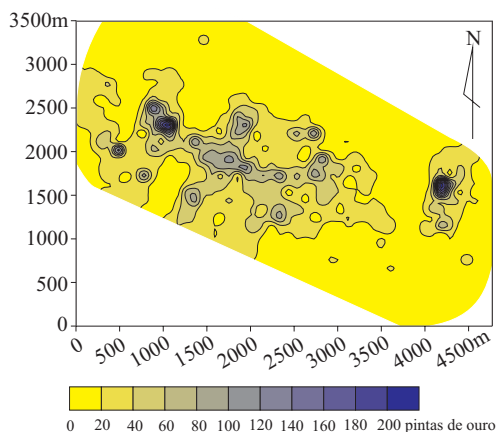


Figura 5.1-7. Mapa de isolinhas e representação tridimensional das anomalias de pintas de ouro em solo na área do Prospecto Colônia, ilustrando duas zonas anômalas principais.

5.2. CONTROLE LITOLÓGICO

As mineralizações auríferas, previamente definidas para os prospectos estudados através de anomalias em solo, são marcadas essencialmente por ocorrências de baixo teor de ouro.

A partir de dosagens de ouro em testemunhos de sondagem, constata-se que no **Prospecto Boa Vista** os teores situam-se próximos a 1 ppm, sendo que no **Prospecto Gravatá** os melhores teores registrados aproximam-se de 0,5 ppm, enquanto no **Prospecto Colônia** são verificados os teores mais expressivos na região estudada, atingindo teores próximo a 1,6 ppm (Figs. 5.2-1 a 5.2-3). Em relação ao **Prospecto Lenhoso** esses teores, constatados em testemunhos de sondagem são menores ainda, sempre inferiores ao limite de detecção (em ppm).

Através das figuras supracitadas é possível observar a distribuição dos teores de ouro em relação aos distintos tipos petrográficos que ocorrem na área dos prospectos Boa Vista, Gravatá e Colônia.

No Prospecto Boa Vista as rochas gnáissicas, tanto orto quanto paraderivadas, são as que apresentam os melhores teores, normalmente em zonas de contato com outros litotipos (Fig. 5.2-1 – Furos de sondagem F4 e F5).

Já no Prospecto Gravatá destacam-se muscovita/sericita-quartzo xistos e muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos (Fig. 5.2-2), sendo observado no Prospecto Colônia teores expressivos associados a lentes de paragnaisses (Fig. 5.2-3 – Furos de sondagem F1 e F2), xistos calcissilicáticos, antofilita xistos e muscovita/sericita-quartzo xistos (Fig. 5.2-3 – Furo de sondagem F3).

Embora não representado nas referidas figuras devido à escala de apresentação, há ampla ocorrência de vênulas e veios quartzosos nessas rochas, embora localmente onde

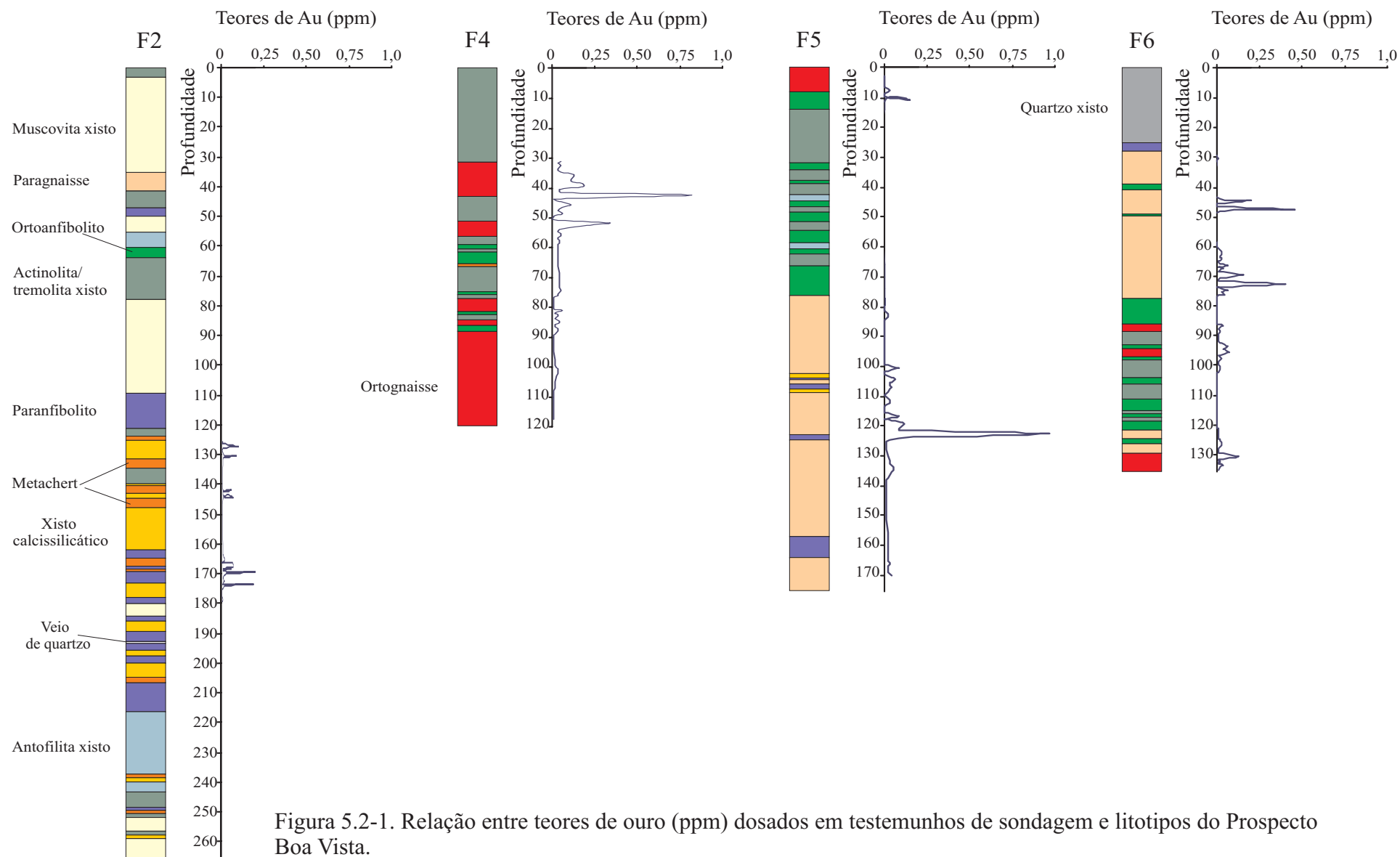


Figura 5.2-1. Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos do Prospecto Boa Vista.

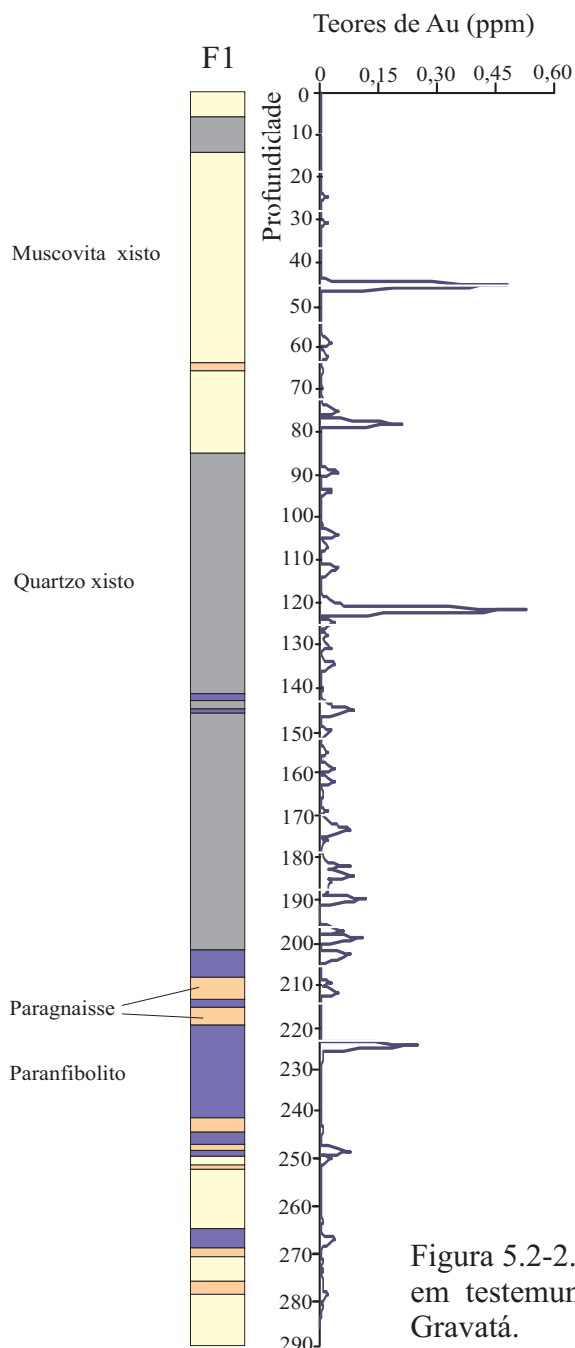


Figura 5.2-2. Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos do Prospecto Gravatá.

haja maior expressão de veios (Fig. 5.2-3 – Furo de sondagem F4) tenham sido registrados teores de ouro extremamente baixos.

Desta forma constata-se que a mineralização primária apresenta condicionamento litológico principalmente por rochas metassedimentares e/ou hidrotermais (muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos, metachertes e secundariamente formações ferríferas) e rochas gnáissicas.

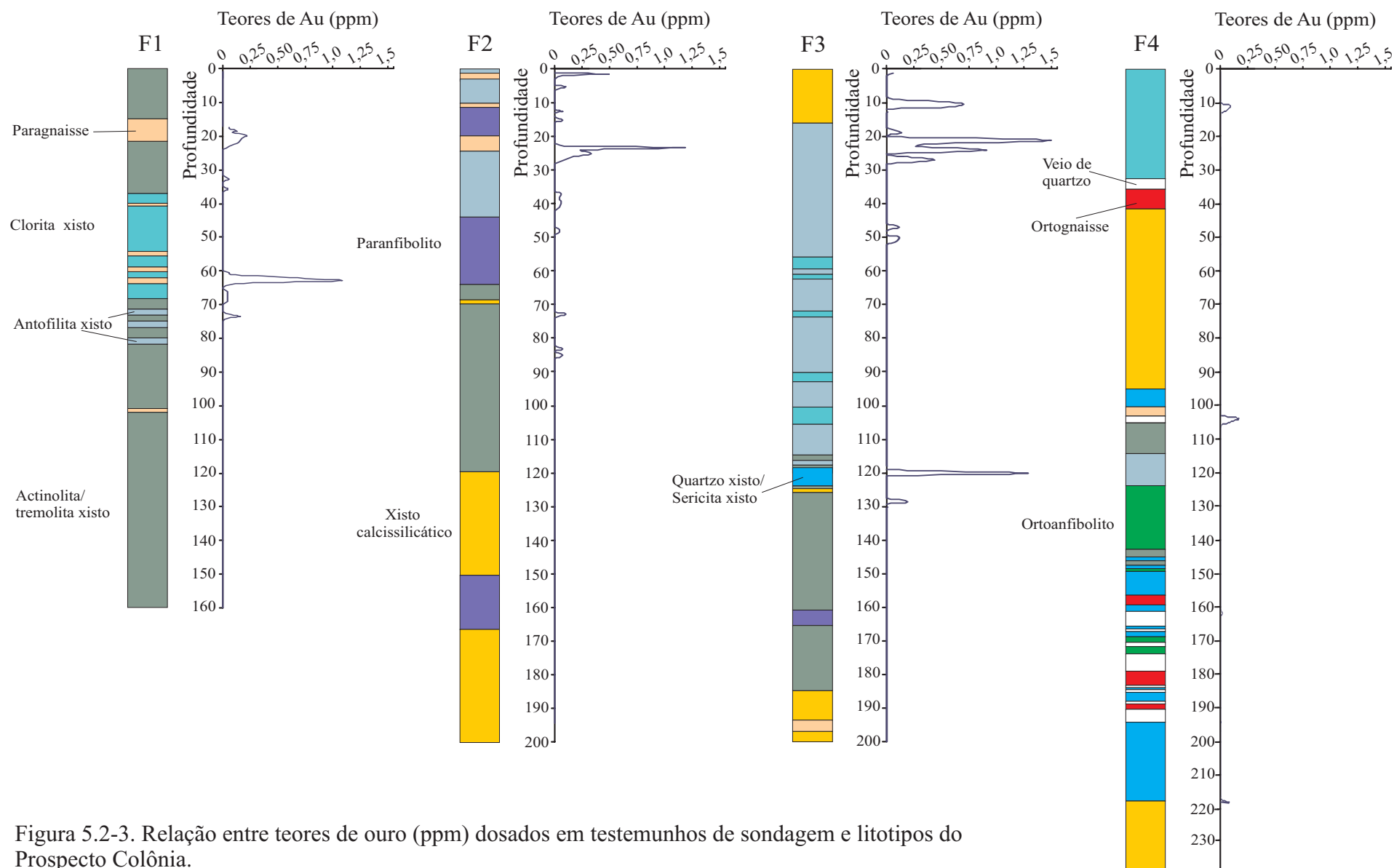


Figura 5.2-3. Relação entre teores de ouro (ppm) dosados em testemunhos de sondagem e litotipos do Prospecto Colônia.

5.3. METAMORFISMO E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

A seguir serão apresentadas as principais feições metamórficas e hidrotermais associadas diretamente a mineralização aurífera. Essa abordagem apresentada em conjunto reflete o estilo da mineralização, que é produto da interação entre as alterações hidrotermais decorrentes do evento metamórfico local.

Desta forma, considera-se como processo metamórfico-hidrotermal aquele que envolve substituições mineralógicas geradas pela interação fluido-rocha (hidrotermalismo) associado a pressões e temperaturas elevadas (metamorfismo dinâmico). Esse processo na área pesquisada atua em larga escala e promove alterações em diferentes tipos petrográficos que são balizados pelas zonas de cisalhamento e falhas/fraturas referidas no item 5.1.

Essas transformações mineralógicas quando ocorridas em zonas de cisalhamento dúcteis, englobam características tanto metamórficas quanto hidrotermais, sendo sua distinção dificultada tanto em estudos de campo como laboratoriais. Assim, a caracterização a seguir considera não somente a alteração hidrotermal como também o metamorfismo de fácies anfibolito a que foram submetidas as rochas ora estudadas.

As observações de feições relacionadas ao processo metamórfico-hidrotermal foram buscadas tanto na caracterização geológica em campo como em laboratório, principalmente por meio de análises petrográficas convencionais, as quais foram complementadas por estudos em microscopia e microsonda eletrônica.

Entre as principais evidências macroscópicas de atuação de processos hidrotermais, destaca-se a silicificação, caracterizada pela presença veios de quartzo, que embora ocorram hospedados praticamente em todos os tipos petrográficos presentes nos prospectos estudados, predominam principalmente nos muscovita/sericita-quartzo xistos e secundariamente em rochas gnáissicas. Por constituírem o produto das feições hidrotermais mais marcantes, os veios de quartzo serão caracterizados detalhadamente no próximo subitem.

Nas rochas que ocorrem no **Prospecto Boa Vista** são constatados que os processos metamórfico-hidrotermais propiciaram alterações pouco pervasivas de sulfetação, além de alterações não pervasivas de carbonatação, fosfatação, turmalinização e sericitização/muscovitização, as quais se associam a mineralização aurífera.

Sulfetos ocorrem predominantemente em rochas metassedimentares, principalmente em muscovita/sericita quartzo xistos e formações ferríferas.

O desenvolvimento de turmalinas restringe-se a metachertes e muscovita/sericita-quartzo xistos, enquanto que sericitas e muscovitas hidrotermais associadas a óxidos são caracterizadas dispostas ao longo de microfraturas, também comuns a esse tipo litológico. Localmente é constatada a ocorrência de barita em formações ferríferas, sendo que a geração de carbonatos foi verificada principalmente nos xistos quartzosos.

Ocorrem ainda fosfatos, principalmente monazita, associadas a diversos tipos petrográficos da área, inclusive metabasitos/ultrabasitos, constituindo clara evidência da atuação de processos hidrotermais nas rochas dessa região.

Hidrotermalitos ricos em cromita, que se apresentam mineralizados, são produtos de alteração hidrotermal de rocha de composição básica/ultrabásica.

A mineralização aurífera neste prospecto é caracterizada em muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos, metachertes, formações ferríferas hidrotermais e orto e paragneisses, e ocorre associada à assembléia mineral supracitada, condizente assim com uma origem metamórfico-hidrotermal.

No **Prospecto Lenhoso**, além da silicificação, constituem feições macroscópicas marcantes de alteração hidrotermal os processos de muscovitização, caracterizados localmente em rochas gnáissicas ortoderivadas.

Nessa área, durante os trabalhos petrográficos foram caracterizadas alterações metamórfico-hidrotermais que variam de pervasivas a mais comumente não pervasivas, e constam de sulfetação, sericitização/muscovitização, turmalinização, fosfatação e carbonatação, que se associam à mineralização local, além ainda de cloritização, epidotização, talcificação e amiantização.

Nos xistos de origem básica/ultrabásica ocorrem talcificação e mais raramente amiantização, que podem estar relacionados a hidrotermalismo, principalmente quando constatada a geração desses minerais em microfraturas/falhas.

Em talco xistos ocorrem cristais de biotita e flogopita, sendo que a geração desses requer entrada de potássio no sistema, o que possivelmente foi propiciado pela colocação de ortogneisses, que representam mobilizados, e devem ter alterado hidrotermalmente parte das rochas metavulcânicas/plutônicas. Os clorita xistos são as rochas metabásicas que junto a metassedimentos quartzosos apresentam a maior quantia de sulfetos.

Sericitização e muscovitização predominam associados à silicificação, caracterizando veios de quartzo micáceos.

Em gnaisses miloníticos, desenvolve-se cloritização, com geração de cristais desse mineral essencialmente no interior de microcisalhamentos, sendo comum ainda a ocorrência de epidotos e de sulfetos nessas microestruturas. Nos gnaisses tonalíticos observa-se a atuação pervasiva de epidotização, chegando a corresponder a aproximadamente 20% de rocha, onde os cristais de epidoto ocorrem essencialmente em planos de microfraturas e microfalhas.

São caracterizados ainda fosfatos, que embora ocorram em vários termos petrográficos, predominam em rochas metassedimentares mineralizadas, além de localmente serem observados sulfatos em ortogneisses e carbonatos em muscovita/sericita-quartzo xistos.

Como no prospecto supracitado, a mineralização nessa área é caracterizada em muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos e metachertes.

No **Prospecto Gravatá** são raras as feições macroscópicas relacionadas a hidrotermalismo, sendo reconhecidas principalmente através dos estudos petrográficos. Assim, são caracterizadas alterações metamórfico-hidrotermais pouco pervasivas do tipo sulfetação, sericitização, fosfatação, carbonatação e epidotização, além de alterações não

pervasivas que constam de sulfatação, e que constituem os processos associados à mineralização nesse prospecto, ocorrendo ainda amiantização e talcificação.

Nos xistos de origem básica/ultrabásica, além de amiantização e mais raramente talcificação, caracterizadas pela ocorrência de minerais principalmente associados a microfraturas, ocorrem ainda sulfetos e localmente carbonatos, sendo que estes últimos pontualmente constituem faixa monominerálica em antofilita xistos. Os sulfetos associados a estas rochas são predominantemente piritas e ocorrem com granulação essencialmente fina, dispersos em meio à matriz anfibolítica.

O processo de sulfatação, como nas áreas já referenciadas, é melhor caracterizado em rochas metassedimentares, principalmente muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos e metachertes.

A sericitização é constatada pela ocorrência de finas palhetas subédricas de sericita em venulação paralela a subparalela à foliação principal em rochas quartzíticas, além ainda da ocorrência desse mineral junto a veios de quartzo. Epidotização é caracterizada marcadamente em rochas gnáissicas e ainda tenuamente em muscovita/sericita-quartzo xistos.

A ocorrência de fosfatos, amplamente marcada em várias rochas nos demais prospectos, restringe-se nessa área a muscovita/sericita-quartzo xistos, metachertes e gnaisses, nos quais desenvolvem-se cristais essencialmente finos, enquanto a sulfatação, embora de forma muito restrita, é marcada nesse último litotipo.

No prospecto em questão a mineralização também é caracterizada em muscovita/sericita-quartzo xistos, muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos, quartzitos e metachertes.

Com exceção da silicificação, as evidências macroscópicas de hidrotermalismo nas rochas do **Prospecto Colônia** também são tênues a ausentes, sendo registrada apenas microscopicamente ocorrência de feições diagnósticas, que constam de alterações metamórfico-hidrotermais pouco a não pervasivas e apenas localmente pervasivas.

Desta forma, são reconhecidos processos de sulfatação, cloritização, turmalinização, carbonatação e epidotização. Além desses, aos quais associa-se a mineralização local, são ainda diagnosticadas feições de talcificação.

Nas rochas básicas, além do desenvolvimento local de cristais de talco em microfraturas, é observada ainda a ocorrência de sulfetos e pontualmente fosfatos e material carbonático. Constituindo uma diversidade de minerais, ocorrem ainda sulfetos em muscovita/sericita-quartzo xistos e rochas gnáissicas.

O desenvolvimento de cristais de turmalinas restringe-se a muscovita/sericita-quartzo xistos, as quais formam cristais prismáticos, de granulação média a grossa e que ocorrem intimamente associados à foliação principal da rocha. Nessas rochas é comum ainda a ocorrência de fosfatos eminentemente finos. Localmente é constatada a ocorrência de cristais de escapolita em xistos calcissilicáticos.

Carbonatação é constatada localmente em biotita gnaisses, nos quais há geração de carbonatos de terras raras. Em hornblenda gnaisses são reconhecidos processos de

cloritização (com geração de clorita rica em ferro) e epidotização, freqüentemente associados a microfraturas.

A mineralização aurífera no presente prospecto, além de condicionada litologicamente aos metassedimentos, principalmente os muscovita/sericita-quartzo xistos e secundariamente xistos calcissilicáticos, ocorre ainda em hornblenda gnaisses.

5.3.1. Veios de Quartzo

Representantes do intenso processo metamórfico-hidrotermal atuante na região estudada, os veios de quartzo são caracterizados a seguir quanto a seus aspectos de ocorrência e constituição mineralógica, verificados através de observações de campo e estudos refinados de análise petrográfica convencional e de microscopia eletrônica de varredura.

No **Prospecto Boa Vista** ocorrem vênulas e veios quartzosos, de dimensões milimétricas a métricas, chegando a localmente atingir até 5 metros de comprimento, com espessura média de 10-15 cm, e que ostentam formatos variados, predominando, porém as formas lenticulares. Esses veios ocorrem hospedados predominantemente em muscovita/sericita-quartzo xistos, muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e gnaisses, tendo ainda ocorrência subordinada em rochas básicas/ultrabásicas.

São constituídos por cristais de quartzo leitoso, branco e raramente hialino, por vezes com pequenas quantias de óxidos de Mn e/ou de Fe associados, ou ainda com pequena proporção de muscovita/sericita, quando dispostos em rochas ricas nesses minerais. Localmente ocorrem veios com bordas cisalhadas, deslocados por falhas e com desenvolvimento de fraturas perpendiculares ao cisalhamento, representando deformação rúptil, sendo ainda comum deformação dúctil, caracterizada por ondulações e pequenas dobras em S.

Microscopicamente é observada a ocorrência de sulfetos, predominantemente sob a forma de arsenopirita, de granulação fina a muito fina e freqüentemente anédricos, além de platenerita/scrutinyita e ainda titanomagnetita, que também formam cristais de granulação essencialmente fina, os quais ocorrem disseminados em meio a matriz quartzosa, sendo apenas localmente caracterizados cristais de zircão.

Também é comum a associação de carbonatos a esses veios, sendo constatada localmente a ocorrência desses junto à assembléia constituída por esfalerita, calcopirita e goethita. Restritamente é observada a íntima associação entre carbonatos e hidróxidos de ferro, podendo sugerir uma composição ankerítica/siderítica para os mesmos. Esses minerais são anédricos a pontualmente euédricos e ocorrem sob a forma de grãos predominantemente finos.

De ocorrência comum também nos veios de quartzo, cristais de sericita formam finas palhetas que se distribuem heterogeneamente pela matriz.

Os veios caracterizados no **Prospecto Lenhoso** são essencialmente quartzosos, e apresenta-se com dimensões milimétricas a submétricas, freqüentemente com formas lenticulares a raramente tabulares e ainda boudinados a dobrados.

Como no Prospecto Boa Vista, esses também ocorrem predominantemente nas rochas metassedimentares, principalmente nos muscovita/sericita-quartzo xistos.

São freqüentemente constituídos por cristais de quartzo leitoso, e quando dispostos em muscovita/sericita-quartzo xistos, apresentam pequena proporção de cristais de muscovita/sericita, e localmente ocorrem ainda veios constituídos por cristais de quartzo hialino a fumê.

A caracterização petrográfica dos veios desse prospecto permitiu o reconhecimento de associações de minerais distintos. Assim, são registradas a ocorrência de pirita, arsenopirita, carbonatos, barita, platenerita/scrutinyita, cromita e goethita nos veios de quartzo leitosos e hialinos. A granulação desses é essencialmente fina, com exceção dos carbonatos, que se apresentam médios a grossos. É ainda observada a disposição de arsenopirita inclusa em carbonatos e de óxidos de chumbo em microfraturas, sendo localmente constatada a ocorrência de zircão.

Já os veios de quartzo fumê apresentam finos grãos de esfalerita, calcopirita, barita e cuprita/tenorita, além da ocorrência localizada de arsenopirita inclusa em carbonato, e ainda de platenerita/scrutinyita e goethita essencialmente em microfraturas, além de zincita e rutilo inclusos em grãos de quartzo.

Além desses minerais, ocorrem generalizadamente ainda minerais filossilicáticos, como já observados macroscopicamente.

Os veios que ocorrem no **Prospecto Gravatá** também são freqüentemente lenticulares, e embora ocorram em muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e rochas gnáissicas e básicas/ultrabásicas, predominam em muscovita/sericita-quartzo xistos. Nessa área são comuns vênulas e veios milimétricos a centimétricos, ocorrendo, entretanto, localmente veios de dimensões métricas, conforme ilustrado no mapa geológico (Fig. 3.1-5 – pág. 25).

Apresentam-se ondulados a levemente dobrados, fraturados, pontualmente com pequena proporção de minerais micáceos e com desenvolvimento de óxidos de ferro em planos fraturados.

A composição mineralógica desses veios consiste predominantemente de calcopirita, que se associa a esfalerita, zincita, barita, cuprita/tenorita e goethita, sendo ainda constatada localmente a ocorrência de ferro metálico. Esses minerais ostentam granulação fina a muito fina e ocorrem dispersos na matriz quartzosa dos veios, sendo que pontualmente sulfetos de zinco, sulfatos e hidróxidos dispõem-se ao longo de microfraturas, ocorrendo ainda de forma restrita grãos de titanomagnetita. Localmente essa assembléia mineral é caracterizada associada ainda, embora de forma muito restrita, a carbonatos e arsenopirita.

Dentre o conjunto de veios analisados, destacam-se os deste prospecto pelo registro da ocorrência de ouro livre, eminentemente incluso na matriz quartzosa.

No **Prospecto Colônia** os veios são constituídos por cristais de quartzo leitoso e principalmente hialino, localmente com proporções distintas de cristais de muscovitas. Ostentam formas lenticulares a raramente tabulares, alguns se apresentam fraturados, pouco a localmente muito cisalhados e pontualmente estriados, e ainda por vezes com óxidos de Mn.

Composicionalmente esses veios são constituídos por calcopirita e carbonatos, que constituem as fases secundárias melhor representadas, seguidas por pirita, arsenopirita, esfalerita, barita, anidrita, platenerita/scrutinyita, zincita, goethita e ainda rutilo, magnetita, titanomagnetita e zircão, que ocorrem apenas localmente.

Os constituintes dessa assembléia exibem granulação predominantemente fina, sendo, entretanto, os carbonatos representados por cristais normalmente mais desenvolvidos, os quais apresentam composições condizentes com cerussitas e dolomitas/sideritas e ocorrem essencialmente em microfraturas. Sulfato de cálcio, de ocorrência restrita, também se associa a microfraturas, ocorrendo o mesmo com os hidróxidos de ferro e localmente com pirita.

Nos veios deste prospecto também foi reconhecido e caracterizado ouro livre, formando grãos inclusos em cristais de quartzo.

5.4. ALTERAÇÃO SUPERGÊNICA

A alteração supergênica sobre a mineralização aurífera primária, constatada nos quatro prospectos estudados, é caracterizada eminentemente por processos de hidratação da assembléia mineral associada ao minério, gerando principalmente goethitas.

O processo de goethitização constitui uma alteração pervasiva e se apresenta amplamente desenvolvido na maioria dos tipos petrográficos aflorantes.

A geração de hidróxidos de ferro, observado nas rochas de todos os prospectos, ocorre principalmente em planos da foliação milonítica e em planos de cisalhamento, ao qual se associam diversas fases minerais, incluindo óxidos, sulfetos, carbonatos e fosfatos, entre outras pouco expressivas, sendo ainda relativamente comum a ocorrência de aurocuprita e ouro associado a níveis goethitizados.

Desta forma, em amostras superficiais a grande maioria dos sulfetos encontra-se parcial a muito alterados. Nesse sentido, a constatação da ocorrência de ouro e aurocuprita, associados a cuprita nos prospectos Boa Vista e Lenhoso, sugere a desestabilização possivelmente de calcocita e mais restritamente de outros sulfetos de Cu.

5.5. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES RELATIVAS A CONTROLES E PROCESSOS ASSOCIADOS A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA.

As ocorrências auríferas estudadas são controladas tectonicamente pelas zonas de cisalhamento Riacho Fundo, Bom Jesus da Penha e Mumbuca, desenvolvidas no interior do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio.

O referido condicionamento tectônico é confirmado pelos estudos prospectivos, principalmente aqueles desenvolvidos em solos, os quais denotam a influência de

estruturas secundárias, evidenciando aporte de ouro também em falhamentos oblíquos a normais às referida zonas de cisalhamento.

Embora as concentrações auríferas sejam marcadas por ocorrências de baixo teor, pontualmente chegam a atingir 1,6 ppm, destacando-se o Prospecto Colônia, que ostenta os melhores teores.

O condicionamento litológico da mineralização primária é evidenciado principalmente em rochas metassedimentares e/ou hidrotermais, rochas gnáissicas diversas e veios de quartzo.

O processo mineralizante está associado à ação metamórfico-hidrotermal, representado por um conjunto de alterações propiciadas pelo evento dínamo-termal local, caracterizadas principalmente por silicificação, além de sericitização/muscovitização, cloritização, sulfetação, carbonatação, fosfatação, turmalinização, *greisenização*, epidotização, sulfatação e mais restritamente amiantização e talcificação.

Veios e vênulas de quartzo foram caracterizados nos diversos tipos petrográficos, mas predominam em muscovita/sericita-quartzo xistos. Embora predominantemente quartzosos, esses são constituídos por uma ampla assembléia mineral, normalmente pouco desenvolvida, que consta de sulfetos, carbonatos, filossilicatos, sulfatos e óxidos.

A alteração supergênica da mineralização primária é marcada pela geração de hidróxidos e óxidos, principalmente goethita, cuprita e aurocuprita.

6. PARAGÊNESES DE MINÉRIO E MINERAIS ASSOCIADOS

Foram realizados estudos petrográficos e de química mineral em diversos minerais, principalmente opacos associados ou não a mineralização aurífera, destacando-se sulfetos, óxidos, fosfatos, carbonatos e filossilicatos, provenientes dos distintos tipos petrográficos dos quatro prospectos estudados, os quais são apresentados na Tabela 6.1 (apêndice 4).

As análises de química mineral foram realizadas tanto semiquantitativamente em microscópio eletrônico de varredura (MEV - com sistema dispersivo de energia – EDS), como quantitativamente em microsonda eletrônica (*Wavelength Dispersive System* –WDS).

As condições analíticas envolvidas nas análises quantitativas para os elementos maiores dosados em muscovitas, biotitas, cloritas e turmalinas foram: voltagem de aceleração de 15 kV, corrente de 10 nA, diâmetro do feixe de $\phi 1 \mu\text{m}$, sendo o tempo de contagem para cada elemento nos espectrômetros de 20 segundos para Ti, Fe, Ba, K, Ca, Mn e Cr e de 30 segundos para Mg, Al, Na e Si.

Nas análises desenvolvidas em sulfetos, hematitas e goethitas foram utilizadas voltagem de aceleração de 20 kV, corrente de 25 nA e diâmetro do feixe de $\phi 5 \mu\text{m}$, com tempo de contagem de 20 segundos para cada elemento. Já nas análises de magnetitas e ilmenitas foram utilizados voltagem de aceleração de 15 kV, corrente de 25 nA e diâmetro do feixe de $\phi 1 \mu\text{m}$, também com tempo de contagem de 20 segundos para cada elemento.

Devido ao tamanho do feixe específico para análise de cada mineral, não foi possível a caracterização química quantitativa de alguns minerais, incluindo ouro, por apresentarem granulação muito fina, os quais foram submetidos apenas a análises semiquantitativas.

6.1. SULFETOS

Ocorrem sulfetos em veios de quartzo (pirita, calcopirita, arsenopirita e esfalerita), rochas de composição básica (pirita, pirrotita, calcopirita e pentlandita), rochas gnáissicas (pirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, galena e cobaltita), quartzitos (pirrotita, calcopirita, esfalerita, galena e pentlandita), muscovita/sericita-quartzo xistos (pirita, pirrotita, galena, argentita, esfalerita, pentlandita e molibdenita), metachertes (pirita, pirrotita, calcopirita e pentlandita) e metachertes hidrotermais (pirita, pirrotita, calcopirita, arsenopirita e pentlandita), que são ilustrados nas Fotomicrografias 6.1-1 a 6.1-3, Imagens 6.1-1 a 6.1-3 e Reprodução de Imagem 6.1-1.

Os sulfetos são freqüentemente anédricos a subédricos e apenas localmente euédricos, e geralmente ostentam granulação fina a muito fina, ocorrendo, entretanto, minerais de granulação grossa quando hospedados em rochas metabásicas e gnáissicas. Estes normalmente se apresentam em processo parcial ou total de goethitização, sendo comum sua ocorrência em planos ou níveis com amplo desenvolvimento de goethita.

Nos muscovita/sericita-quartzo xistos os sulfetos ocorrem ao longo dos planos da foliação principal, eminentemente milonítica, e freqüentemente contidos em níveis goethíticos dispostos levemente irregular ou ainda paralelamente a esta estrutura, sendo marcados por formas lenticulares anastomosadas contínuas a localmente disruptas.

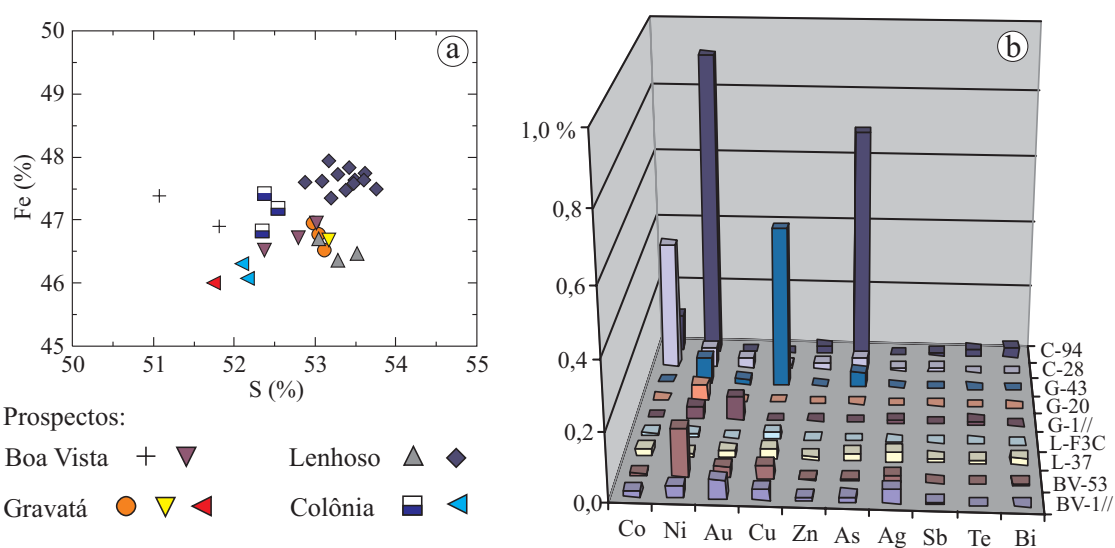


Figura 6.1-1. Relação Fe-S de cristais de pirita evidenciando tênues distinções composicionais (a) e média de elementos traços desses sulfetos conforme o tipo litológico (b). Legenda dos litotipos analisados desta e demais figuras apresentadas no presente capítulo constantes na Tabela 6.1 - apêndice 4.

Observa-se que nos quartzitos a ocorrência de sulfetos está condicionada a microfraturas irregulares, nos quais há amplo desenvolvimento de goethita e que ocorrem generalizadamente em toda a rocha. Já nos metachertes hidrotermais, embora estas rochas também apresentem desenvolvimento de fraturas, os sulfetos predominantemente acompanham a foliação.

Os sulfetos analisados abrangem pirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita, galena, pentlandita, cobaltita, arsenopirita, molibdenita (dados analíticos apresentados nas Tabelas 6.1-1 a 6.1-8 – apêndice 5) e argentita.

6.1.1 Pirita

Os cristais de pirita analisados formam agrupamentos composicionais que refletem uma tênue distinção relacionada com a variação dos teores de Fe-S (Tab. 6.1-1 – apêndice 5) nesses minerais para diferentes litotipos hospedeiros (Fig. 6.1-1a).

Assim, é possível determinar a seguinte composição química:

- $\text{Fe}_{47,34-47,94}\text{S}_{52,87-53,76}$ (em ortognaisses)
- $\text{Fe}_{46,83-47,42}\text{S}_{52,35-52,54}$ (em hornblenda gnaisses)
- $\text{Fe}_{46,07-47,39}\text{S}_{51,08-53,11}$ (em muscovita/sericita-quartzo xistos)
- $\text{Fe}_{46,00-46,68}\text{S}_{51,74-53,17}$ (em quartzitos)
- $\text{Fe}_{46,53-46,95}\text{S}_{52,38-53,02}$ (em metachertes hidrotermais)
- $\text{Fe}_{46,37-46,71}\text{S}_{53,05-53,52}$ (em talco xistos)

Essa distinção composicional é também observada junto aos teores dos elementos traços, conforme ilustrado na Figura 6.1-1b, onde se verifica que embora a maioria dos elementos se apresente pouco expressivos, alguns cristais de pirita ostentam teores que se destacam, como Co (rochas gnáissicas), Ni e As (xistos metassedimentares) e Cu (em quartzitos). Dentre esses, por atingir teores superiores a 1% de Ni, as piritas que ocorrem nos muscovita/sericita-quartzo xistos analisados podem ser classificadas como do tipo niquelíferas.

6.1.2. Pirrotita

Os cristais de pirrotita exibem considerável variação na relação Fe-S (Tab. 6.1-2 – apêndice 5) e apresentam uma incipiente relação de aumento de Fe com o decréscimo de S (Fig. 6.1-2a). Essa variação composicional é registrada nos diversos agrupamentos de minerais hospedados nos diferentes tipos petrográficos, diferindo apenas a composição observada em pirrotitas que ocorrem em rochas quartzíticas do Prospecto Lenhoso, onde são registradas menores quantidades de S.

De acordo com as proporções observadas, distinguem-se os seguintes tipos de pirrotitas:

- $\text{Fe}_{58,08-59,21}\text{S}_{39,30-41,92}$ (em quartzitos)
- $\text{Fe}_{59,05-60,88}\text{S}_{37,83-39,67}$ (em muscovita/sericita-quartzo xistos)
- $\text{Fe}_{59,71-60,27}\text{S}_{38,14-39,73}$ (em metachertes)
- $\text{Fe}_{55,33-60,21}\text{S}_{37,40-39,78}$ (em metachertes hidrotermais)
- $\text{Fe}_{58,51-60,04}\text{S}_{38,82-39,36}$ (em gnaisses)
- $\text{Fe}_{58,77-60,64}\text{S}_{33,83-39,68}$ (em clorita xistos)
- $\text{Fe}_{59,83}\text{S}_{38,94}$ (em anfibolitos)

Em relação aos constituintes traços (Fig. 6.1-2b), observa-se que as pirrotitas que ocorrem em metachertes hidrotermais ostentam elevados teores de Ni, que chegam a atingir mais de 3%, apresentando média de 1,15% desse metal, enquanto que aquelas hospedadas em muscovita/sericita-quartzo xistos, embora apresentem ampla variação dos teores, com média de 0,53%, localmente atingem teores próximos a 1,5%.

Subordinadamente destacam-se ainda os teores de Cu nos cristais provenientes também de metachertes hidrotermais, que embora apresentem média relativamente baixa (0,28%), representa a diluição do teor desse elemento observado localmente nesses minerais, que totaliza mais de 1,5%.

Dessa forma, localmente são caracterizadas pirrotitas niquelíferas a cupríferas, sendo constatado teores extremamente baixos dos demais elementos dosados.

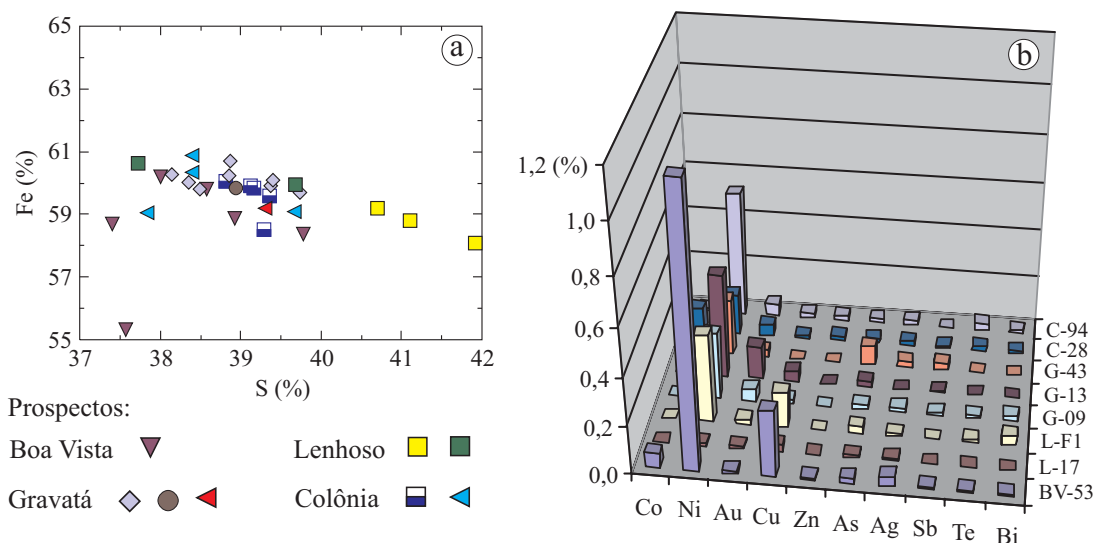


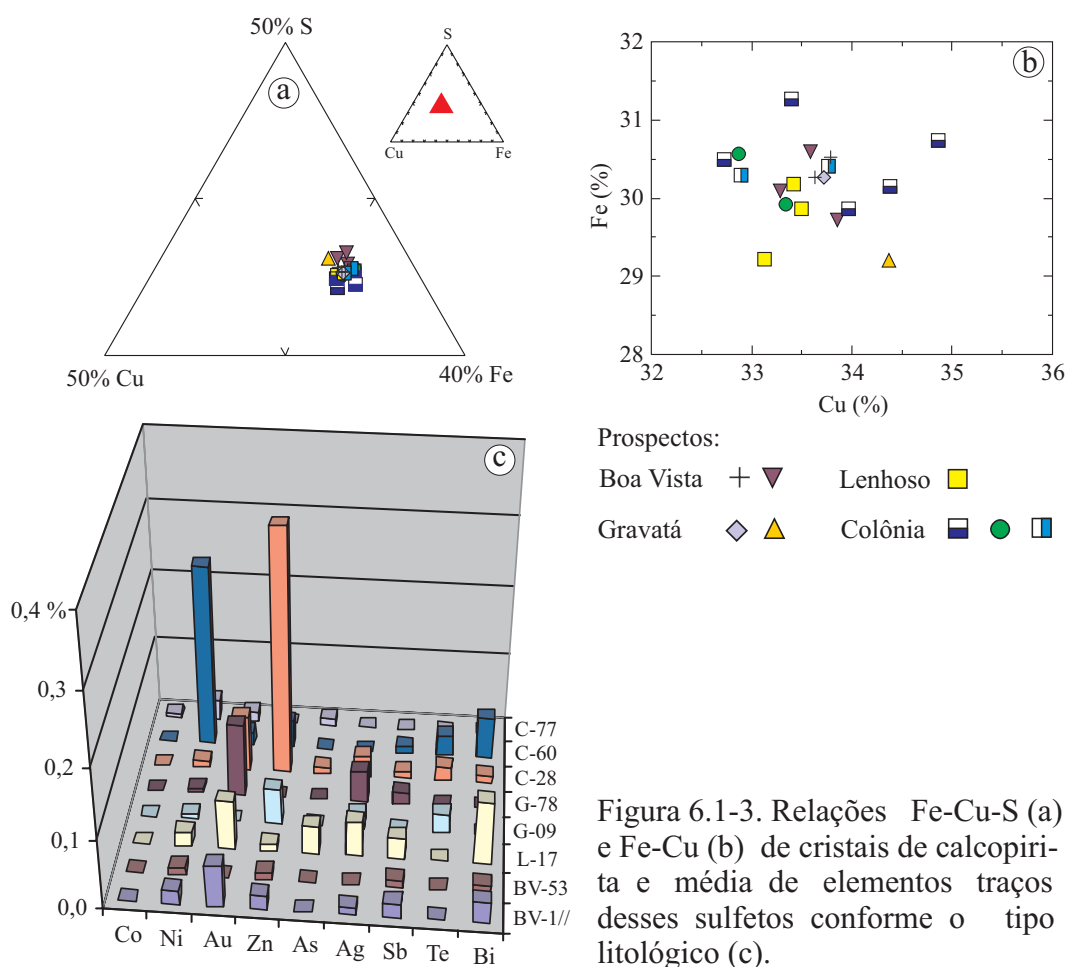
Figura 6.1-2. Relação Fe-S de cristais de pirrotita (a) e média de elementos traços desses sulfetos conforme o tipo litológico (b).

6.1.3 Calcopirita

A presença de calcopirita foi constatada predominante em rochas metassedimentares, abrangendo muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos e metachertes, além de veios de quartzo, rochas gnáissicas e xistos metavulcânicos. Conforme constatado na Tabela 6.1-3 (apêndice 5) e no gráfico apresentado nas Figuras 6.1-3a e 6.1-3b, composicionalmente as calcopiritas apresentam uma pequena variação na relação Cu-Fe-S, sendo expressas pelas seguintes fórmulas estruturais:

- $\text{Fe}_{29,21-30,53}\text{Cu}_{32,89-34,37}\text{S}_{34,59-36,03}$ (em muscovita/sericita-quartzo xistos)
- $\text{Fe}_{29,22-30,18}\text{Cu}_{33,13-33,50}\text{S}_{34,54-34,78}$ (em quartzitos)
- $\text{Fe}_{30,27}\text{Cu}_{33,72}\text{S}_{34,85}$ (em metachertes)
- $\text{Fe}_{29,72-30,60}\text{Cu}_{33,28-33,85}\text{S}_{35,81-36,52}$ (em metachertes hidrotermais)
- $\text{Fe}_{29,86-31,27}\text{Cu}_{32,73-34,86}\text{S}_{34,14-34,70}$ (em gnaisses)
- $\text{Fe}_{29,92-30,56}\text{Cu}_{32,87-33,34}\text{S}_{34,32-34,97}$ (em antofilita xistos)

Quanto à presença de elementos traços na estrutura desses sulfetos, se destacam os teores de Zn em calcopiritas provenientes de rochas gnáissicas, ostentando média de 0,35%, e que reflete a ocorrência de um mineral que atinge valor superior a 1,7% desse metal, caracterizando pontualmente uma calcopirita zincífera. Em relação aos demais elementos dosados, destaca-se tenuamente a concentração de Ni em sulfetos hospedados em xistos de composição básica/ultrabásica (Fig. 6.1-3c).



6.1.4. Arsenopirita

A ocorrência desse sulfeto foi registrada predominantemente em veios de quartzo, de todas as áreas pesquisadas, embora ocorram também em metachertes hidrotermais, muscovita/sericita-quartzo xistos e rochas quartzíticas, respectivamente dos prospectos Boa Vista, Lenhoso e Gravatá.

Ocorrem dispersos na matriz quartzosa na maioria das rochas e veios analisados, e associados à foliação milonítica em rochas xistosas. Em veios de quartzo, localmente foi caracterizado esse sulfeto incluso em carbonato.

Dados analíticos obtidos em cristais de arsenopirita (Tab. 6.1-4 – apêndice 5), embora exclusivamente semiquantitativos, devido à sua granulação que em geral não ultrapassa 2 μm , permitem evidenciar que essas ostentam quimismo relativamente diferenciado de acordo com o tipo litológico, sendo esse comportamento observado na relação entre Fe-As-S (Fig. 6.1-4a), além de constatado também nesta e na Figura 6.1-4b uma correlação negativa entre Fe-As.

Dentre os elementos traços presentes em alguns dos cristais analisados, destacam-se o Sb (4,11%) e Mo (2,82%) em arsenopiritas hospedadas em quartzitos do Prospecto Gravatá, e Cu (1,37%) em veios de quartzo do Prospecto Lenhoso. A presença de outros elementos, como Si, O e C, refere-se à composição do mineral hospedeiro.

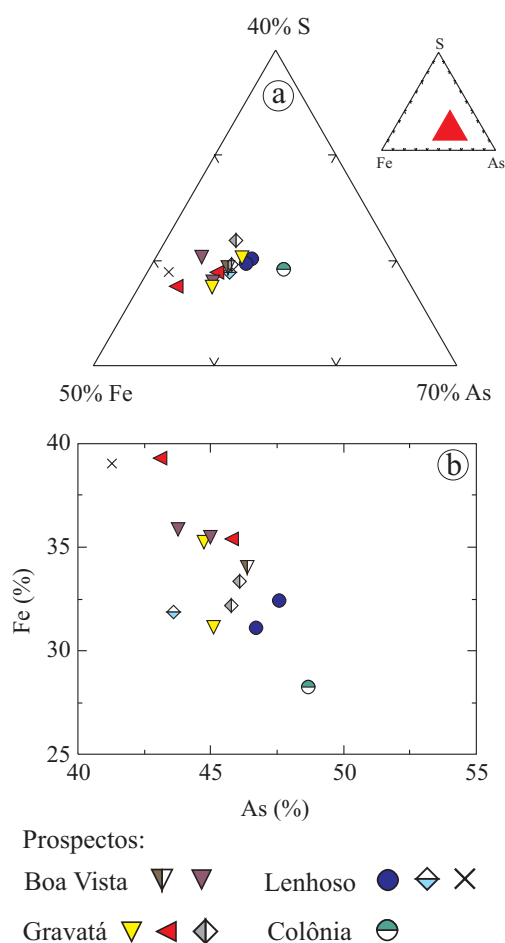


Figura 6.1-4. Relações Fe-As-S (a) e Fe-As (b) de cristais de arsenopirita analisados por microscopia eletrônica de varredura.

6.1.5. Esfalerita

A ocorrência de esfalerita é subordinada em relação aos demais sulfetos, e devido a sua granulação extremamente fina, foi dificultado o desenvolvimento de análises nesses minerais, constando o presente estudo quantitativo de química mineral em poucos cristais, mesmo assim com fechamento analítico inferior ao comumente aceito.

As análises foram desenvolvidas em sulfetos que ocorrem em rochas quartzíticas do Prospecto Lenhoso, muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Gravatá e gnaisses do Prospecto Colônia (Tab. 6.1-5 – apêndice 5), para as quais a Figura 6.1-5a/b ilustra as relações Fe-Zn-S e Fe-Zn, que exibem uma composição pouco variável, onde apenas as amostras provenientes de xistos e pontualmente de gnaisses apresentam tênue acréscimo de Fe com o aumento de Zn, sendo para as demais amostras praticamente constantes os valores desse primeiro elemento.

Assim, os minerais analisados possuem as seguintes fórmulas estruturais:

- $\text{Fe}_{5,08-5,42}\text{Zn}_{57,90-59,53}\text{S}_{32,93-33,82}$ (em quartzitos)
- $\text{Fe}_{5,92-6,09}\text{Zn}_{58,32-58,43}\text{S}_{33,49-33,67}$ (em muscovita/sericita-quartzo xistos)
- $\text{Fe}_{5,29-6,21}\text{Zn}_{56,55-58,56}\text{S}_{32,41-32,80}$ (em gnaisses)

Dos elementos traços dosados destaca-se somente o Co em esfalerita que ocorre em rochas gnáissicas, mesmo assim de forma incipiente (Fig. 6.1-5c), com teores máximos atingindo 0,16%.

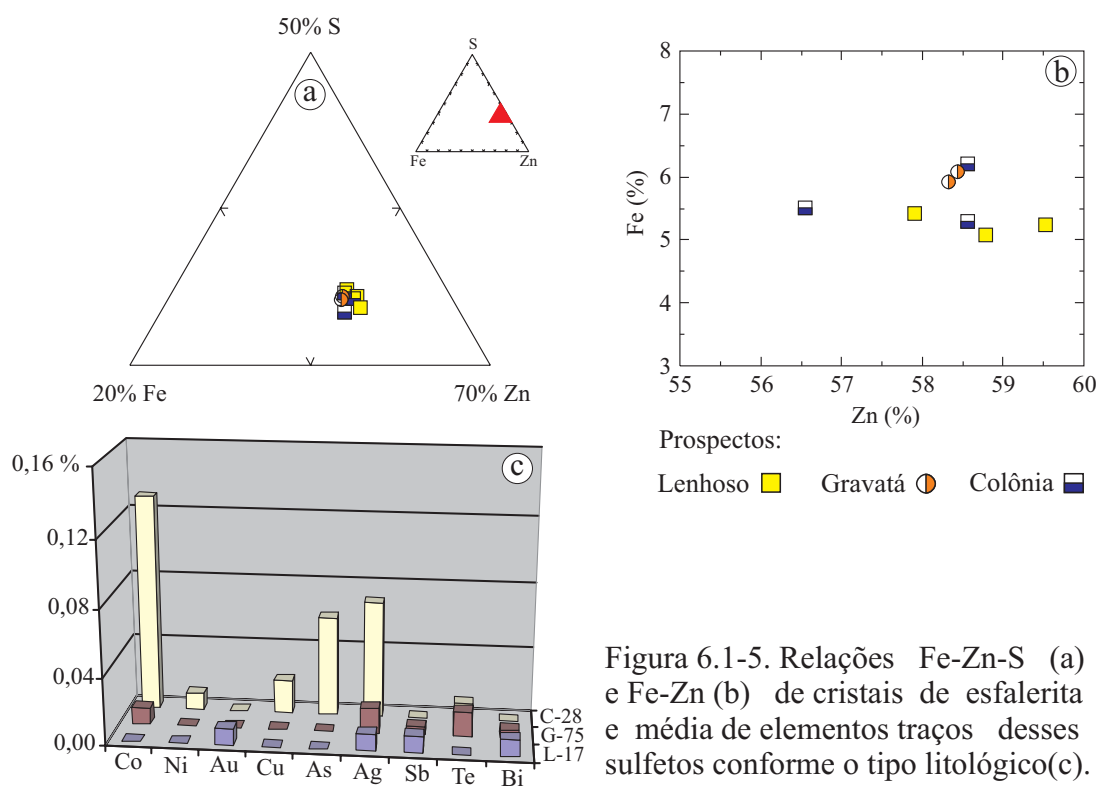


Figura 6.1-5. Relações Fe-Zn-S (a) e Fe-Zn (b) de cristais de esfalerita e média de elementos traços desses sulfetos conforme o tipo litológico(c).

6.1.6. Galena

De ocorrência restrita e ostentando granulação muito fina (normalmente inferior a 5 μm), também foram analisados poucos cristais de galena, sendo apenas uma amostra passível de análise em microsonda eletrônica, constando as demais de estudos semiquantitativos.

Foram analisados minerais hospedados em muscovita/sericita-quartzo xistos (prospectos Lenhoso e Colônia), quartzitos (prospectos Lenhoso e Gravatá) e rochas gnáissicas (Prospecto Colônia) - Tabela 6.1-6 (apêndice 5).

Conforme a Figura 6.1-6, que apresenta as relações Pb-S para as galenas estudadas, observa-se que esses sulfetos formam agrupamentos distintos, sendo um bem marcado por correlação negativa, envolvendo amostras de quartzitos e xistos, respectivamente dos prospectos Lenhoso e Colônia, e quartzitos do Prospecto Gravatá, as quais ostentam ainda pequenas distinções composicionais que as separam conforme o tipo litológico.

Já nas amostras de xistos do Prospecto Lenhoso e de gnaisses, que ostentam menores valores de S, ocorre aumento nos teores de Pb praticamente independentemente da variação de S (Fig. 6.1-6).

Ressalta-se que as análises obtidas por microscopia eletrônica apresentam resultados muito similares aos constatados a partir de microsonda eletrônica, sendo observada apenas uma pequena redução nos teores dos elementos ora considerados quando em análises quantitativas (em torno de 2%).

Quanto aos demais elementos dosados, apenas o Fe ostenta teores que localmente atingem média em torno de 1%.

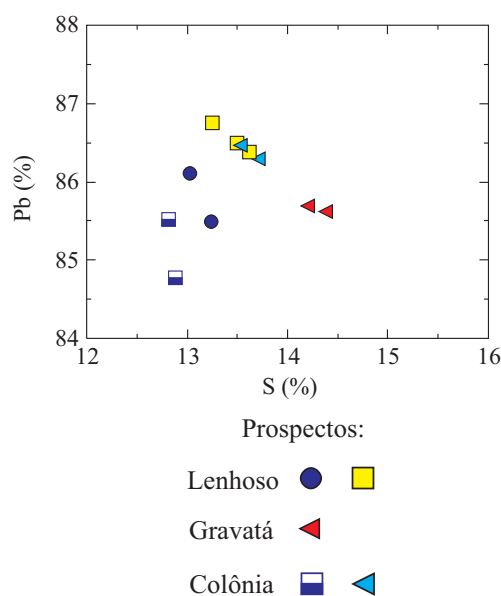


Figura 6.1-6. Relação Pb-S de cristais de galena analisados por microscopia eletrônica de varredura, exceto as amostras ■, que foram submetidas a análises em microsonda eletrônica.

6.1.7. Pentlandita

Esses sulfetos, de ocorrência relativamente comum em rochas de composição básica/ultrabásica, foram caracterizados quantitativamente em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista, em metachertes, quartzitos e muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Gravatá e em antofilita xistos e clorita xistos de composição básica/ultrabásica e xistos quartzosos de origem sedimentar que ocorrem no Prospecto Colônia.

Dentre os dados analíticos obtidos (Tab. 6.1-7 – apêndice 5), ressalta-se que as análises desses sulfetos quando hospedados em quartzito e xistos quartzosos, respectivamente dos prospectos Gravatá e Colônia, apresentam fechamento analítico inferior ao aceitável, sendo incluídos no presente estudo apenas para permitir comparações com os demais dados.

A Figura 6.1-7 ilustra as relações Fe-Ni-S e Fe-Ni observadas nas pentlanditas estudadas, onde se constata uma expressiva variação composicional, com tendência de aumento nos teores de S com o decréscimo de Ni (Fig. 6.1-7a), inclusive em cristais que ocorrem no mesmo tipo litológico, em minerais provenientes de antofilita xistos. Na relação Fe-Ni também é registrada uma correlação negativa, conforme exibido na Figura 6.1-7b.

Observa-se ainda que esses minerais apresentam expressivos teores de Co (Fig. 6.1-7c), com média próxima a 1,0% nos sulfetos analisados em rochas de composição básica/ultrabásica, e que localmente atingem teor superior a 1,8% desse elemento. Embora menos expressivos, também são consideráveis os teores de Co nos demais minerais estudados.

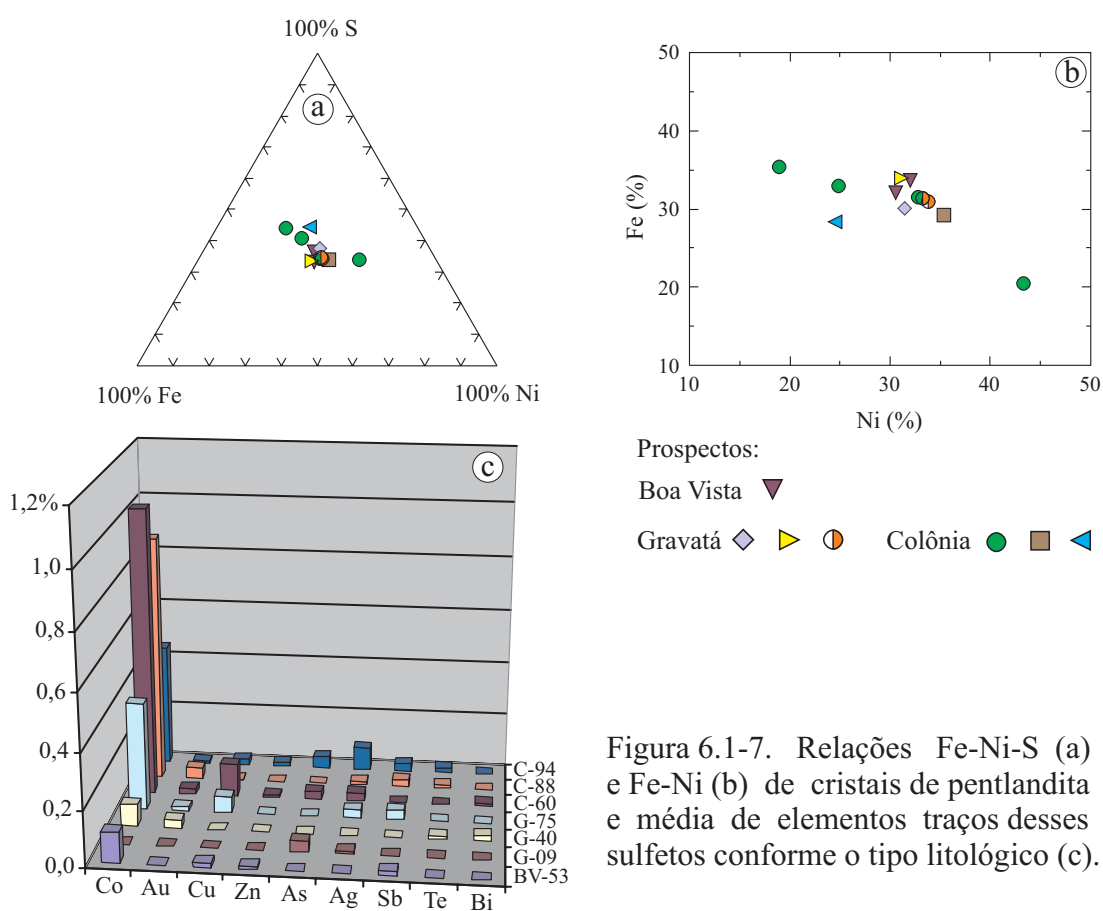


Figura 6.1-7. Relações Fe-Ni-S (a) e Fe-Ni (b) de cristais de pentlandita e média de elementos traços desses sulfetos conforme o tipo litológico (c).

6.1.8. Molibdenita

A ocorrência de molibdenita é extremamente subordinada, tendo sido caracterizada essencialmente em muscovita/sericita-quartzo xisto do Prospecto Lenhoso, incluso em cristais de quartzo, mesmo assim de forma pontual.

Os resultados analíticos (Tab. 6.1-8 – apêndice 5), embora obtidos exclusivamente por meio de análises semiquantitativas, devido ao diminuto tamanho dos grãos, que freqüentemente não ultrapassam 1 μm , apresentam pequenas distinções na relação entre seus constituintes maiores, sendo caracterizados teores de Mo que variam de 61,55 a 63,37% e de S entre 35,0 a 37,15%. Conforme apresentado na Figura 6.1-8, localmente foi registrada a ocorrência de outros elementos associados a esses sulfetos, entretanto todos com teores inferiores a 1%.

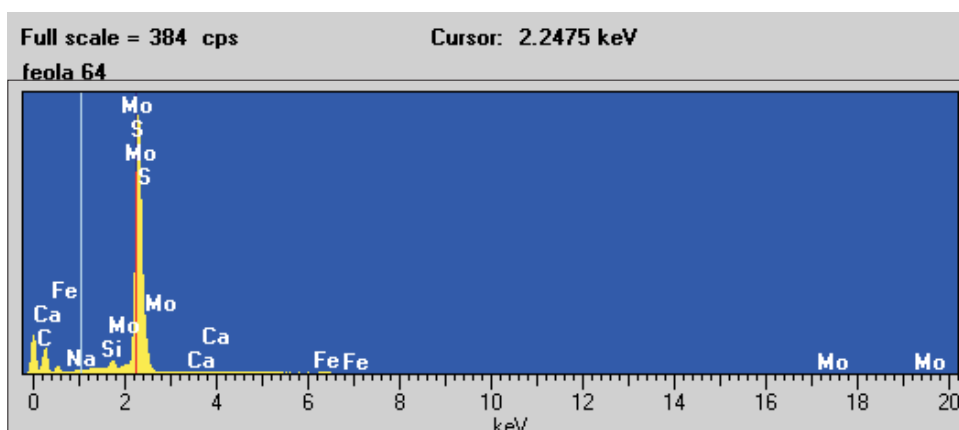


Figura 6.1-8. Espectro que ilustra a composição de molibdenita que ocorre em muscovita/sericita-quartzo xisto (⊗) do Prospecto Lenhoso (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.1.9. Cobaltita

Também de ocorrência subordinada e localizada, foram caracterizados em pequenas proporções cristais de cobaltita em rochas gnáissicas do Prospecto Colônia (Tab. 6.1-8 – apêndice 5), dentre os quais, devido à granulação extremamente fina, invariavelmente menor que 5 μm , foi possível o desenvolvimento de análise quantitativa em apenas um cristal, para o qual, embora o fechamento analítico esteja abaixo do desejável (94,22%), o resultado foi considerado para se estimar a composição desses sulfetos.

Os teores constatados ($\text{Co}_{29,92}\text{As}_{36,35}\text{S}_{22,32}$) divergem daqueles comumente encontrados em cobaltitas ($\text{Co}_{35,52}\text{As}_{45,16}\text{S}_{19,33}$), e devem resultar, além da baixa qualidade dos dados analíticos, à ocorrência de Fe, que atinge valores superiores a 5%.

6.1.10. Argentita

Esses sulfetos foram caracterizados por meio de análises em microscópio eletrônico de varredura em muscovita/sericita-quartzo xistos dos prospectos Boa Vista e Lenhoso.

Ocorrem eminentemente inclusos em cristais de quartzo, ostentam granulação muito fina a fina, raramente atingindo dimensões superiores a 3 μm , e freqüentemente se apresentam com bordas corroídas, embora ainda preservem hábito subédrico. Embora não tenha sido possível a quantificação dos teores dos elementos constituintes desses minerais, ressalta-se que não foram constatados outros elementos associados.

6.2. ÓXIDOS

Os óxidos constituem minerais amplamente desenvolvidos na maioria dos litotipos e abrangem uma variedade de espécies, algumas inclusive associadas a mineralização aurífera.

A maioria das rochas, incluindo todos os grupos petrográficos, possuem magnetita, enquanto a ocorrência de hematita é freqüente em formações ferríferas bandadas, em metachertes, quartzitos, gnaisses e anfibolitos. Já as ilmenitas, além de presentes nas formações ferríferas, ocorrem em muscovita/sericita-quartzo xistos, gnaisses e metabasitos/ultrabasitos. Esses minerais são ilustrados nas Fotomicrografias 6.2-1 a 6.2-4 e na Imagem 6.2-1.

Ocorre ainda cromita (Imagem 6.1-1 e Fotomicrografia 6.2-4) em rochas metabásicas/ultrabásicas e também em metassedimentos e veios de quartzo, além de óxido de Ni-Y em metachertes hidrotermais e tantalita nessas rochas e em quartzitos. Como apresentado na caracterização petrográfica, é comum também a ocorrência de rutilo/leucoxênio (Fotomicrografia 6.2-5) aos diversos litotipos estudados. Óxidos de manganês secundários ocorrem freqüentemente preenchendo fraturas e microfraturas.

Ressalta-se que dentre os minerais reconhecidos como sulfetos alterados em amostras de campo de muscovita/sericita-quartzo xistos, ao microscópio constata-se que são representantes de uma fase de oxidação, que gera magnetita e cuprita/tenorita, que embora predominem no referido litotipo, tem ocorrência em várias rochas.

Esses óxidos ostentam granulação fina a grossa, porém predominam minerais médios a grossos. Frequentemente são anédricos a raramente subédricos, normalmente alongados, dispostos praticamente em todas as rochas em que ocorrem orientados em planos da foliação milonítica. É também comum aos óxidos, principalmente hematitas, apresentarem-se alterados a parcialmente alterados -goethitizados- e com freqüente desenvolvimento de bordas corroídas.

Localmente estes minerais ocorrem ao longo de microfraturas, como é caso de magnetitas e cupritas, pontualmente associados a filossilicatos, inclusive englobando sericitas, sendo freqüente a associação desses a planos da foliação milonítica.

A variedade de óxidos submetidos a análises composicionais, através de microsonda eletrônica e/ou microscopia eletrônica, compreendem principalmente minerais de Fe, Cu e Ti, representados por magnetita, hematita, ilmenita e cuprita, e ainda de forma subordinada minerais de Zn, Ta e Cr (Tab. 6.2-1 a 6.2-10 – apêndice 6).

6.2.1. Magnetita

Devido a abundância desse mineral, foram realizadas análises em magnetitas que ocorrem em diversos tipos de rochas (Tab. 6.2-1 – apêndice 6), através das quais constata-se que as variações composicionais para esses óxidos são condizentes com magnetita e ulvoespinélio (titanomagnetita), conforme ilustrado na Figura 6.2-1.

Na relação $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ observa-se que alguns minerais, caracterizados em rochas de todos os prospectos, possuem um excesso de Fe_2O_3 (Fig. 6.2-1) e tendem composicionalmente à solução sólida magnetita-maghemita.

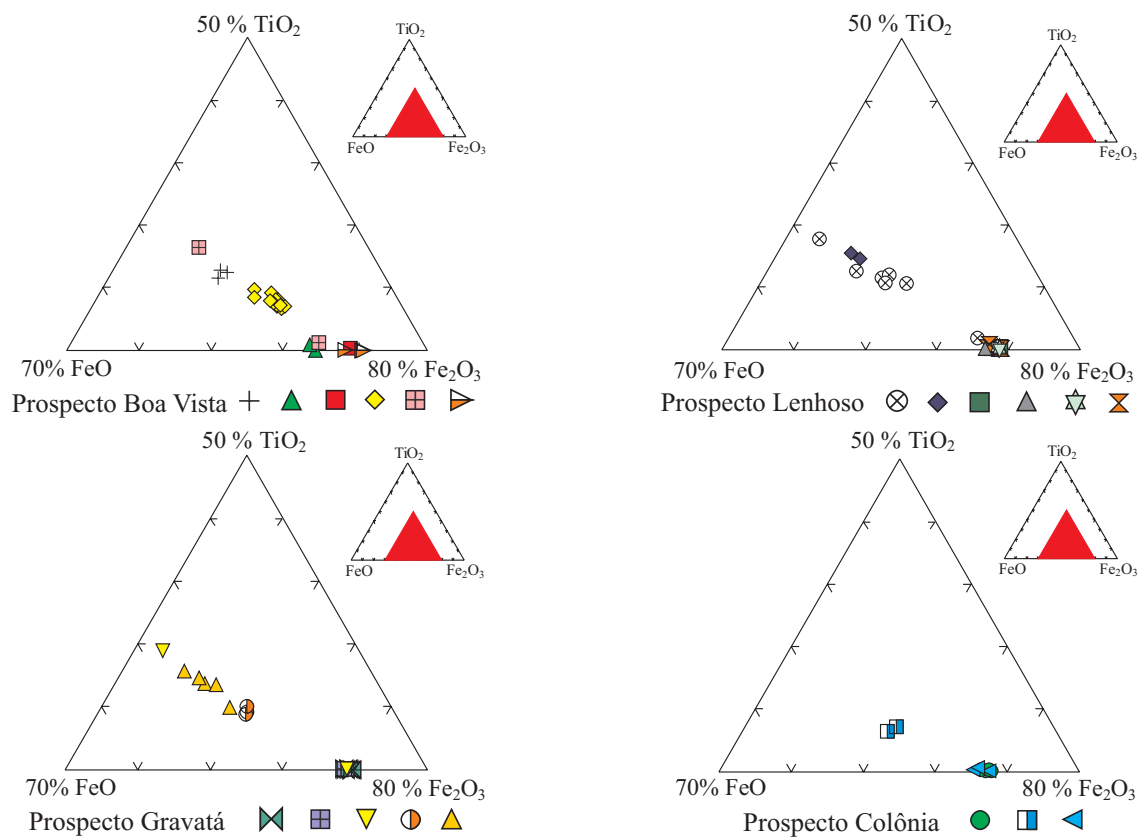


Figura 6.2-1. Relação TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 de cristais de magnetita representada por tipo litológico individualizado para cada prospecto estudado.

A titanomagnetita, caracterizada pelo aumento de TiO_2 e decréscimo de Fe_2O_3 , ocorre junto às associações minerais, predominantemente nos muscovita/sericita-quartzos de todos os prospectos, embora no Prospecto Colônia este decréscimo seja menos expressivo, sendo marcado ainda secundariamente pelo quimismo de minerais presentes em quartzitos e rochas gnáissicas (Fig. 6.2-1).

Dentre os elementos traços, dosados também em porcentagem de peso de óxido, destacam-se tenuamente os teores de Cr_2O_3 em magnetita hospedada em rochas metavulcânicas/plutônicas, com média dos valores em torno de 0,8%, além de Al_2O_3 em minerais que ocorrem também nessas rochas e mais incipientemente daqueles que provêm de rochas gnáissicas (Fig. 6.2-2).

Os teores de Mg e secundariamente Mn devem representar adição no sistema da magnetita, embora pontualmente, visto que a maioria das análises apresenta ausência desses elementos. Já em relação aos teores de Ca, destacam-se tenuamente as amostras que ocorrem em gnaisses, não ultrapassando, entretanto a 0,16%.

De acordo com Deer *et al.* (1992), quantias subordinadas dos elementos acima referidos, como os que ocorrem no material analisado, devem ser resultantes de processos de substituição, sendo o Al por Fe^{3+} e Ca, Mn e Mg por Fe^{2+} .

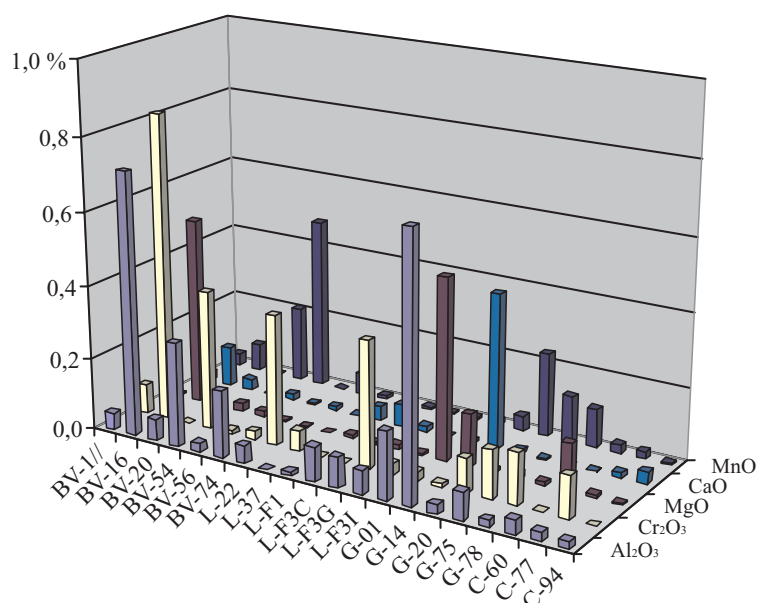


Figura 6.2-2. Média de elementos traços - expressos em porcentagem de óxidos - constatados em magnetita e que são apresentados conforme o tipo litológico.

6.2.2. Hematita

Ocorrem cristais de hematita hospedados em rochas de todos os prospectos estudados, principalmente em formações ferríferas, quartzitos, metachertes, gnaisses e anfibolitos. Entretanto, freqüentemente esses minerais se apresentam alterados, e a determinação do quimismo da sua grande maioria será apresentada junto ao subitem referente a hidróxidos. Dentre os minerais que não sofreram o referido processo alteração, foram efetuadas análises apenas em hematita que ocorre em formações ferríferas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso (Tab. 6.2-2 – apêndice 6).

Os elementos traços, expressos em óxidos, apresentam-se com teores extremamente baixos a normalmente ausentes, e embora tenham sido registrados valores de até 0,14% de Au_2O e 0,15% de As_2O_3 , esses são coerentes com os valores de *background*.

6.2.3. Ilmenita

A ocorrência de ilmenita é relativamente comum em diversos litotipos presentes nos prospectos estudados. O desenvolvimento de análises nesses revelam distintas composições para minerais presentes em diferentes tipos de rocha (Tab. 6.2-3 – apêndice 6 – e Fig. 6.2-3).

Desta forma, nas relações $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$, observa-se que a ilmenita presente em muscovita/sericita-quartzo xistos de todos os prospectos, além de quartzitos e anfibolitos do Prospecto Gravatá e gnaisses do Prospecto Colônia, apresenta composição FeO-TiO_2 , enquanto que nos demais litotipos ocorre também Fe_2O_3 em distintas proporções em sua estrutura (Fig. 6.2-3a).

O diagrama $\text{TiO}_2\text{-FeO-MnO}$ (Fig. 6.2-3b) atesta que o MnO é um elemento importante na constituição química desses minerais, principalmente daqueles que ocorrem em talco xistos, que chegam a apresentar teores desse óxido superiores a 5%, ocorrendo

ainda de forma localizada teores expressivos em minerais provenientes de rochas anfibolíticas e gnáissicas. Do mesmo modo, o teor de MgO (Fig. 6.2-3c) diferencia, através dos baixos valores observados, os minerais que ocorrem nos talco xistos e formação ferríferas das demais rochas.

A análise conjunta da figura acima referida permite relacionar os seguintes tipos de ilmenita e litotipos:

- Ilmenita do tipo FeTiO_3 em formações ferríferas e quartzitos (Lenhoso e Gravatá, respectivamente);
- Ilmenita do tipo $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mg})\text{TiO}_3$ nos clorita xistos (Lenhoso e Gravatá);
- Ilmenita do tipo $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn})\text{TiO}_3$ nos talco xistos (Lenhoso) e clorita xistos (Colônia);
- Ilmenita do tipo $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Mg})\text{TiO}_3$ em muscovita/sericita-quartzo xistos (todos os prospectos), anfibolitos (Gravatá) e gnaisses (Colônia).

Essa distinção composicional é ilustrada ainda no gráfico da Figura 6.2-3d, onde se observa que Al_2O_3 , Cr_2O_3 e CaO ostentam teores extremamente baixos.

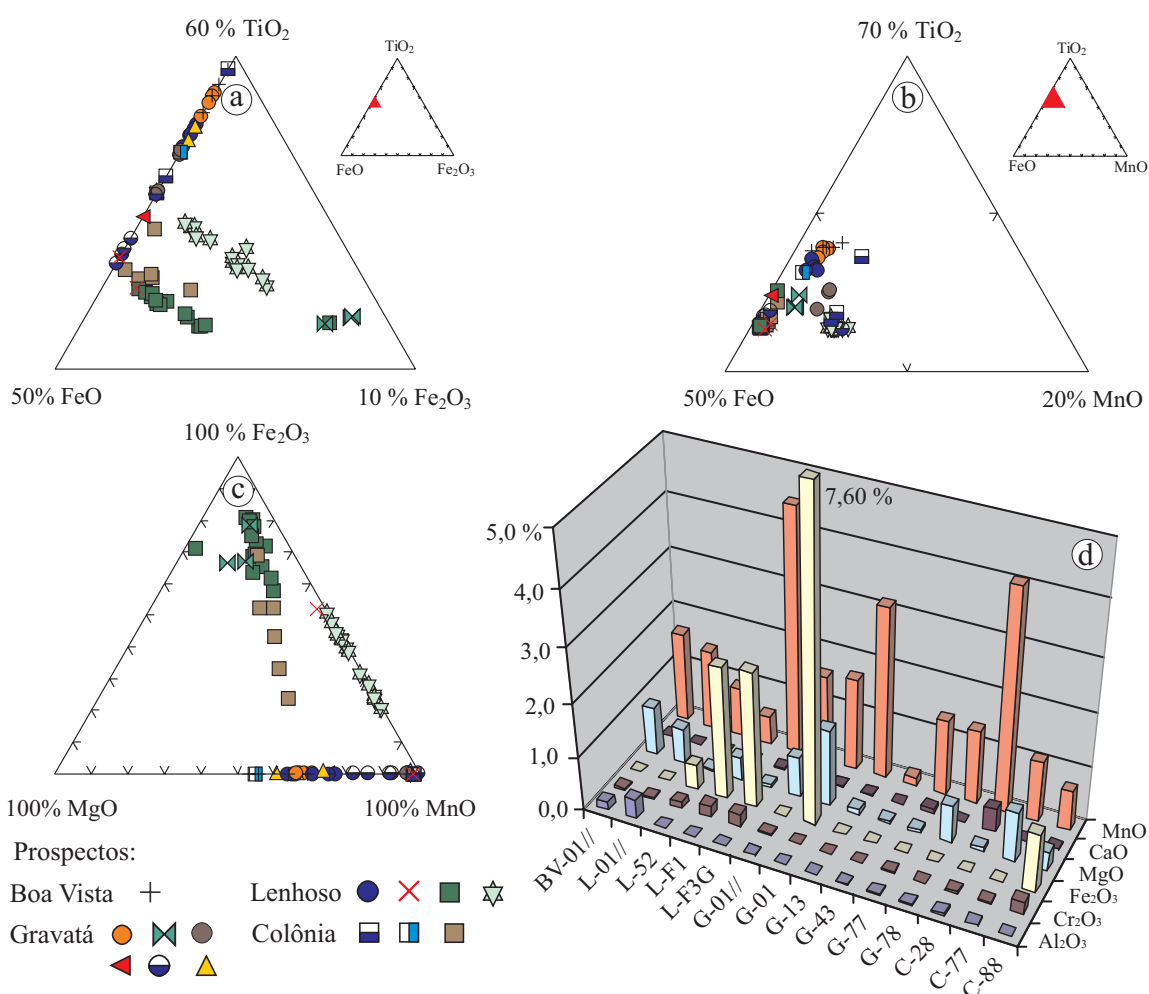


Figura 6.2-3. Relações TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 (a), TiO_2 - FeO - MnO (b), Fe_2O_3 - MgO - MnO (c) de cristais de ilmenita, e média de elementos maiores - expressos em porcentagem de óxidos - desses minerais conforme o tipo litológico (d).

6.2.4. Cromita

São apresentadas análises quantitativas desenvolvidas em cromitas que ocorrem em metachertes hidrotermais, metachertes e antofilita xistos, respectivamente dos prospectos Boa Vista, Gravatá e Colônia (Tab. 6.2-4 – apêndice 6), embora seja constatada a ocorrência desses óxidos ainda em veios de quartzo do Prospecto Lenhoso, que devido a sua granulação muito fina não foi possível o desenvolvimento de análises.

As variações composicionais constatadas nesses espinélios cromíferos, apresentadas na Figura 6.2-4a, são condizentes com a composição de alumocromitas. Esses minerais, a depender do tipo litológico hospedeiro, apresentam amplas variações químicas, sendo registrado para aqueles que ocorrem em metachertes os maiores teores de Al_2O_3 (Fig. 6.2-4a), MgO e MnO (Fig. 6.2-4b), enquanto para os de xistos metavulcânicos e secundariamente metachertes hidrotermais os teores de Fe_2O_3 apresentam-se mais robustos.

Os demais óxidos analisados são representados por baixos teores, havendo tênue destaque somente para TiO_2 , que localmente atinge valores pouco superiores a 0,4%, sendo ilustrado na Figura 6.2-4c a relação entre esses.

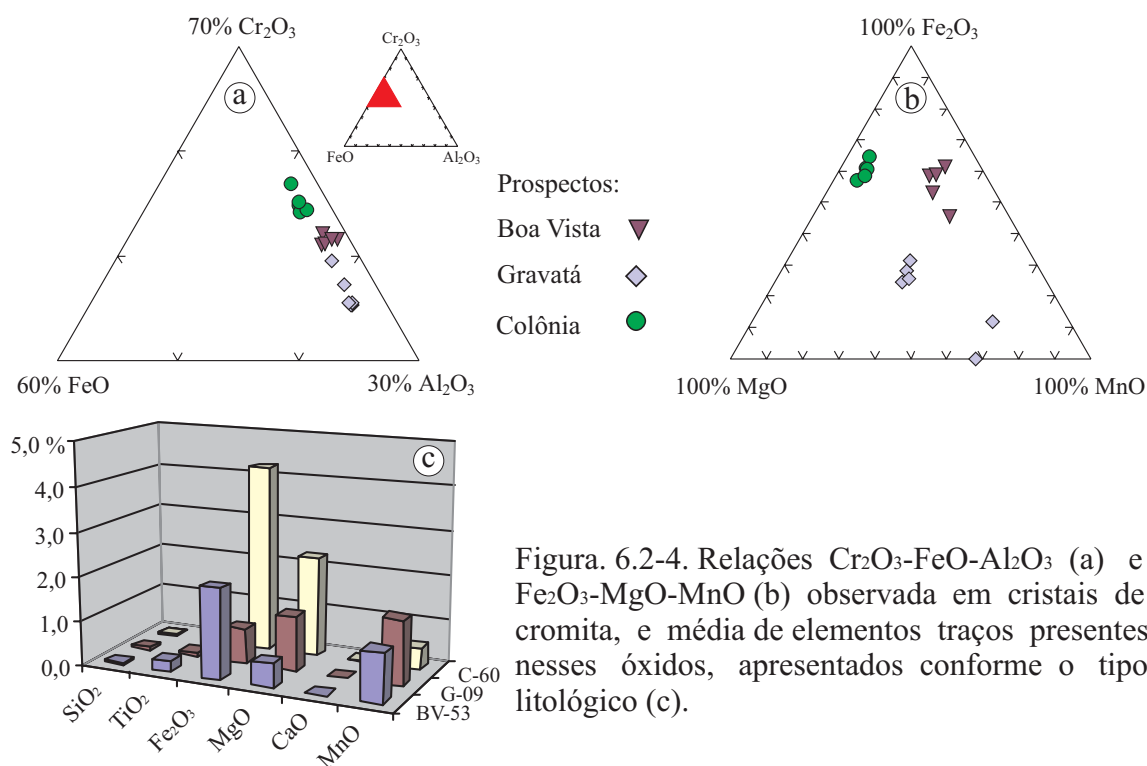


Figura. 6.2-4. Relações Cr_2O_3 - FeO - Al_2O_3 (a) e Fe_2O_3 - MgO - MnO (b) observada em cristais de cromita, e média de elementos traços presentes nesses óxidos, apresentados conforme o tipo litológico (c).

6.2.5. Cuprita/Paramelaconita/Tenorita

A presença de óxidos de cobre, presumivelmente pertencente à associação mineralógica que constitui a mineralização aurífera nos prospectos pesquisados, foi detectada por meio de estudos em microscópio eletrônico, para os quais foi possível somente o desenvolvimento de análises semiquantitativas (Tab. 6.2-5 – apêndice 6) devido a sua granulação muito fina, geralmente em torno de 3 μm .

A Figura 6.2-5 ilustra a relação entre Cu-O, a qual caracteriza esses óxidos principalmente como cupritas, paramelaconitas e secundariamente tenoritas.

A composição característica de cuprita é constatada em muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos e gnaisses dos prospectos Boa Vista, Gravatá e Colônia, enquanto são verificadas composições condizentes com paramelaconita em muscovita/sericita-quartzo xistos e formações ferríferas do Prospecto Lenhoso e ainda nesse segundo tipo litológico que ocorre no Prospecto Boa Vista. Ressalta-se, entretanto, que a deficiência em oxigênio, característica para esse segundo tipo de óxido, deve-se principalmente a outros elementos associados, sendo observada realmente a referida deficiência apenas em formações ferríferas do Prospecto Boa Vista, que é compensada pelo aumento do teor de Cu (superior a 94%).

Localmente, alguns minerais apresentam composições intermediárias entre cuprita e tenorita, como aqueles que ocorrem em xistos metavulcânicos, além de gnaisses, ambos do Prospecto Lenhoso, que tendem composicionalmente a tenorita, embora para essa última rocha o teor de Cu se apresente menor, devido à presença de outros elementos que totalizam mais de 13% (Fig. 6.2-5).

A observação dos resultados analíticos presentes na tabela e figura supracitadas e as observações petrográficas realizadas em todos os prospectos, não deixam dúvida que estes óxidos se originam a partir da alteração de calcocitas presentes na paragênese associada ao minério. Assim, esses óxidos representam diferentes estágios de oxidação (mais ou menos intensa) do referido sulfeto.

A maioria dos elementos associados a cuprita/paramelaconita/tenorita atesta os efeitos de alteração supergênica nos níveis mais superficiais do minério, destacando-se entre esses, a presença de Au em minerais hospedados em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista, e Sn associado a óxidos que ocorrem em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Lenhoso, que embora pontual, atingem respectivamente teores superiores a 4% e 11% (peso).

Os valores de Fe apresentam-se pouco robustos a ausentes na maioria dos minerais analisados, tornando assim pouco provável a possibilidade da origem desses a partir da alteração de calcopirita, que tenderia a originar delafossita.

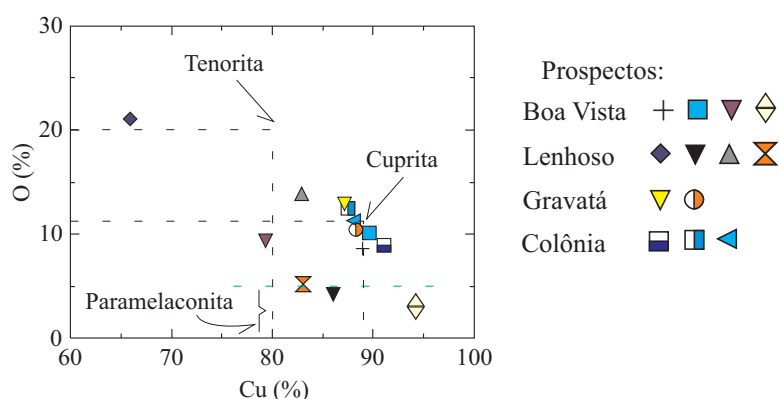


Figura 6.2-5. Relação Cu-O de óxidos analisados por microscopia eletrônica de varredura, ilustrando que esses apresentam composições entre paramelaconita e tenorita.

6.2.6. Rutilo/Leucoxênio

Esses óxidos, constatados petrograficamente em diversos tipos petrográficos, foram analisados por microscopia eletrônica, conforme apresentado na Tabela 6.2-6 (apêndice 6), sendo priorizadas as determinações de suas composições quando hospedados em rochas metassedimentares e veios de quartzo.

No conjunto, esses minerais apresentam relação Ti-O que define uma correlação negativa, sendo observado teores mais robustos de Ti nesses que ocorrem em rochas dos prospectos Gravatá e Colônia (Fig. 6.2-6).

Parte dessa diferenciação entre a referida relação, deve-se a outros elementos associados ao rutilo, dentre os quais se destacam o Cu, que embora de ocorrência pontual, é representado por teores maiores que 2%, e Fe, que além de ocorrer na maioria dos óxidos analisados, chega a atingir valores superiores a 1%, quando ocorrem respectivamente em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Lenhoso e quartzitos do Prospecto Gravatá.

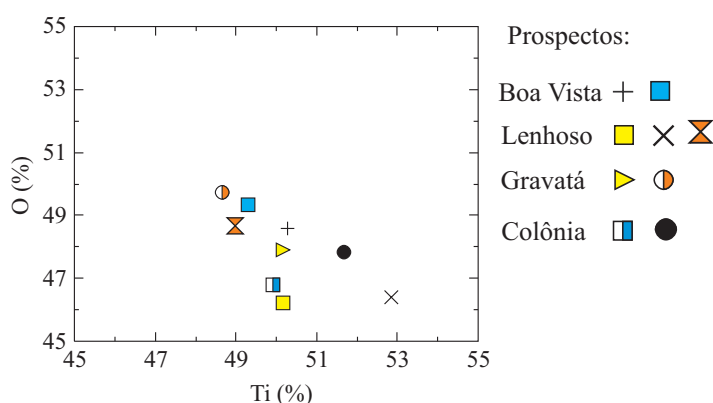


Figura 6.2-6. Relação Ti-O de cristais de rutilo analisados por microscopia eletrônica de varredura.

6.2.7. Tantalita

A presença deste óxido se restringe a quartzitos e formações ferríferas do Prospecto Boa Vista, os quais foram quantificados essencialmente através de microscopia eletrônica (Tab. 6.2-7 – apêndice 6), devido a sua diminuta granulação, que não ultrapassa 2 μm .

É comum a esses minerais a ocorrência de Ti (Fig. 6.2-7), que em formações ferríferas é representado por teores de até 11%, além ainda de valores expressivos de Fe, e que são condizentes com a composição de tantalita titanífera.

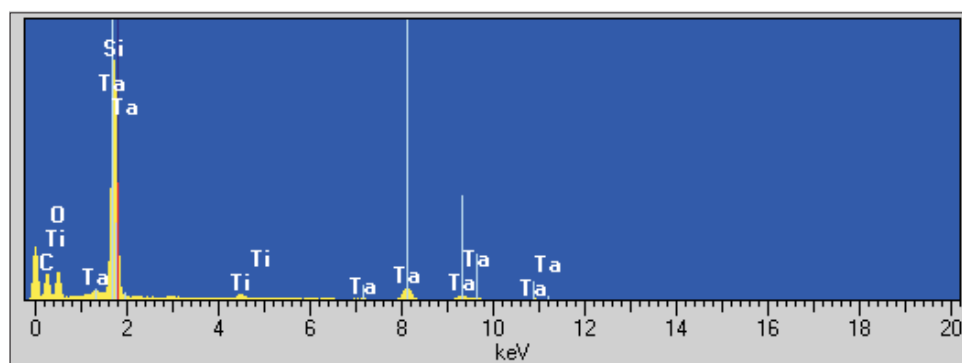


Figura 6.2-7. Espectro que ilustra a composição de tantalita que ocorre em rochas quartzíticas (■) do Prospecto Boa Vista (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.2.8. Zincita

Por meio de estudos de microscopia eletrônica foi constatada a ocorrência de zincita em veios de quartzo dos Prospectos Lenhoso, Gravatá e Colônia, e ainda em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista (Tab. 6.2-8 – apêndice 6).

Esses minerais apresentam-se freqüentemente subédricos e com granulação muito fina, geralmente em torno de 1 μm , ocorrendo tanto inclusos como em limites de grãos de quartzo.

A relação Zn-O é relativamente constante, sendo registrada ainda a ocorrência de teores superiores a 1% de Fe e Cu em veios do Prospecto Colônia. Os valores de Si constatados em todas as análises é resultante da matriz, cuja interferência se dá pela granulação dos mesmos.

6.2.9. Platenerita/Scrutinyita

A ocorrência desses óxidos, também observada durante os estudos em microscopia eletrônica, é comum em veios de quartzo que ocorrem nos prospectos Boa Vista, Lenhoso e Colônia, bem como também em quartzitos e muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Gravatá e gnaisses do Prospecto Colônia, para os quais foram desenvolvidas somente análises semiquantitativas (Tab. 6.2-9 – apêndice 6).

Ostentam granulação muito fina a fina, raramente atingindo dimensões próximas a 3 μm , são normalmente subédricos a raramente anédricos e encontram-se freqüentemente inclusos em grãos de quartzo e ainda localmente em microfraturas, como nos veios de quartzo do Prospecto Lenhoso.

Marcado por uma leve correlação negativa, o quimismo desses minerais por vezes se distancia da composição ideal de platenerita/scrutinyita (Fig. 6.2-8), devido à ocorrência de outros elementos em sua estrutura, destacando-se principalmente Cu e Fe nos óxidos que ocorrem em veios de quartzo do Prospecto Colônia. A presença de Si, comum a todos os óxidos analisados, deve-se à reduzida granulação desses, favorecendo a detecção de elementos provenientes da matriz quartzosa.

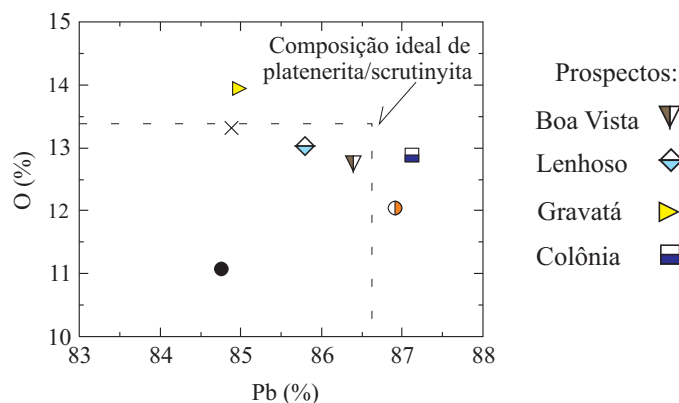


Figura 6.2-8. Relação Pb-O de óxidos analisados por microscopia eletrônica de varredura, ilustrando que estes possuem composições próximas a platenerita/scrutinyita.

6.2.10. Óxidos de Ni e Ni-Y

Foram detectados ainda por meio de microscopia eletrônica óxidos de níquel em veios de quartzo do Prospecto Lenhoso e óxidos de Ni-Y em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista (Tab 6.2-10 – apêndice 6).

Esses se apresentam anédricos e com granulação muito fina, predominantemente em torno de 1 μm , inclusos em cristais de quartzo e com ocorrência extremamente restrita.

Aqueles caracterizados no primeiro prospecto possuem composição próxima a bunsenita, enquanto os que ocorrem na segunda área pesquisada, ostentam teores, embora determinados semiquantitativamente (Fig. 6.2-9), de $\text{Ni}_{46,60-50,36}\text{Y}_{29,51-39,51}\text{O}_{12,14-20,12}$, ocorrendo ainda pontualmente pequenas quantias de Fe.

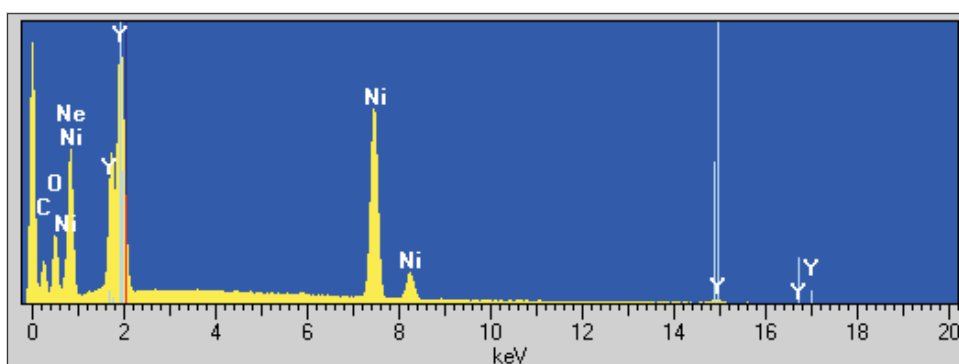


Figura 6.2-9. Espectro que ilustra a composição de óxido de Ni-Y que ocorre em metacherte hidrotermal (▼) do Prospecto Boa Vista (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.3. HIDRÓXIDOS

O processo de goethitização atua amplamente nos diversos tipos petrográficos da região, sendo essa alteração registrada marcadamente em sulfetos e óxidos, além ainda de minerais de anfibólios.

As goethitas freqüentemente formam finos cristais que constituem agregados localmente disformes a normalmente alongados paralela a subparalelamente aos planos da foliação milonítica. Embora não seja comum, ocorrem ainda cristais de granulação média, normalmente associados a óxidos em formações ferríferas. Comumente esses hidróxidos ocorrem ao longo de microfraturas e em limites de grãos de quartzo.

Análises químicas nesses minerais (Tab. 6.3-1 – apêndice 7 – e Fig. 6.3-1) mostram que embora haja grande variação em seus constituintes menores, localmente as goethitas apresentam teores relativamente elevados de Cr_2O_3 , CoO , CuO e NiO .

Os teores de Cr_2O_3 chegam a atingir mais de 4,0% em minerais que ocorrem em clorita xistos, além de 1,72% naqueles associados a metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista, enquanto são verificados teores próximos a 2,5% de CoO nesses quando ocorrem em anfibolitos do Prospecto Gravatá. Nos hidróxidos associados a quartzitos desse último prospecto são constatados teores de CuO superiores a 2%.

Embora inferiores a esses, porém ainda anômalos, os teores de NiO se apresentam mais robustos nos minerais presentes em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Colônia, pontualmente atingindo valores em torno de 1,4%.

Desta forma, as goethitas presentes nas diversas rochas podem ser consideradas como cromíferas, cobaltíferas, cupríferas e níquelíferas. Essas composições são condizentes com a atuação de processos supérgenos em óxidos e sulfetos constituídos à base dos elementos ora reconhecidos como anômalos.

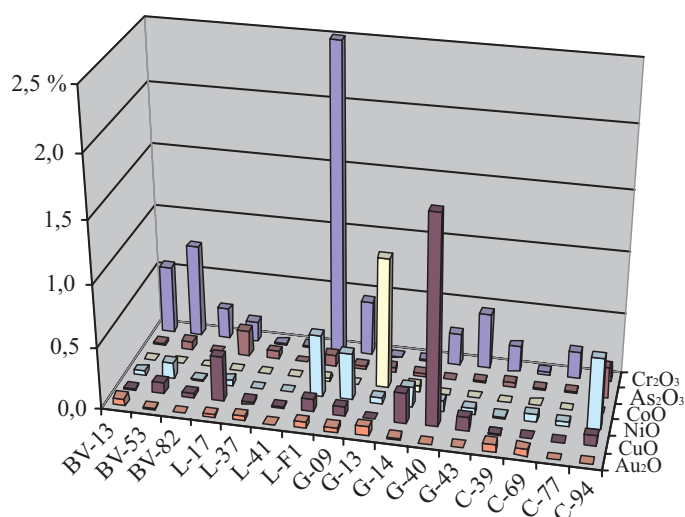


Figura 6.3-1. Média de elementos traços - expressos em porcentagem de óxidos - de cristais de goethita conforme o tipo litológico.

6.4.3. Ankerita/Siderita

Foi constatada a ocorrência de ankerita/siderita em veios de quartzo de todas as áreas pesquisadas. Frequentemente ostentam granulação fina, a exceção quando hospedados em veios do Prospecto Colônia, onde se apresentam melhor desenvolvidos.

Os teores de Fe provenientes de carbonatos que ocorrem em veios do Prospecto Gravatá são os mais expressivos, enquanto esses minerais quando associados a veios do Prospecto Colônia, apresentam os menores valores deste metal (Fig. 6.4-2). Todos apresentam Mg em sua estrutura, localmente expressos por teores próximos a 4,0%, caracterizando assim ankerita/siderita magnesiana.

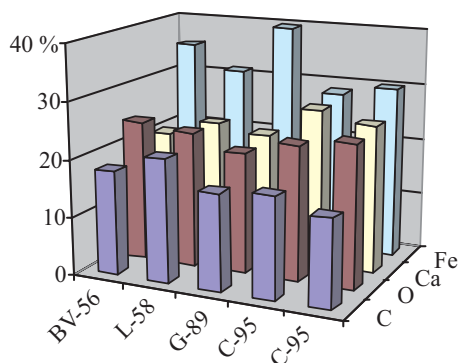


Figura 6.4-2. Teores de elementos maiores observados em cristais de ankerita/siderita, obtidos por microscopia eletrônica de varredura.

6.4.4. Carbonato de Terras Raras

Estes carbonatos, caracterizados essencialmente em rochas do Prospecto Lenhoso, também se apresentam anédricos e ostentam granulação fina a subordinadamente média, e ocorrem dispostos irregularmente ao longo dos planos da foliação milonítica em rochas metabásicas e ainda associado a feldspatos em rochas gnáissicas.

A composição desses minerais é ilustrada na Figura 6.4-3, sendo que os elementos terras raras que apresentam os maiores teores são Ce e Nd, com valores próximos a 12 e 9 % respectivamente. O Gd também ocorre em todos os minerais analisados, não ultrapassando, entretanto, teores de 1,65%, bem como também o Fe, que chega a atingir valores superiores a 2,5%. Já Th e Y, embora de ocorrência pontual, representam 1,45% e 1,13% respectivamente.

A constatação de teores de até quase 5,0% de Al associado aos demais elementos presentes condiz relativamente com a composição de churchita $[(Ca,Ce,Nd)AlThCO_3]$ para os carbonatos que ocorrem em rochas metavulcânicas/plutônicas.

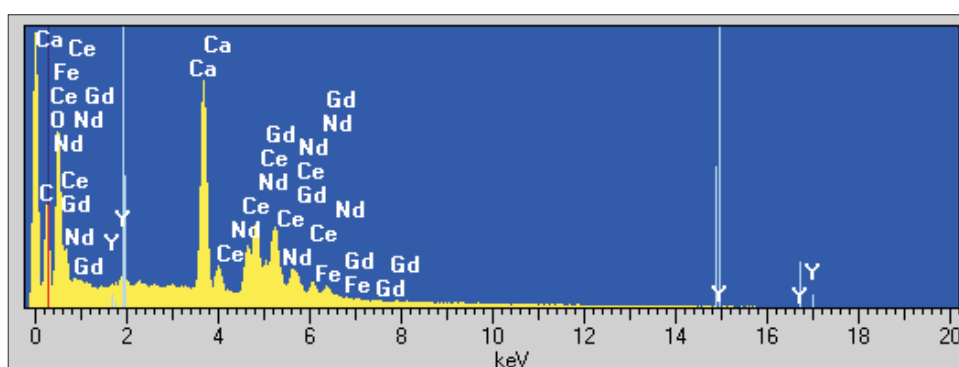


Figura 6.4-3. Espectro que ilustra a composição de carbonato de terras raras que ocorre em gnaisses (♦) do Prospecto Lenhoso (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.5. FOSFATOS

Ocorrem fosfatos em diversas rochas de todos os prospectos (dados analíticos apresentados na Tab. 6.5-1 – apêndice 9), predominando monazitas (Imagem 6.5-1) na maioria dos casos. Subordinadamente estão presentes ainda xenotímio/weinschenkita, também em rochas de todos os prospectos e plumbogummita (este último também ilustrado na Imagem 6.5-1), que tem ocorrência restrita no Prospecto Lenhoso.

6.5.1. Monazita

Os cristais de monazita são predominantemente finos e anédricos e ocorrem dispersos ou localmente formando agregados, freqüentemente associados a níveis goethíticos, inclusive alguns mineralizados.

Localmente apresentam enriquecimento em Th (Fig. 6.5-1) quando hospedados em quartzitos do Prospecto Boa Vista e secundariamente neste tipo litológico, em muscovita/sericita-quartzo xistos, gnaisses e anfibolitos do Prospecto Gravatá, possivelmente substituindo Ce e/ou La.

O mesmo ocorre com Al e Fe, também com elevados teores pontuais em minerais que ocorrem em quartzitos e formações ferríferas do Prospecto Boa Vista, em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Lenhoso e ainda nesses xistos do Prospecto Gravatá.

São registradas grandes variações nos teores de Ce (Fig. 6.5-2), corroborando com a presunção de valores robustos,

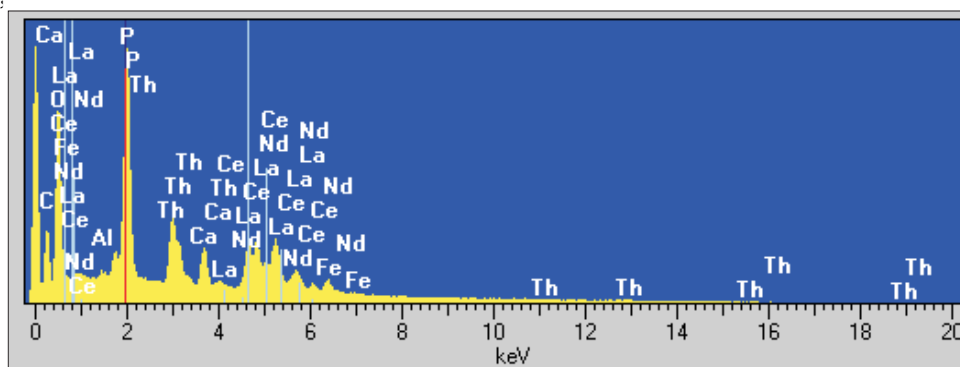


Figura 6.5-1. Espectro que ilustra a composição de monazita hospedada em quartzito (■) do Prospecto Boa Vista (análise em microscópio eletrônico de varredura).

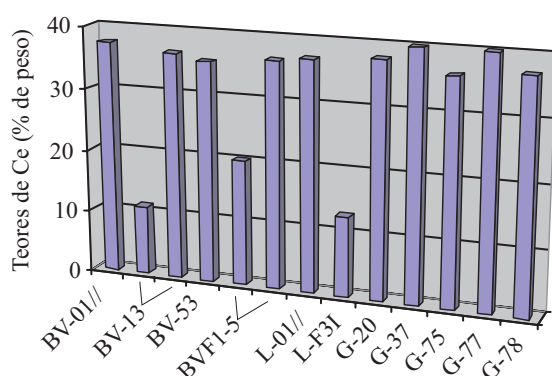


Figura 6.5-2. Teores de Ce (% de peso) observados em cristais de monazita por meio de microscopia eletrônica de varredura.

6.5.2. Xenotímio/Weinschenkita

Esses minerais foram caracterizados em formações ferríferas e talco xistos do Prospecto Lenhoso, em muscovita/sericita-quartzo xistos, metachertes e anfibolitos do Prospecto Gravatá e em muscovita/sericita-quartzo xistos e antofilita xistos do Prospecto Colônia.

Formam grãos também essencialmente finos e anédricos, que se distribuem irregularmente pela rocha hospedeira, porém freqüentemente associados a monazita.

Face à composição observada, esses minerais podem corresponder a xenotímio (YPO_4) ou ainda representar uma fase hidratada de fosfatos de ítrio, formando weinschenkita $[(\text{Y},\text{Er})(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$.

Em relação aos demais elementos que se associam a esses minerais, o Er, Gd e Dy freqüentemente ocorrem substituindo o Y.

6.5.3. Plumbogummita

Tendo sido constatados essencialmente em quartzitos do Prospecto Lenhoso, os cristais de fosfato de chumbo são normalmente subédricos finos e ocorrem eminentemente ao longo de microfraturas irregulares, comumente associados a goethitas.

A associação dos elementos neste fosfato (Fig. 6.5-3) e seus respectivos teores, embora considerando o caráter semiquantitativo da análise, resulta em uma composição condizente

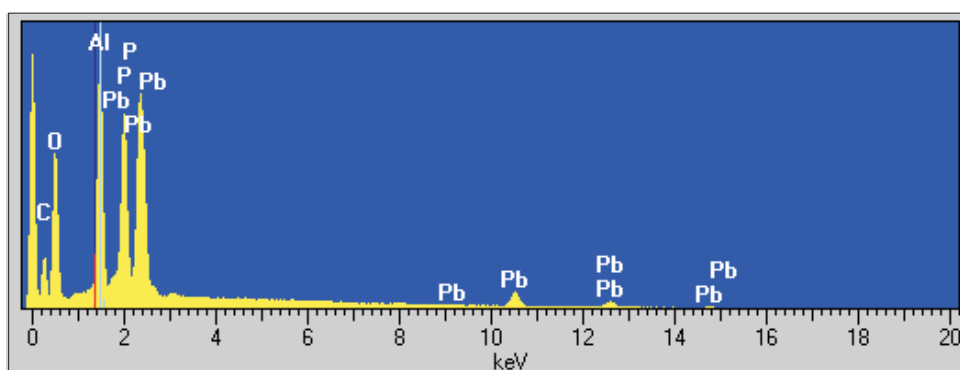


Figura 6.5-3. Espectro que ilustra a composição de plumbogummita que ocorrem em gnaíse (◆) do Prospecto Lenhoso (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.6. SULFATOS

Os sulfatos, também caracterizados por microscopia eletrônica, têm ocorrência restrita e sempre em pequenas proporções, tendo sido caracterizados calcokianita (Imagem 6.6-1), barita e anidrita. A Tabela 6.6-1 (apêndice 10) apresenta os dados analíticos semiquantitativos obtidos para esses minerais.

6.6.1. Calcokianita

Esse sulfato ocorre somente em metachertes hidrotermais e rochas gnáissicas, respectivamente dos prospectos Boa Vista e Lenhoso. Forma cristais anédricos de

granulação muito fina, que se dispõem entre limites de grãos de quartzo no primeiro tipo litológico e constituem inclusões em feldspatos potássicos nos gnaisses.

A análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV) revelou a presença de Si, Al,

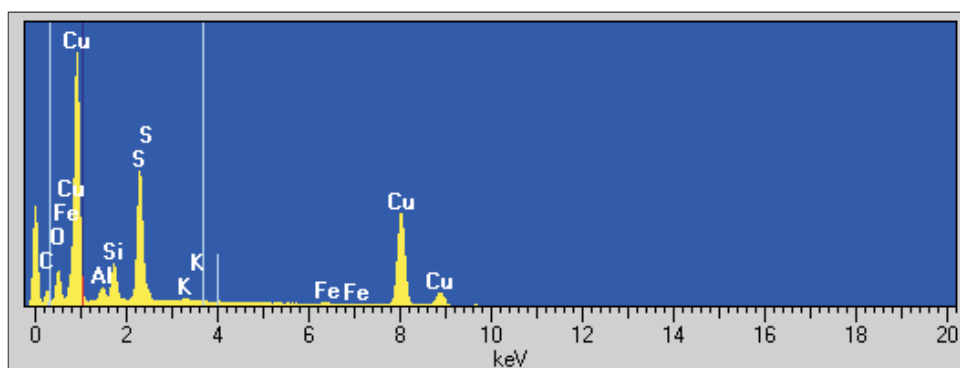


Figura 6.6-1. Espectro que ilustra a composição de calcokianita que ocorre em rocha gnáissica (◆) do Prospecto Lenhoso (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.6.2. Barita

Foi registrada a ocorrência de barita em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista, quartzitos e veios de quartzo do Prospecto Lenhoso, rochas quartzíticas, gnáissicas, anfibolíticas e veios de quartzo do Prospecto Gravatá e veios de quartzo do Prospecto Colônia. São minerais essencialmente anédricos e de granulação muito fina, que ocorrem normalmente entre limites de grãos da matriz quartzosa a localmente alojados em microfraturas, como em veios do Prospecto Gravatá.

A Figura 6.6-2 ilustra a composição desses sulfatos, onde, em conjunto com os dados analíticos, observa-se a ausência de elementos que comumente substituem o Ba (Sr, Ca e Pb). A ocorrência de Si, detectada na maioria das análises, além de Al e Fe em minerais que ocorrem em metachertes hidrotermais é proveniente da associação desses a quartzo e

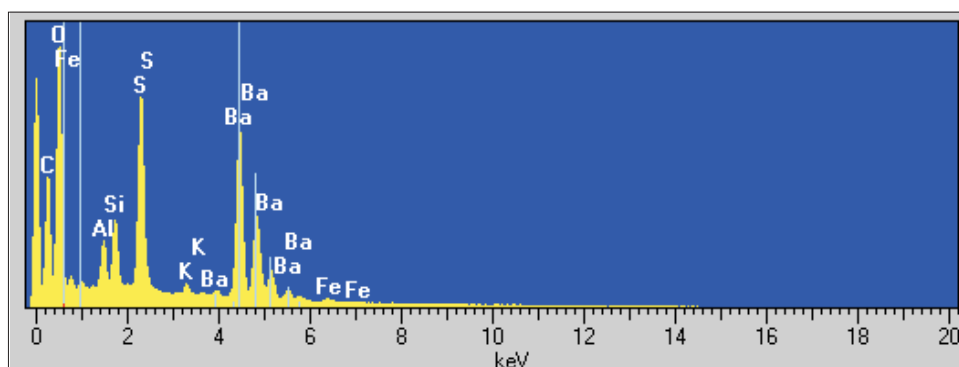


Figura 6.6-2. Espectro que ilustra a composição de barita que ocorre em formações feríferas (▼) do Prospecto Boa Vista (análise em microscópio eletrônico de varredura).

6.6.3. Anidrita

Caracterizada essencialmente em veios de quartzo do Prospecto Colônia, a anidrita forma cristais anédricos e de granulação muito fina, ocorrendo muito restritamente em microfraturas.

6.7. METAIS NATIVOS

Por meio dos estudos em microscopia eletrônica foi detectada a presença de associações entre diversos metais nativos, que têm ampla ocorrência em várias rochas de todos os prospectos estudados.

Em metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista ocorrem associados entre si Cu-Fe-Co, Fe-W-Co-Ti, Fe-Mo-W e W-Nb-Hg, enquanto em muscovita/sericita-quartzo xistos, formações ferríferas e talco xistos do Prospecto Lenhoso foram constatados Fe-Mo-W e Fe-Cr-Mn e Fe-Cr, respectivamente.

Já em quartzitos do Prospecto Gravatá ocorre Fe-Mn, Fe-Cu-Zn, Fe-Sn-Ti e Fe-Ni-Mo, sendo esta última associação de metais também caracterizada em metachertes deste prospecto. Em xistos quartzosos do Prospecto Colônia foi observada a presença de Fe-Mn e Cu-Zn.

6.8. OURO/AUROCUPRITA

A ocorrência de ouro foi constatada em muscovita/sericita-quartzo xistos, quartzitos, metachertes, metachertes hidrotermais (Imagens 6.8-1 a 6.8-5 e Fotomicrografias 6.8-1 a 6.8-3), gnaisses e veios de quartzo.

Os grãos de ouro, caracterizados por estudos de microscopia eletrônica (Tab. 6.8-1 – apêndice 11), são representados por composições essencialmente puras e localmente contendo prata.

Em grãos que contêm prata foram detectados ainda outros elementos que provêm da matriz das rochas hospedeiras, bem como também da freqüente associação desses a óxidos e hidróxidos (Fig. 6.8-1).

Comumente o ouro analisado associa-se a uma ou mais fases de óxidos (Fig. 6.8-2), que conforme ilustrado na Imagem 6.8-1, localmente ocorre junto a aurocuprita/tetra-aurocuprita e cuprita.

O ouro (e fases associadas) constitui normalmente grãos de granulação muito fina, que são freqüentemente subarredondados (Fotomicrografias 6.8-1 e 6.8-3) ou leve a fortemente alongados (Fotomicrografia 6.8-2). Ocorrem sob a forma de inclusões em cristais de quartzo (Imagens 6.8-2 a 6.8-4), em meio a limite de grãos de quartzo (Imagem 6.8-4) e ainda junto a níveis goethíticos (Fotomicrografias 6.8-1 a 6.8-3 e Imagem 6.8-5).

As composições verificadas semiquantitativamente nesses grãos, revelam que a presença de prata pontualmente chega a representar teores superiores a 10% em peso.

Também se constata considerável variação em relação às proporções Au/Cu, representadas na Figura 6.8-3, destacando-se uma correlação positiva bem marcada entre os teores da maioria dos grãos analisados.

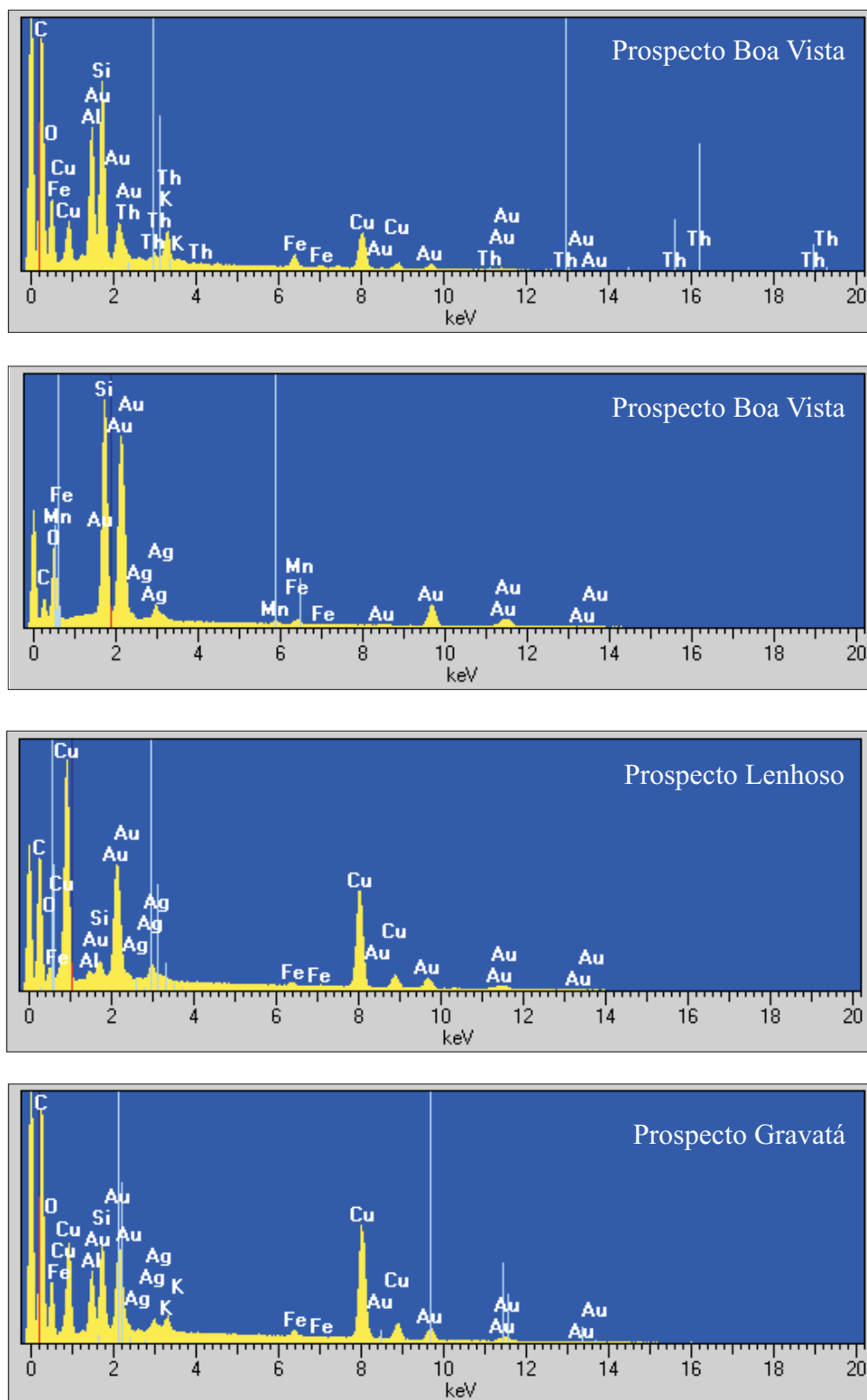


Figura 6.8-1. Espectros que ilustram a composição de grãos de ouro que contêm prata e se associam a outros elementos, que ocorrem, respectivamente em quartzitos e metachertes hidrotermais do Prospecto Boa Vista - ■ e ▼ -, muscovita/sericita-quartzito xistos do Prospecto Lenhoso - ● - e quartzitos do Prospecto Gravatá - ▼ -(análises em microscópio eletrônico de varredura).

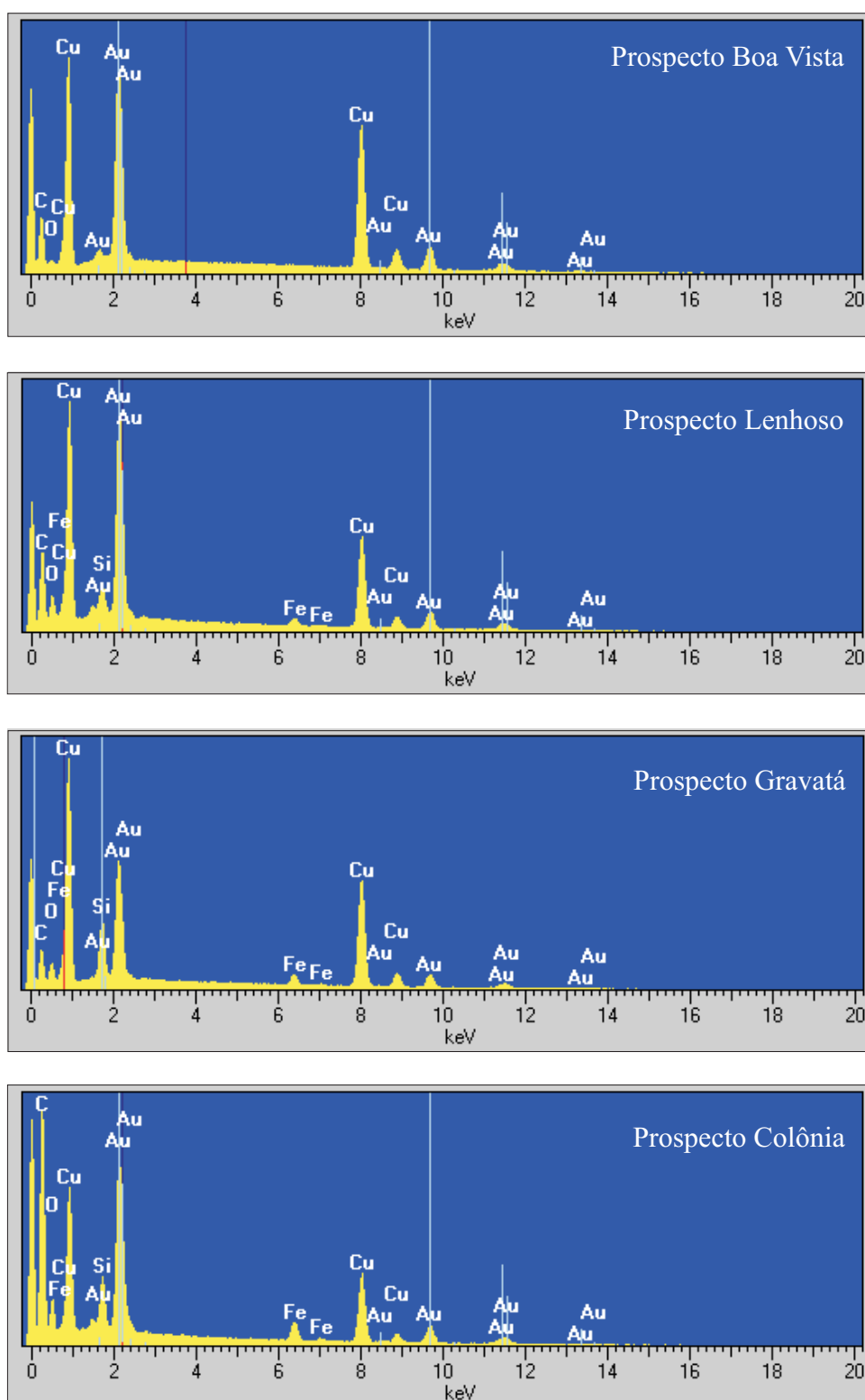


Figura 6.8-2. Espectros que ilustram a composição de grãos de aurocuprita hospedados em muscovita/sericita-quartzo xistos (análise em microscópio eletrônico de varredura). Prospectos: Boa Vista -  , Lenhoso -  , Gravatá -  e Colônia - 

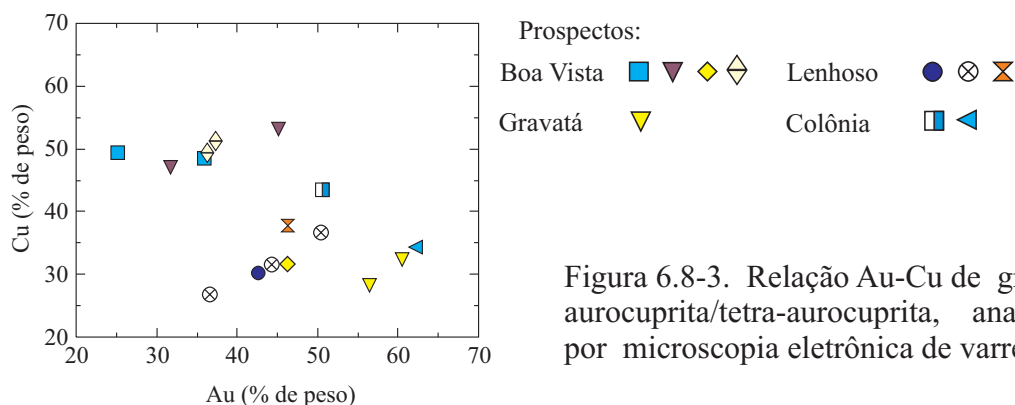


Figura 6.8-3. Relação Au-Cu de grãos de aurocuprita/tetra-aurocuprita, analisados por microscopia eletrônica de varredura.

6.9. SILICATOS

São considerados na presente caracterização somente os silicatos que foram submetidos a análises de química mineral, que constam de micas brancas, cloritas, biotitas e turmalinas, cujos dados analíticos são apresentados respectivamente nas Tabelas 6.9-1 a 6.9-4 (apêndice 12).

Dentre os minerais filossilicáticos que se associam aos diversos litotipos que ocorrem nas áreas estudadas destacam-se principalmente as micas brancas. A grande maioria desses minerais ocorre eminentemente associado à foliação milonítica caracterizando os muscovita/sericita-quartzo xistos, além de secundariamente também em quartzitos, metachertes e veios de quartzo. Essas micas foram reconhecidas ainda dispostas em venulações, fraturas e englobadas por outros minerais.

A presença de cristais de clorita restringe-se a rochas gnáissicas (cloritas provenientes de rochas metabásicas/ultrabásicas não foram caracterizadas quimicamente), predominantemente preenchendo microfraturas, venulações e raramente associados à foliação.

A caracterização de cristais de biotita refere-se aqueles associados à foliação milonítica em gnaisses, e mais restritamente aos que ocorrem em veios de quartzo.

Objetivando a determinação do quimismo desses filossilicatos, foram estudados minerais eminentemente hidrotermais (de ocorrência em veios, venulações e microfraturas) e aqueles de origem metamórfica/metamórfico-hidrotermal (que definem a foliação milonítica).

Foram também analisados cristais de turmalina, sempre associados à foliação milonítica junto à assembléia mineral portadora de ouro.

6.9.1. Micas brancas

Foram realizadas análises em micas brancas provenientes de xistos, gnaisses e veios de quartzo (Tab. 6.9-1 – apêndice 12). Essas micas ocorrem em contextos distintos, sendo o mais comum associadas à intensa foliação milonítica desenvolvida nos vários termos petrográficos estudados, ocorrendo ainda como produto de alteração de plagioclásio em rochas gnáissicas, e eminentemente associadas a hidrotermalismo em veios de quartzo e localmente em quartzitos.

A relação Al_2O_3 -FeO- K_2O observada em minerais que ocorrem em rochas xistosas, ilustrada na Figura 6.9-1a, mostra-se muito similar para todo o conjunto analisado, havendo pequena distinção em cristais provenientes de rochas do Prospecto Colônia, para os quais é notado decréscimo nos teores de FeO.

Para o MgO e TiO_2 são registradas correlações negativas com Al_2O_3 , onde o MgO é caracterizado por teores relativamente constantes nas micas da maioria das amostras, destacando-se aquelas que ocorrem no Prospecto Colônia, que atingem até 1,77% deste óxido, enquanto os que ocorrem no Prospecto Gravatá, embora possuam variação nos valores, ostentam os menores teores. Já a presença de TiO_2 , comum a todos os minerais, é marcante nos filossilicatos dos litotipos do Prospecto Colônia, os quais definem tanto os maiores como os menores teores.

Nos minerais dessas rochas, destacam-se ainda os teores de Cr_2O_3 , que embora normalmente ostenta baixos valores, localmente são representados por 0,50 a 0,85% (Prospecto Colônia), BaO que chega a atingir 0,65% (Prospecto Lenhoso) e Na_2O que atinge valores pouco superiores a 1,0%.

A relação Al_2O_3 -FeO- K_2O de micas de veios de quartzo e rochas gnáissicas, apresentadas conjuntamente (Fig. 6.9-1b), é marcada por uma maior dispersão dos teores desses compostos, principalmente nas proporções entre Al_2O_3 e FeO (que apresentam correlação negativa entre si), sendo registrados os maiores valores de FeO em minerais que ocorrem em gnaisses do Prospecto Gravatá e de Al_2O_3 em filossilicatos associados a veios de quartzo do Prospecto Boa Vista. No contexto geral dessa relação, os minerais das distintas amostras apresentam características tenuamente distintas entre si.

As micas dos veios e gnaisses mostram no geral correlação negativa entre Al_2O_3 e MgO, sendo a grande maioria destas representada por teores entre 1 e 2% de MgO, localmente atingindo 3,77% (proveniente de gnaiss de Prospecto Lenhoso) e pontualmente com ausência deste óxido (veio do mesmo prospecto). Em micas de gnaisses do Prospecto Gravatá, são registrados os mais expressivos teores de TiO_2 , chegando a representar mais de 1,2%. Também se destacam os teores de BaO (1,07%) e Cr_2O_3 (até 0,77%) em filossilicatos que ocorrem em veios, respectivamente dos prospectos Gravatá e Boa Vista.

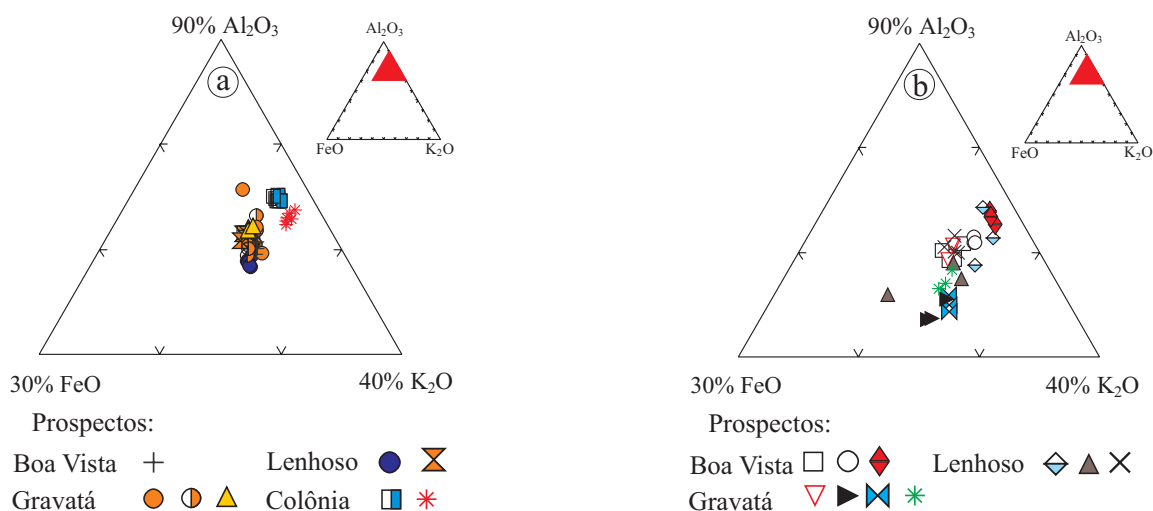


Figura 6.9-1. Relação Al_2O_3 -FeO- K_2O observada em micas brancas que ocorrem em (a) muscovita/sericita-quartzo xistos e (b) veios de quartzo e gnaisses.

De acordo com o diagrama $MR^3-2R^3-3R^2$ (Velde, 1985), esses filossilicatos são classificados predominantemente como metamórficos e apresentam tendência para composição fengítica (Figura 6.9-2). No entanto, alguns cristais analisados posicionam-se mais próximo do campo de micas magmáticas (rochas quartzíticas), entre esse último campo e a área de alto grau diagenético (xistos), e entre essa área e o campo das illitas geradas por hidrotermalismo em rochas graníticas (xistos), havendo ainda um ponto disperso fora dos campos considerados (rochas gnáissicas).

A relação $Na/(Na+K)$, apresentada na Figura 6.9-3, mostra-se amplamente variável de acordo com o tipo litológico hospedeiro. Os maiores valores obtidos por meio da referida relação, são constatados em minerais que ocorrem em muscovita/sericita-quartzo xistos dos prospectos Gravatá e Lenhoso (Fig. 6.9-3a) e veios de quartzo deste último prospecto (Fig. 6.9-3b). Já os menores valores são caracterizados em veios e gnaisses, tanto do Prospecto Lenhoso como do Prospecto Gravatá.

Segundo Speer (1987), esses filossilicatos, quando apresentam relação $Na/(Na+K)$ em torno de 0,02%, indicam uma origem hidrotermal a pelo menos pós-magmática. Os minerais acima referidos como portadores dos menores valores ostentam essa porcentagem, ressaltando-se que as micas presentes em gnaisses são representantes de processos de alteração de plagioclásio.

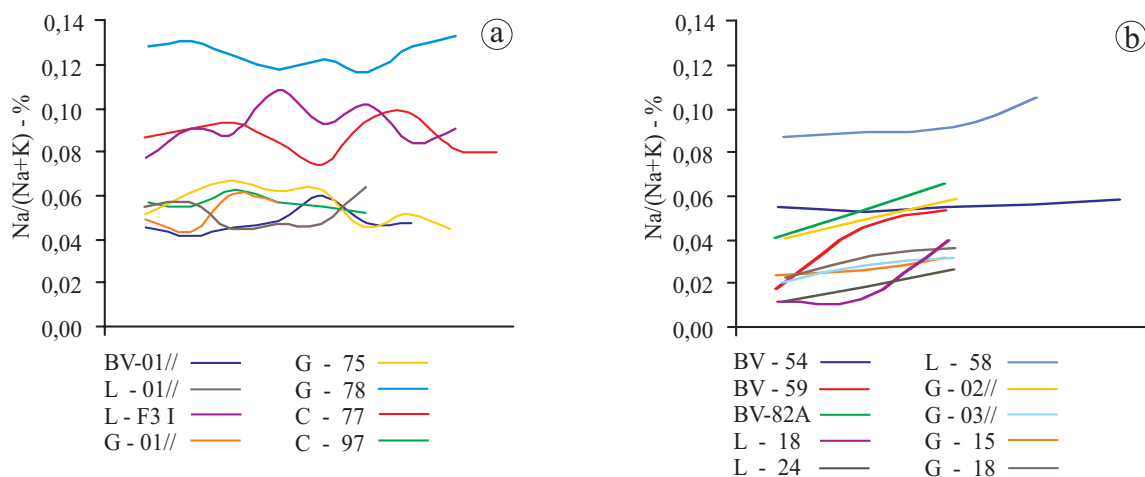
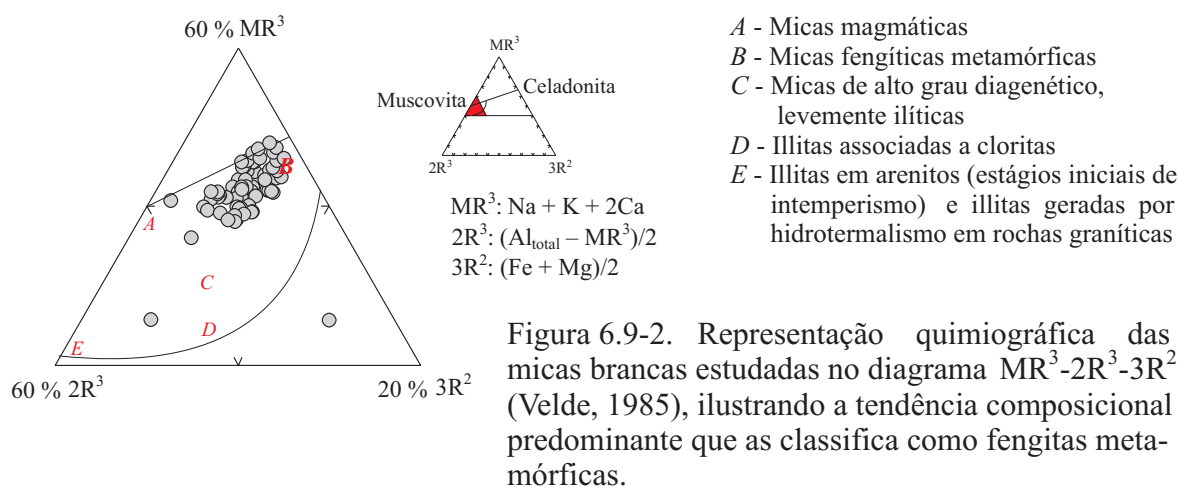


Figura 6.9-3. Relação $Na/(Na+K)$ observada em micas brancas que ocorrem em (a) muscovita/sericita-quartzo xistos e (b) veios de quartzo e gnaisses.

6.9.2. Clorita

Foram analisados cristais de clorita que ocorrem preenchendo microfraturas normais à foliação milonítica em rochas gnáissicas dos prospectos Lenhoso e Colônia e ainda associadas a processos de alteração de cristais de biotita junto à foliação milonítica em gnaisses do Prospecto Gravatá (Tab. 6.9-2 – apêndice 12).

Estes minerais, de acordo com a classificação de Foster (1962), apresentam composição essencialmente de ripidolita (Fig. 6.9-4).

A relação $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, apresentada na Figura 6.9-5, é marcada principalmente pelo agrupamento definido pelas cloritas que ocorrem em gnaisses do Prospecto Gravatá, que ostentam maiores quantias de FeO, resultantes ainda da composição herdada de biotitas, além ainda pela relativa tendência linear de aumento nos teores de Al_2O_3 evidenciada em rochas do Prospecto Lenhoso e também do Gravatá.

Quanto aos demais óxidos dosados, destacam-se os teores de CaO de minerais presentes em rochas do Prospecto Gravatá (que mantêm contato com cristais de biotita), que chegam a representar até 0,30%, além de MnO, presente em todas as amostras com teores variando de 0,19 a 0,49%. Ausente na maioria dos cristais analisados, apenas pontualmente o BaO se apresenta expressivo, atingindo teor de 0,36% em gnaisses do Prospecto Lenhoso. Já para o K_2O são registrados altos valores em clorita que resulta da alteração de biotita e/ou que estão em contato com esses minerais, chegando a atingir teor superior a 1,0%.

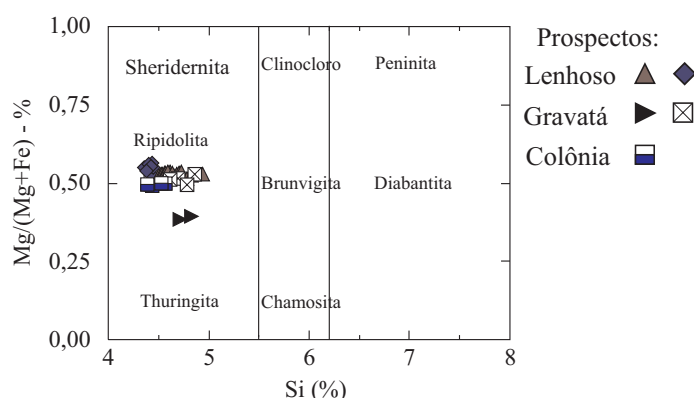


Figura 6.9-4. Classificação dos cristais de clorita estudados por meio do diagrama Si-Mg/(Mg+Fe) - Foster, 1962.

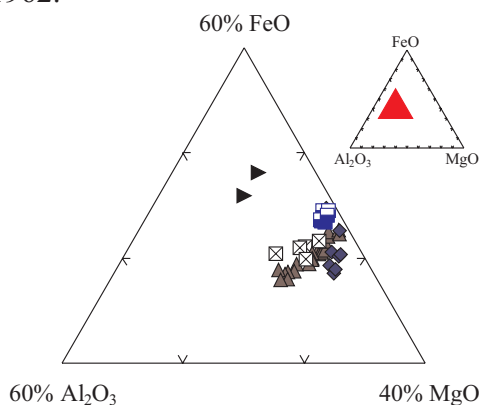


Figura 6.9-5. Relação $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ constatada em cristais de clorita que ocorrem em rochas gnáissicas.

6.9.3. Biotita

Foram desenvolvidas análises de química mineral em cristais de biotita de rochas gnáissicas dos prospectos Lenhoso e Gravatá (Tab. 6.9-3 – apêndice 12), as quais ocorrem definindo os planos da foliação milonítica. É comum a superimposição de processos de alteração a esses filossilicatos, freqüentemente propiciando a geração de sericita e clorita.

De acordo com a classificação de Speer (1987), o quimismo das biotitas estudadas se aproxima da composição de siderofilas, conforme ilustrado na Figura 6.9-6.

A relação Si-Fe/(Fe+Mg) evidencia que as biotitas formam agrupamentos distintos, notadamente com valores mais elevados em Fe nos litotipos do Prospecto Lenhoso e com teores mais robustos em Mg nas rochas do Prospecto Gravatá (Fig. 6.9-7a). Ressalta-se que o ponto que apresenta deslocamento em relação a Si se refere a um cristal em processo de cloritização. A relação Ti-Fe/(Fe+Mg) também confirma a referida distinção composicional (Figura 6.9-7b).

Todos os demais óxidos dosados apresentam teores freqüentemente observados nesses minerais.

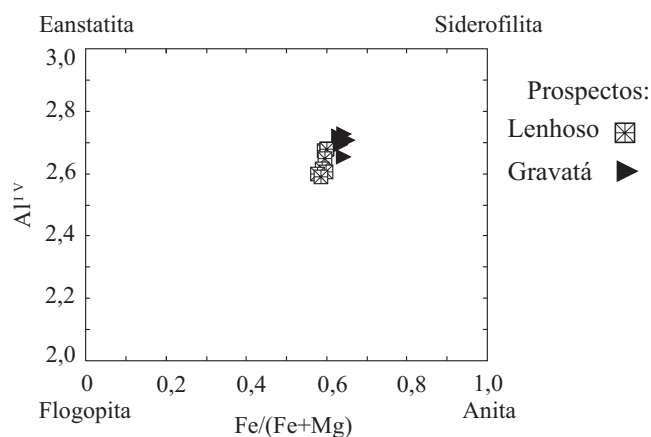


Figura 6.9-6. Diagrama Al - Fe/(Fe+Mg) - Speer (1987) -, ilustrando a tendência composicional dos cristais de biotita estudados.

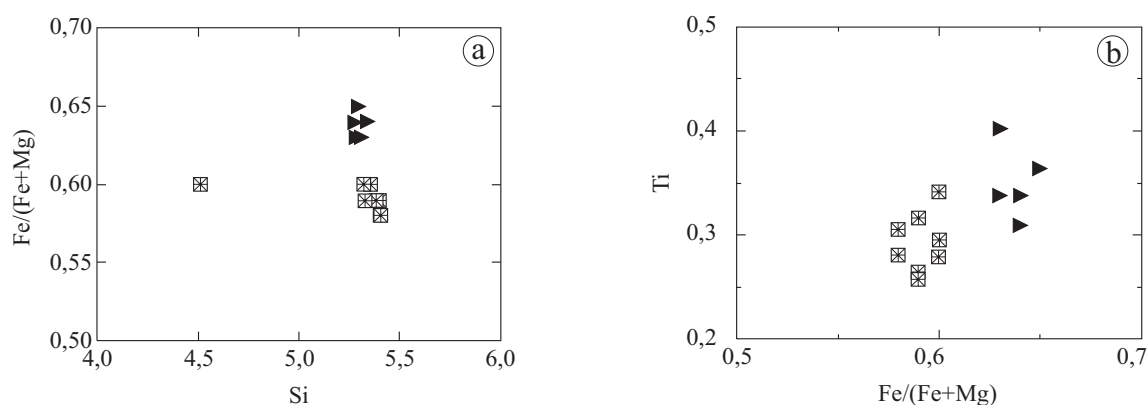


Figura 6.9-7. Diagramas (a) Si-Fe/(Fe+Mg) e (b) Ti-Fe/(Fe+Mg) ilustrando que os cristais de biotita analisados formam agrupamentos distintos de acordo com o tipo litológico hospedeiro. (Legenda Fig. 6.9-6).

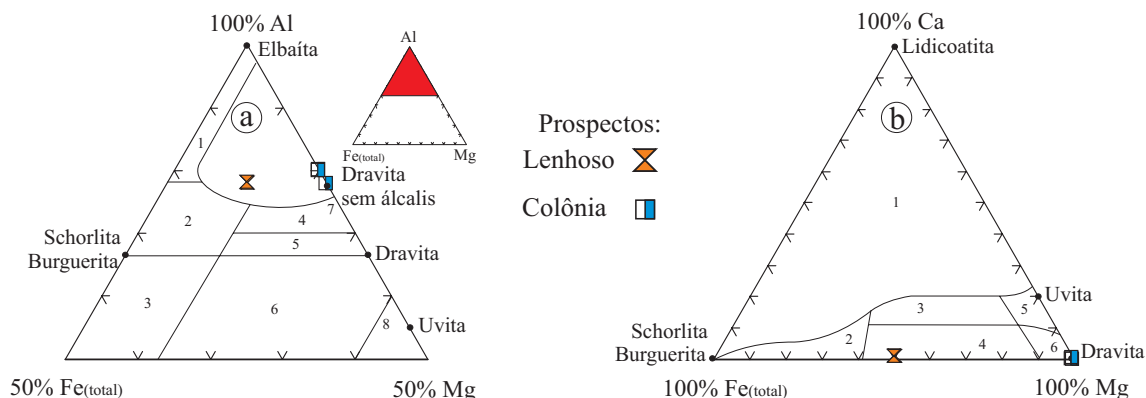
6.9.4. Turmalina

Foram caracterizados quimicamente cristais de turmalina associados à foliação milonítica em muscovita/sericita-quartzo xistos dos prospectos Lenhoso e Colônia (Tab. 6.9-4 – apêndice 12). A ocorrência destes minerais restringe-se a esses litotipos, sendo representados por cristais de granulação fina a grossa, euédricos e frequentemente com bordas corroídas.

Conforme apresentado na Figura 6.9-8, embora tenham sido analisados poucos minerais, estes possuem composições que os distingue quanto à rocha hospedeira. Assim, de acordo com a classificação de Deer *et al.* (1992), os grãos de turmalina que ocorrem nos xistos do Prospecto Colônia apresentam quimismo referente a dravita sem álcalis, enquanto aqueles associados às rochas do Prospecto Lenhoso, embora ocupem também o mesmo campo composicional, apresentam-se com maiores proporções moleculares de Fe_{total} e menores de Mg (Fig. 6.9-8a).

Segundo a classificação proposta por Henry & Guidotti (1985), a turmalina das rochas do prospecto Lenhoso apresenta características químicas passíveis de serem associadas a rochas metassedimentares que coexistem com fase saturada em alumínio (Fig. 5.4-38b). Já os minerais representantes do Prospecto Colônia, ostentam quimismo que os classifica como rochas ricas em Fe^{3+} , calcissilicáticas ou ainda metapelíticas (Fig. 6.9-8b).

Entretanto, os referidos autores ressaltam que os campos para os diferentes tipos petrográficos não são sistemáticos para rochas hidrotermalizadas.



Campos com variações composicionais referentes a distintos tipos litológicos:

- 1- granitos, pegmatitos e aplitos ricos em Li;
- 2- granitos, pegmatitos e aplitos pobres em Li;
- 3- rochas com quartzo e turmalinas ricas em Fe_3 (granitos alterados hidrotermalmente);
- 4- metapelitos e metapsamitos coexistindo com fase saturada em Al;
- 5- metapelitos e metapsamitos não coexistindo com fase saturada em Al;
- 6- rochas com quartzo e turmalinas ricas em Fe_3 , rochas calcissilicáticas e metapelitos;
- 7- rochas metaultramáficas com baixo Ca, metassedimentos ricos em Cr e V;
- 8- metacarbonatos e metapiroxenitos.

Figura 6.9-8. Diagramas classificatórios para cristais de turmalina (Henry & Guidotti, 1985). Relação -proporção molecular- Al-Fe-Mg (a) e Ca-Fe-Mg (b).

6.10. SÍNTESE DO ESTUDO DO QUIMISMO MINERAL

A caracterização do quimismo de diversos minerais gerados durante o processo metamórfico-hidrotermal, associados diretamente ou não a mineralização aurífera, permitiu o reconhecimento de distintos padrões químicos. Esses padrões refletem a ação do referido processo no contexto da interação entre fluidos metamórficos e hidrotermais com os diferentes tipos de rochas hospedeiras da mineralização.

O processo de sulfetação é representado por uma ampla assembléia mineral, desenvolvida em distintos tipos petrográficos, conforme apresentado no Quadro 6.10-1, sendo representada por pirita, pirrotita, calcopirita, arsenopirita e esfalerita e galena, ocorrendo subordinadamente ainda pentlandita, argentita, cobaltita e molibdenita.

Esses sulfetos ostentam características distintas, sendo caracterizado localmente pirita niquelífera, pirrotita niquelífera a cuprífera, calcopirita zincífera, arsenopirita rica em Sb, Mo e Cu, e pentlandita cobaltífera.

Dentre esses, destaca-se principalmente a ocorrência de pentlandita em metachertes hidrotermais, quartzitos, metachertes e muscovita/sericita-quartzo xistos, que marca a interação entre fluidos e rochas de composição básica/ultrabásica.

Os óxidos também constituem uma assembléia mineral diversificada, freqüente na maioria das rochas estudada, como ilustrado no Quadro 6.10-1, e é representada por magnetita, hematita, ilmenita, cromita, cuprita/paramelaconita/tenorita, rutilo/leucoxênio, tantalita, zincita, platenerita/scrutinyita e óxidos de Ni e Ni-Y.

Para o primeiro óxido referido são evidenciadas composições de titanomagnetita, enquanto a ilmenita é marcada por uma distinção composicional dependente do tipo litológico hospedeiro. A cromita também é marcada por distintos padrões químicos, apresentando-se rica em Al (alumocromita) quando hospedada em metachert, e rica em Fe quando em rocha básica/ultrabásica, sendo admitido para a ocorrência no primeiro tipo litológico ação de fluidos que interagiram com rochas metavulcânicas/plutônicas.

Os óxidos de cobre (cuprita, paramelaconita e tenorita), interpretados como produto de alteração supérgena da associação mineralógica que constitui a mineralização aurífera primária, presumivelmente à base de calcocita, localmente são caracterizados como portadores de Au e Sn.

A ampla ocorrência de rutilo/leucoxênio atesta alta fugacidade de oxigênio, enquanto a presença de tantalita titanífera conduz a uma interpretação de origem a partir da interação de fluidos oriundos de rochas de composição ácida e/ou metassedimentares.

Zincita ocorre em veios de quartzo e metachertes hidrotermais, sendo a ocorrência de platenerita/scrutinyita também registrada em veios e rochas quartzíticas. Esses minerais são marcados por teores relativamente expressivos de Fe e Cu.

Óxidos de Ni e Ni-Y também marcam a interação fluido-rocha, notadamente as de composição básica/ultrabásica. Destaca-se que o primeiro (bunsenita?) ocorre em veio de quartzo, enquanto o segundo em metacherte hidrotermal, a qual atesta também a origem a partir da interação de fluidos com rocha de composição ácida.

Quadro 6.10-1. Associações minerais apresentadas de acordo com a ocorrência nos principais tipos/agrupamentos litológicos estudados.

Prospecto	Tipo litológico	Sulfetos										Óxidos										Carbonatos				Fosfatos			Sulfatos			Metais/Au			
		py	po	ccp	asp	arg	sph	ga	pn	mol	cob	mag	hem	ilm	chr	cpt	zct	ptt	rut	tll	O _{Ni}	cc	ank	cer	ctr	mzt	xen	pgt	ckt	brt	any	met	auc	Au	
BOA VISTA	Veios de quartzo																																		
	Quartzo xistos																																		
	Quartzitos																																		
	Metachertes																																		
	Metacherte hidrotermal																																		
	Formações ferríferas																																		
	Gnaisses																																		
	Metabásicas/ultrabásicas																																		
LENHOSO	Veios de quartzo																																		
	Quartzo xistos																																		
	Quartzitos																																		
	Metachertes																																		
	Formações ferríferas																																		
	Gnaisses																																		
	Metabásicas/ultrabásicas																																		
GRAVATÁ	Veios de quartzo																																		
	Quartzo xistos																																		
	Quartzitos																																		
	Metachertes																																		
	Formações ferríferas																																		
	Gnaisses																																		
	Metabásicas/ultrabásicas																																		
COLÔNIA	Veios de quartzo																																		
	Quartzo xistos																																		
	Quartzitos																																		
	Metachertes																																		
	Formações ferríferas																																		
	Gnaisses																																		
	Metabásicas/ultrabásicas																																		

Abreviações

Sulfetos {
 py = pirita
 po = pirrotita
 ccp = calcopirita
 asp = arsenopirita
 arg = argentita
 sph = esfalerita
 ga = galena
 pn = pentlandita
 mol = molibdenita
 cob = cobaltita

Óxidos {
 mag = magnetita
 hem = hematita
 ilm = ilmenita
 chr = cromita
 cpt = cuprita
 zct = zincita
 ptt = platenerita
 rut = rutilo
 ttl = tantalita
 O_{Ni} = óxido de Ni e Ni/Y

Carbonatos {
 cc = calcita e/ou
 dolomita
 ank = ankerita/siderita
 cer = cerussita
 ctr = carbonato de
 terras raras

Fosfatos {
 mzt = monazita
 xen = xenotímio
 pgt = plumbogummita

Sulfatos {
 ckt = calcokianita
 brt = barita
 any = anidrita

Metais/Au {
 met = associação de metais
 auc = aurocuprita
 Au = ouro

O processo de goethitização é registrado pela ocorrência de goethitas cromíferas, cobaltíferas, cupríferas e niquelíferas, que representam o produto de alteração supergênica de sulfetos e óxidos.

Os demais minerais caracterizados no presente capítulo, com exceção dos silicatos, que tem ampla ocorrência, também são apresentados no Quadro 6.10-1 de acordo com o tipo litológico hospedeiro.

Os carbonatos são representados por calcita, cerussita, ankerita/siderita e carbonatos de terras raras, que ocorrem em diversos tipos petrográficos, com maior destaque para as rochas metassedimentares e/ou hidrotermais e principalmente veios de quartzo. Já dentre os fosfatos, destaca-se a ampla ocorrência de monazita, além de xenotímio/weinschenkita e plumbogummita, sendo este último caracterizado essencialmente em microfraturas.

Segundo Foster (1998), o xenotímio é um mineral raro encontrado em rochas graníticas, pegmatíticas e migmatíticas, além de rochas metamórficas de baixo grau. Como a ocorrência desse mineral é comum nos diversos tipos petrográficos estudados, que se apresentam metamorfisados em fácies anfibolito, admite-se que a origem desses esteja relacionada aos processos de natureza magmática ou hidrotermal.

A assembléia sulfatada é caracterizada por calcokianita, anidrita e principalmente barita, que ocorrem em rochas gnáissicas e anfibolíticas, metachertes hidrotermais, quartzitos e veios de quartzo.

Associações de metais nativos foram observadas em muscovita/sericita-quartzo xistos, metachertes hidrotermais, quartzitos e metachertes, sendo condizentes também com interação fluido-rocha a partir de rochas tanto básicas/ultrabásicas (Fe, Co, Ni) como ácidas (W, Mo, Nb, Hg, Sn).

A ocorrência de ouro foi constatada em diversas rochas de origem sedimentar e/ou hidrotermal, veios de quartzo e gnaisses, sendo caracterizado ouro livre, puro e ainda contendo prata, além de aurocuprita/tetra-aurocuprita associada a cuprita.

Dentre os silicatos abordados no presente estudo, as micas brancas, que ostentam composições condizentes com fengitas, destacam-se pela abrangência em vários litotipos, principalmente os muscovita/sericita-quartzo xistos e veios de quartzo. Para esses minerais são constatados expressivos teores de MgO, além de TiO₂, Cr₂O₃, BaO e Na₂O. Embora classificadas como metamórficas, a relação Na/(Na+K) indica origem hidrotermal a pelo menos pós-magmática para alguns minerais.

Cloritas eminentemente hidrotermais, dispostas em microfraturas, apresentam composição essencialmente de ripidolita, que evidenciam tênue destaque dos teores de CaO, MnO, K₂O e pontualmente BaO. Os cristais de biotita estudados possuem quimismo próximo a siderofilas, as quais denotam distinções relativas às concentrações de Fe e Mg, enquanto a turmalina é caracterizada por cristais de dravita (sem álcalis).

7. CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DA MINERALIZAÇÃO

Neste item são apresentadas as estimativas das temperaturas de cristalização de alguns minerais, principalmente aqueles relacionados com a mineralização aurífera, considerando tanto a quantificação de seu quimismo mineral como a associação paragenética. Também são apresentadas as características dos fluidos envolvidos no processo metamórfico-hidrotermal, bem como são aventadas as demais condições físico-químicas, que constituíram os parâmetros patrocinadores das concentrações auríferas.

7.1. ESTIMATIVA DA TEMPERATURA

Na estimativa da temperatura são considerados os dados analíticos de clorita, micas brancas e sulfetos, além ainda de associadas informações referentes as associações minerais observadas e caracterizadas no capítulo anterior.

7.1.1. Cristalização das cloritas

Os dados analíticos de química mineral das cloritas (Tab. 6.9-2 – apêndice 12) possibilitaram o cálculo da temperatura de cristalização desses minerais, utilizando o geotermômetro proposto por Cathelineau & Nieva (1985) e Cathelineau (1988). O geotermômetro da clorita considera que as posições tetraédricas não preenchidas por Si e que são ocupadas por Al^{IV} são decorrentes do incremento da temperatura. A Figura 7.1-1 ilustra a estimativa de temperatura para os cristais de clorita que ocorrem nas rochas gnáissicas estudadas, sendo o cálculo individual dessas apresentado na Tabela 7.7-1 (apêndice 13).

Destaca-se que em amostras do prospecto Lenhoso, onde foram individualizados cristais que ocorrem em microfraturas distintos, o referido geotermômetro registra médias de temperaturas de 268,5 a 313,2°C, enquanto em microfraturas de rochas do Prospecto Colônia é registrada média de 298,5°C. Já os minerais associados à foliação milonítica, que são resultantes da alteração de cristais de biotita, em gnaisses do Prospecto Gravatá, apresentam médias de temperaturas de 242,5 e 248,5°C.

Desta forma, são registradas as temperaturas do evento hidrotermal final, compreendidas no intervalo geral entre 270 a 310°C, que propiciou a geração de clorita em microestruturas distintas àquelas associadas ao processo mineralizante. Quanto ao registro de temperaturas próximas a 250°C, essas devem provir do evento retrometamórfico atuante em todos os tipos petrográficos.

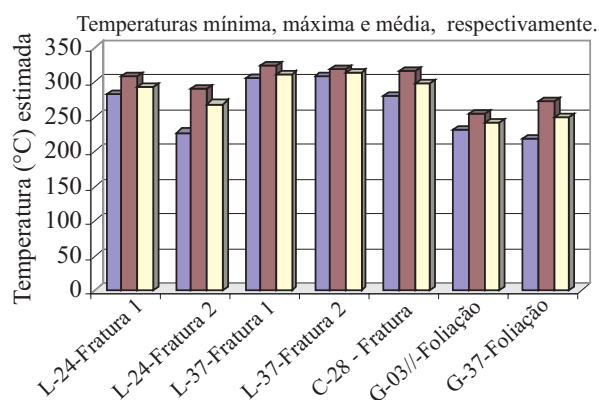


Figura 7.1-1. Relação entre temperaturas mínima e máxima e média das temperaturas estimadas para a cristalização de clorita que preenche microfraturas e que se associa a foliação milonítica.

7.1.2. Cristalização das micas brancas

Para a estimativa dos intervalos de temperatura de cristalização das micas brancas fengíticas foram aplicados os conceitos de Monier & Robert (1986), referentes a estudos experimentais em soluções sólidas de muscovita. Estes autores definiram campos de diferentes intervalos considerando a relação $M^2(Fe+Mg)$ -Al-Si.

A Figura 7.1-2 apresenta a relação supracitada em diagrama ternário, onde foram plotados os dados analíticos das amostras estudadas (Tab. 6.9-1 – apêndice 11), enquanto a Figura 7.1-3 ilustra os distintos intervalos de temperatura individualizados para o conjunto de análises em micas que ocorrem associadas a veios de quartzo, quartzitos e rochas gnáissicas, além daquelas associadas à foliação milonítica em xistos, discriminadas por área de estudo.

As micas que ocorrem em veios de quartzo, portanto eminentemente de origem hidrotermal, posicionam-se predominantemente entre o limite inferior e superior do campo de 500°C, portanto com temperaturas da ordem de 500°C a próximo a 600°C. Similarmente, os filossilicatos associados a rochas quartzíticas e rochas gnáissicas também se situam no referido campo.

Já nas micas desenvolvidas nos xistos, se verifica que em rochas dos prospectos Boa Vista e Lenhoso essas se concentram no campo de 600°C, com temperaturas estimadas $\approx 600 < 650^\circ\text{C}$, enquanto nos litotipos dos prospectos Gravatá e Colônia esses minerais ocupam os campos de 500°C até o campo de 650°C, interpretados como da ordem de ≈ 550 -650°C.

Assim, ao considerar que os minerais caracterizados como de origem hidrotermal (tanto associados a veios de quartzo como englobados por outras fases minerais) apresentam temperaturas estimadas da ordem de 500-600°C, admite-se que os demais filossilicatos, por apresentarem características químicas semelhantes, foram gerados por processo similar.

O evento mineralizante associa-se a este processo, reconhecido como de origem metamórfico-hidrotermal, com temperaturas condizentes com a fácies anfibolito.

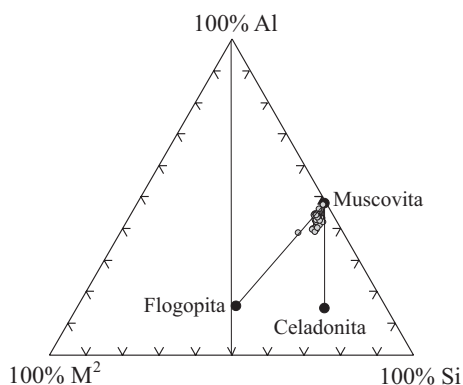


Figura 7.1-2. Diagrama $M^2(Fe+Mg)$ -Al-Si (Monier & Robert, 1986) ilustrando o posicionamento das micas brancas estudadas.

7.1.3. Cristalização de Sulfetos

A abordagem apresentada a seguir considera as relações observadas nos sistemas Cu-Fe-S, Fe-S e mais restritamente As-Fe-S a partir de dados analíticos obtidos durante os estudos de química mineral em sulfetos (Tabs. 6.1-1 a 6.1-4 – apêndice 54), e tem por objetivo a estimativa da temperatura de cristalização dos minerais gerados com as composições supracitadas.

Sistema Cu-Fe-S

Tendo como representante principal a calcopirita, o sistema Cu-Fe-S é objeto de estudo de diversos autores, destacam-se os experimentos de Yund & Kellrud (1966), Cabri *et al.* (1973) e Sugaki *et al.* (1975), sendo que enquanto os realizados por esses últimos autores consideram condições hidrotermais, os dos demais foram realizados em condições secas, e que serão considerados na análise do referido sistema para os sulfetos que ocorrem na região pesquisada.

A Figura 7.1-4 ilustra os campos composicionais definidos pelos referidos autores para o sistema Cu-Fe-S a diferentes temperaturas (de 700 a 300°C), nos quais foram plotados os dados analíticos dos sulfetos que apresentam tal composição.

Os sulfetos de cobre e ferro que ocorrem nas áreas pesquisadas formam essencialmente calcopiritas, as quais apresentam uma variação composicional muito pequena e ocupam basicamente o campo definido para esse mineral, podendo, entretanto, haver associação deste com diferentes soluções sólidas intermediárias.

Assim, conforme apresentado na Figura supracitada, as amostras ocupam o campo composicional da calcopirita nos diagrama definidos para 600°C (Yund & Kellrud, *op. cit.*) e ainda para 350 e 300°C (Sugaki *et al.*, *op. cit.*). Porém, nos diagramas estabelecidos pelos últimos autores referidos, as amostras apresentam-se deslocadas, e embora parte destas se situem no campo da calcopirita, a maioria se posiciona no campo caracterizado pela a associação de idaita+calcopirita+pirita e pirita+bornita+calcopirita, em temperaturas de 350 e 300°C, respectivamente.

De acordo com as associações minerais constatadas, onde há ausência tanto de idaita como bornita, e considerando a análise conjunta dos dados nos diversos diagramas apresentados na Figura 7.1-4, são estimadas temperaturas de aproximadamente 600°C para a cristalização dos sulfetos ora considerados.

Sistema Fe-S

O sistema Fe-S é aqui utilizado por abranger as composições referentes a pirita e pirrotitas, que ocorrem nos prospectos pesquisados, além ainda de considerar uma grande variedade de minerais relacionados a este sistema.

Os estudos relacionados às soluções sólidas de pirrotita, desenvolvidos por Kissin (1974), Morimoto *et al.* (1975a, b) e Barton & Skinner (1979), entre outros, tiveram por objetivo determinar as temperaturas de estabilidade desse mineral e permitem assim utilizá-lo como geotermômetro. Entretanto, de acordo com Vaughan & Craig (1978), esse

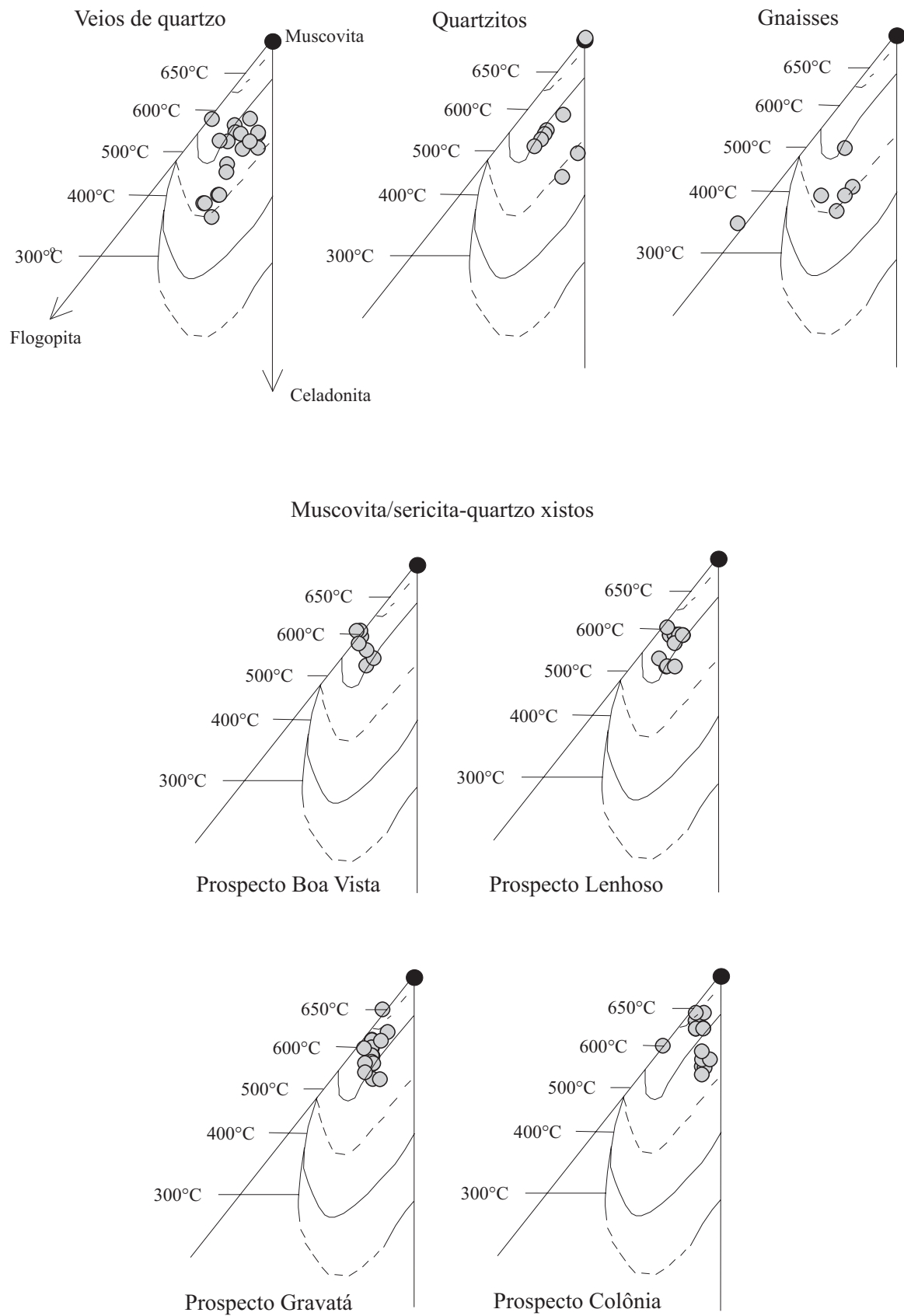


Figura 7.1-3. Intervalos de temperatura (detalhe da Figura 7.1-2 - Monier & Robert, 1986) indicando o posicionamento das micas brancas estudadas para diferentes litotipos.

geotermômetro mostra-se bastante limitado, podendo ser utilizado apenas em casos em que a estabilização de fases foi por resfriamento rápido.

Dentre as pirrotitas ainda há uma distinção que limita a sua utilização nos estudos geotermométricos, pois esses sulfetos, quando monoclinicos, podem desenvolver-se em temperaturas de 130 a 600°C, enquanto os que apresentam estrutura hexagonal possuem temperatura de estabilização acima de 308°C. Desta forma, somente as pirrotitas hexagonais são utilizadas como geotermômetros.

Utilizando os diagramas propostos por Barton & Skinner (1979) e Kissin (1974), aplicado à pirrotita, apresentados nas Figuras 7.1-5 e 7.1-6, constata-se que os as proporções atômicas de Fe dos minerais analisados plotam em diferentes campos, refletindo a ampla distinção composicional dos mesmos, embora a grande maioria situe-se entre as áreas definidas para pirrotita monoclinia e pirrotita hexagonal (NC) + pirrotita monoclinica.

Considerando os referidos gráficos, as composições observadas podem ser plotadas nos campos até em temperatura de 254°C, sendo que a associação pirrotita + pirita, como constatada em quartzitos do Prospecto Gravatá, gnaisses e muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Colônia e em veios de quartzo diversos, indica temperaturas superiores, limitadas nesses diagramas a 400°C. Para os casos onde os dados plotam no campo de pirrotita hexagonal (1C), sem a presença de pirita, estas poderiam ostentar temperaturas superiores a 300°C.

Assim, as temperaturas ora estimadas, embora possam apresentar uma considerável variação, devem estar posicionadas entre 300 a 400°C.

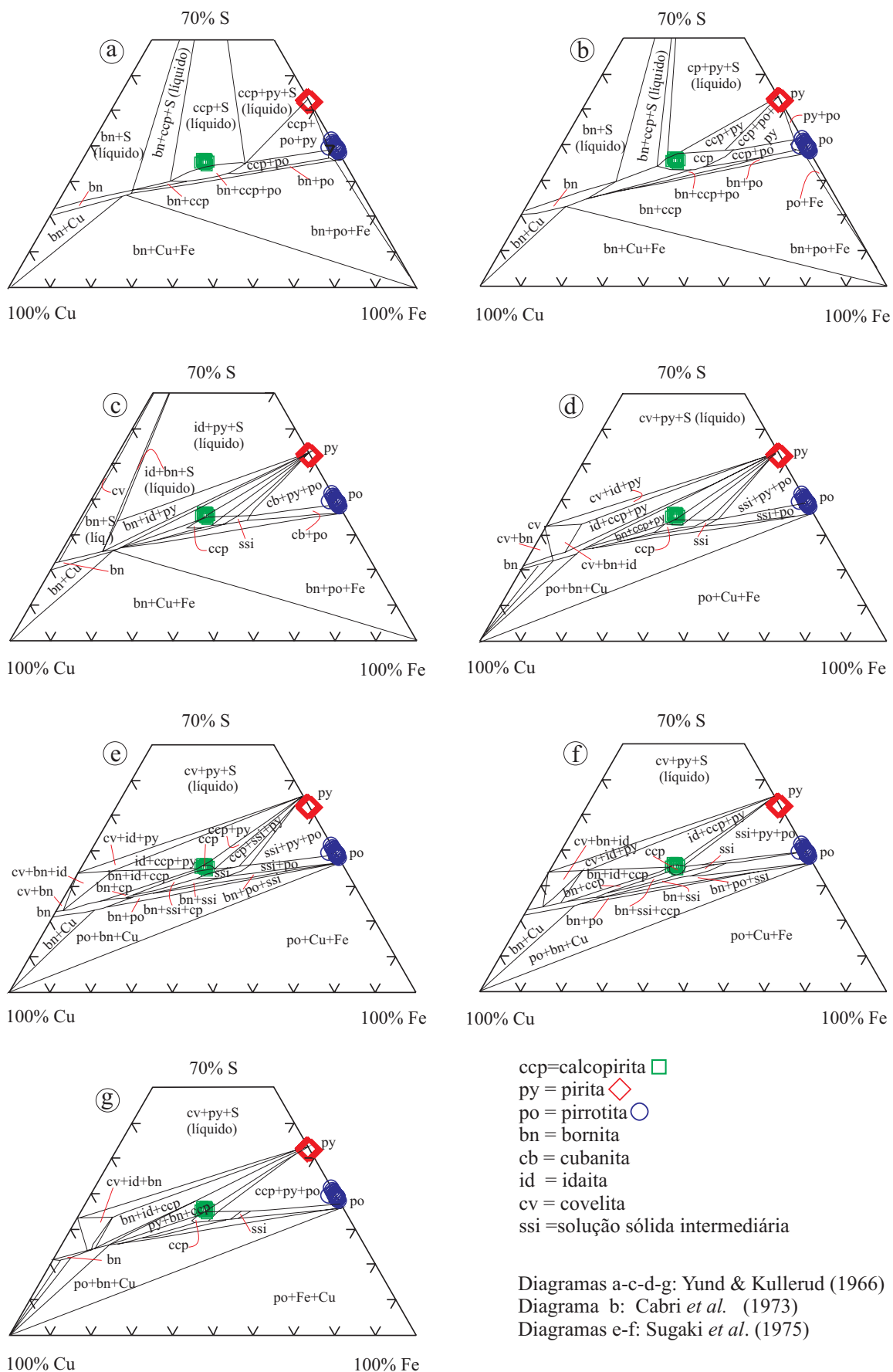


Figura 7.1-4. Diagramas de fase para o sistema Cu-Fe-S a 700°C (a), 600°C (b), 500°C (c), 400°C (d), 350°C (e) e 300°C (f e g).

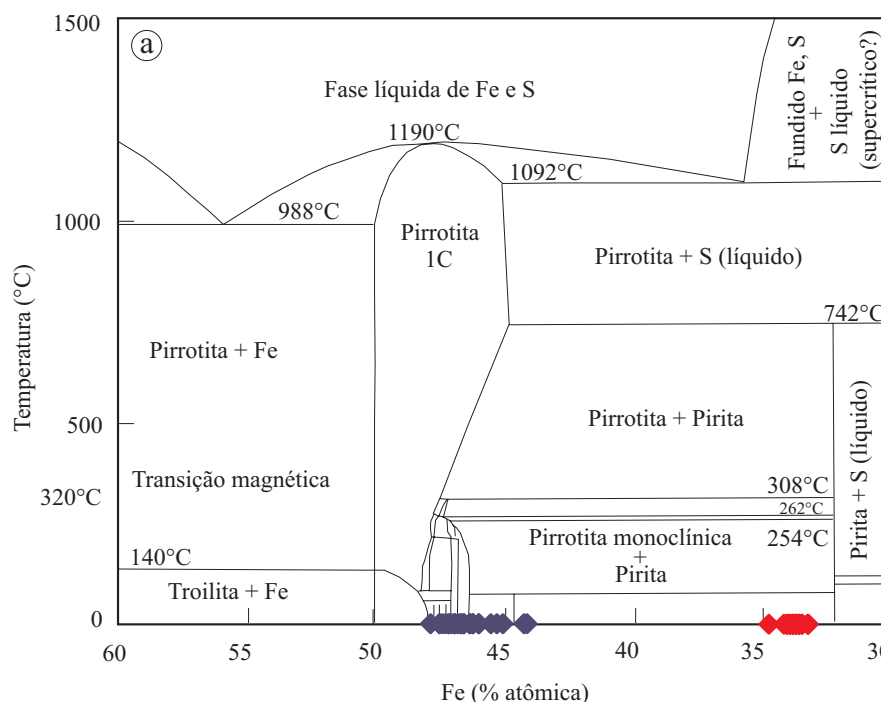


Figura 7.1-5. Diagrama de fase para a parte central do sistema Fe-S (adaptado de Barton & Skinner, 1979 e Kissin, 1974), ilustrando a porcentagem atômica de Fe verificada em cristais de pirita e pirrotita.

Sistema As-Fe-S

Este sistema tem sido aplicado em estudos geotermométricos, principalmente quando relacionado a mineralizações metamorfisadas.

Embora os dados analíticos obtidos para os cristais de arsenopirita estudados sejam essencialmente semiquantitativos (Tab. 6.1-4 – apêndice 54), aqueles que não apresentam impurezas, tais como Si, O e C, detectadas em alguns minerais, foram aplicados no referido geotermômetro.

Conforme ilustrado na Figura 7.1-7, dentre as amostras que foram consideradas, na relação As-Fe-S, estas ocupam os campos 1 e 2 e 5 e 7, respectivamente dos diagramas para temperaturas de 491-668°C e 363-491°C. Considerando as proporções atômicas de As algumas dessas foram inseridas nas áreas do pseudobinário temperatura-composição (parte das amostras ocupa campos distintos nos diagramas de fase/pseudobinário).

Como o estabelecimento da temperatura por meio dos referidos diagramas para esses sulfetos é dependente não somente da composição química, mas também do equilíbrio mineral, ressalta-se que as amostras ocupam os campos de ocorrência de arsenopirita+pirita e arsenopirita+pirrotita, o que embora com algumas exceções, é comum à maioria dessas.

Respeitando a limitação da análise semiquantitativa e as pequenas distinções de equilíbrio mineral, pode-se inferir temperaturas próximas a 420 e 525°C para os minerais provenientes, respectivamente de formações ferríferas hidrotermais e veios de quartzo do Prospecto Boa Vista, embora essa última amostra se posicione tanto no campo 1 como no 7 (diagramas de fase), e devido a sua proporção atômica de As, seja possível correlacioná-la

também a temperaturas inferiores, da ordem de 325°C, sendo considerado, entretanto, mais provável a maior temperatura.

Já para os sulfetos hospedados em muscovita/sericita-quartzo xistos do Prospecto Lenhoso são registradas temperaturas em torno de 550°C, enquanto aqueles que ocorrem em rochas similares do Prospecto Gravatá marcam temperaturas próximas a 500°C, sendo para os veios de quartzo desta área registrado intervalo entre 470-520°C.

Esses dados, mesmo que superestimados, mostram-se compatíveis com as informações obtidas pelos demais estudos, admitindo-se temperaturas entre 420-550°.

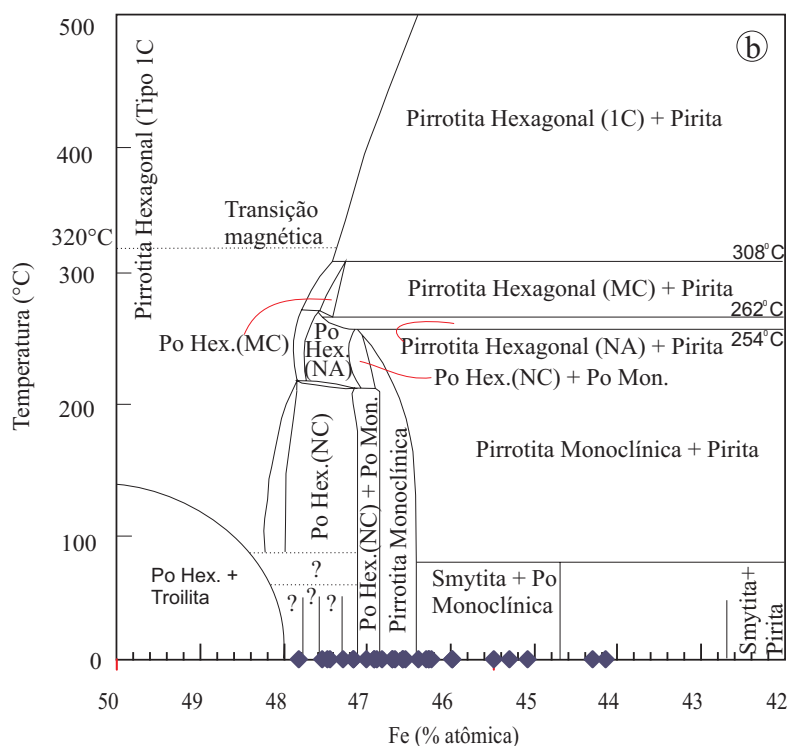


Figura 7.1-6. Detalhe do diagrama de fase do sistema Fe-S (adaptado de Barton & Skinner, 1979 e Kissin, 1974), ilustrado na Figura 7.1-5, apresentando a área que abrange a composição dos cristais de pirrotita estudados.

7.2. CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DOS FLUIDOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO METAMÓRFICO-HIDROTHERMAL

Para a modelagem genética de depósitos minerais é necessário conhecer os parâmetros norteadores que propiciaram a deposição de metais. Nesse sentido, principalmente pela reconhecida origem metamórfico-hidrotermal das concentrações auríferas ora estudadas, a caracterização de inclusões fluidas, representantes da fase fluida mineralizante, é primordial para a compreensão de inúmeros fatores condicionantes da mineralização.

Desta forma, o presente estudo tem por objetivo investigar a evolução dos fluidos aprisionados durante o processo mineralizante. A utilização dessa técnica, amplamente disseminada em pesquisa metalogenética, vem contribuir para o estabelecimento das condições reinantes durante o processo gerador da mineralização.

7.2.1. Amostras Analisadas

Foram analisadas nove amostras provenientes de veios de quartzo, sendo investigados preferencialmente aqueles orientados paralelamente às zonas de cisalhamento, portanto coincidentes com a foliação milonítica, e interpretados como mineralizados (seis amostras), além de veios interpretados como não mineralizados (três amostras), com orientação normal às zonas de cisalhamento, bem como também alguns paralelos a estas, porém sem relação espacial com as zonas auríferas anômalas.

Na realidade, dentre o conjunto de amostras de veios de quartzo estudados, apenas naquelas que ocorrem no Prospecto Colônia foi constatada a ocorrência de ouro, sendo que os demais veios considerados como mineralizados apresentam íntima relação com rochas mineralizadas e/ou com as zonas auríferas anômalas determinadas nos trabalhos prospectivos de detalhe (geoquímica de solo).

Ressalta-se que o montante de amostras foi muito reduzido devido à ampla ocorrência de veios de quartzo fortemente deformados (cisalhados, fraturados, recristalizados, com migração de limites de grãos e formação de sub-grãos, entre outros aspectos).

Essas amostras de quartzo de veios foram coletadas orientadas, permitindo o reconhecimento de seu posicionamento estrutural, e assim o correto tratamento estatístico e correlações dos dados obtidos com suas análises.

Veios mineralizados

Os veios mineralizados estudados provenientes dos diversos prospectos enfocados no estudo em epígrafe apresentam as seguintes características:

No **Prospecto Boa Vista** (amostra BV-56) foram caracterizadas inclusões de apenas um veio de quartzo, orientado paralelamente à foliação milonítica (coincidente com a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo), encaixado em muscovita/sericita-quartzo xisto, que ocorre próximo a falhamento secundário da referida zona de cisalhamento. Nessa região, através da análise dos resultados dos trabalhos prospectivos realizados no prospecto, constata-se que há formação de zona aurífera anômala.

As amostras estudadas do **Prospecto Lenhoso** (amostras L-22 e L-60) contemplam as duas regiões que apresentam as maiores anomalias auríferas em solo, coincidentes ainda com a locação dos furos de sondagem executados na área. Ressalta-se que além do exposto, essas amostras encaixam-se paralelamente à foliação milonítica (também coincidente com a Zona de Cisalhamento Riacho Fundo) em muscovita/sericita-quartzo xistos e ainda em rochas quartzíticas associadas a muscovita/sericita-granada-(biotita) xistos e que se apresentam efetivamente mineralizados.

No **Prospecto Gravatá** (amostra G-89) foram caracterizadas inclusões fluidas de amostra orientada paralelamente à foliação milonítica (coincidente com a Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha) em muscovita/sericita-quartzo xisto. Como nos demais prospectos, embora não se tenha observado a ocorrência de ouro na amostra, esta ocorre em zona aurífera anômala definida por geoquímica de solo e próxima ainda à região do furo de sondagem executado na área.

As amostras estudadas do **Prospecto Colônia** (amostras C-59 e C-84), além de ocorrerem nas regiões definidas como portadoras de anomalias auríferas, também foram caracterizadas como portadoras de ouro intragranular. Essas se apresentam encaixadas em quartzo-sericita xistos, orientadas paralelamente à foliação milonítica que é coincidente com a Zona de Cisalhamento Mumbuca.

Veios não mineralizados

Os veios não mineralizados estudados são provenientes dos prospectos Gravatá e Colônia, e suas características são sumarizadas abaixo. Dentre as dificuldades de obtenção de material adequado para as análises, destaca-se a ausência de amostras dos prospectos Boa Vista e Lenhoso.

No **Prospecto Gravatá** (amostras G-17 e G-63), embora as amostras estudadas ocorram em veios orientados também paralelamente à Zona de Cisalhamento Bom Jesus da Penha, além da ausência de ouro em sua constituição, não apresentam relação com rochas previamente definidas como mineralizadas ou com as zonas auríferas anômalas constatadas através da geoquímica de solo. Essas amostras ocorrem encaixadas em rocha gnáissica e em granada-muscovita-biotita xisto.

A amostra investigada do **Prospecto Colônia** (amostra C-37) é proveniente de veio que apresenta orientação normal a tenuamente oblíqua em relação à Zona de Cisalhamento Mumbuca, que ocorre hospedada em granada-sericita-quartzo xisto.

7.2.2. Preparação das Amostras e Procedimentos Analíticos

O estudo das inclusões fluídas hospedadas em material proveniente dos diversos veios que ocorrem nas áreas de pesquisa foi realizado em seções bipolidas de aproximadamente 300 µm de espessura.

Essas seções foram confeccionadas preferencialmente segundo uma superfície paralela ao corte XZ do elipsóide de deformação finita (permitindo assim estabelecer relações entre microestruturas secundárias geradas nos veios e o estilo de deformação que afetou o referido material, como já apresentado no sub-capítulo 3.3).

O desenvolvimento do referido estudo compreendeu as seguintes fases:

Caracterização micropetrográfica

A caracterização micropetrográfica permitiu a definição das características das distintas populações de inclusões fluídas (diferentes fases, tamanhos, graus de preenchimento e alterações perniciosas) e sua relação com a deformação do veio hospedeiro. Buscou-se ainda por meio da referida caracterização, estabelecer a relação hierárquica dos diferentes agrupamentos (inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias).

Análises microtermométricas

O desenvolvimento das análises microtermométricas tem por objetivo a obtenção de parâmetros referentes à composição e densidade do fluido aprisionado, constatados por meio da interação entre dados microtermométricos e diagramas diversos.

As análises microtermométricas foram realizadas no Laboratório de Microanálise do IGCE-UNESP, utilizando-se de uma platina LINKAM THMSG600, com resfriamento (até -180°C) e aquecimento (até 600°C) controlados, respectivamente, por fluxo de nitrogênio líquido e um sensor térmico. A referida platina, para desenvolvimento das análises, foi montada sob o sistema óptico de um microscópio petrográfico convencional e nos estudos foram utilizadas lentes de longa distância focal com aumento de 50X e 80X.

Para a calibração do instrumento foram usadas as seguintes inclusões artificiais: 1) aquo-carbônicas contendo 25 moles % de CO_2 puro (fusão em $-56,6^{\circ}\text{C}$); 2) aquosas contendo 23,2 wt % NaCl (temperatura do eutético em $-21,2^{\circ}\text{C}$); 3) aquosas contendo 19,6 wt % de KCl (temperatura do eutético em $-10,7^{\circ}\text{C}$); e 4) aquosas monofásicas –puras– (fusão do gelo em 0°C), além de inclusões aquo-carbônicas naturais.

Análises de microespectroscopia Raman

Objetivando-se qualificar as frações voláteis não aquosas das inclusões estudadas, foram realizadas análises preliminares em microsonda Raman a laser (modelo T64000 – Jobin Ivon), nas quais a radiação utilizada foi a da linha 514,5 nm de um laser de argônio, com potência de 600 nW na fonte e tempo de integração de 300 segundos para a análise de cada espécie volátil.

As análises foram direcionadas para as composições dos espectros do CO_2 ($1388,9\text{ cm}^{-1}$ e $1284,3$ a $1285,2\text{ cm}^{-1}$), N_2 ($2328,8\text{ cm}^{-1}$), H_2S (2850 a 2611 cm^{-1}) e CH_4 ($2916,5$ a $2919,5\text{ cm}^{-1}$).

7.2.3. Modo de Ocorrência e Classificação das Inclusões Fluidas

O entendimento dos possíveis processos em que estiveram envolvidos os fluidos aprisionados sob a forma de inclusões em veios de quartzo está alicerçado em um minucioso estudo petrográfico das inclusões fluídas, que permite a definição do modo de ocorrência entre os vários grupos de inclusões, suas relações temporais e ainda o

reconhecimento de perturbações pós-aprisionamento do fluído, e que podem constituir mudanças perniciosas, portanto alterando as condições físico-químicas do fluído.

As inclusões fluidas estudadas caracterizam três grupos, de acordo com as proposições de Roedder (1984), e constam de: inclusões primárias (P); inclusões pseudo-secundárias (Ps); e inclusões secundárias (S). Esses distintos grupos ocorrem isolados (formando populações individuais – i) ou ainda combinados entre si (populações mistas – m), formando assim agrupamentos do tipo Pi, Pm, Psi, Psm, Si e Sm. A Fotomicrografia 7.2-1. ilustra a ocorrência de inclusões Pm observadas em veios de quartzo do Prospecto Lenhoso.

O reconhecimento da variação do grau de preenchimento (GP) se refere a proporção volumétrica entre as fases, ou seja, a relação entre vapor/líquido para as inclusões fluídas aquosas, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ para as inclusões fluídas aquo-carbônicas e destes e os sais presentes em inclusões fluídas com cristais de saturação. A estimativa do GP em todos os casos foi visual com o auxílio de padrões para comparação.

A seguir são apresentadas as principais características dos distintos agrupamentos observados durante a caracterização petrográfica das inclusões fluidas, portanto desenvolvidos em temperatura ambiente (20 a 25°C), algumas ilustradas nas fotomicrografias 7.2.1 a 7.2.8.

Inclusões Primárias

As inclusões primárias (P) ocorrem agrupadas desordenadamente (Fotomicrografia 7.2-2) tanto no interir como em zonas de limite de grãos.

Essas inclusões apresentam-se normalmente com formas irregulares, sendo mais comum os formatos arredondados a subarredondados, com formas de tubo, ovóides e cristal negativo.

Foram caracterizadas inclusões do tipo P monofásicas (H_2O ou CO_2 , líquido_(l) ou vapor_(v) – Fotomicrografia 7.2-3), bifásicas ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$ e/ou $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$ – Fotomicrografia 7.2-4), bifásicas com líquidos imiscíveis ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{CO}_{2(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$ – Fotomicrografia 7.2-5) e ainda trifásicas ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{CO}_{2(v)}$ e Sais_(s) – Fotomicrografia 7.2-6).

Quanto às dimensões, as inclusões monofásicas freqüentemente são as menos desenvolvidas, predominantemente com tamanhos inferiores a 0,5 μm , atingindo localmente, entretanto, dimensões de até 23 μm , como ilustrado na Fotomicrografia 7.2-3. Já as inclusões bifásicas ostentam dimensões que variam de 0,7 a 33 μm (os maiores exibidos na Fotomicrografia 7.2-4), sendo o tamanho médio da referida população em torno de 10 μm . As inclusões bifásicas portadoras de líquidos imiscíveis possuem tamanhos que variam no geral de 0,5 a 13 μm (Fotomicrografia 7.2-5), sendo constatado para as inclusões trifásicas (com minerais de saturação) dimensões geralmente inferiores a 0,5 μm , as quais atingem localmente tamanhos máximos de 13 μm (Fotomicrografia 7.2-6).

O grau de preenchimento (GP) observado em inclusões bifásicas é extremamente variável (Fotomicrografia 7.2-4), de 10 a 90%, e através dessa propriedade é possível o reconhecimento de duas populações distintas para esse tipo de inclusões com maiores

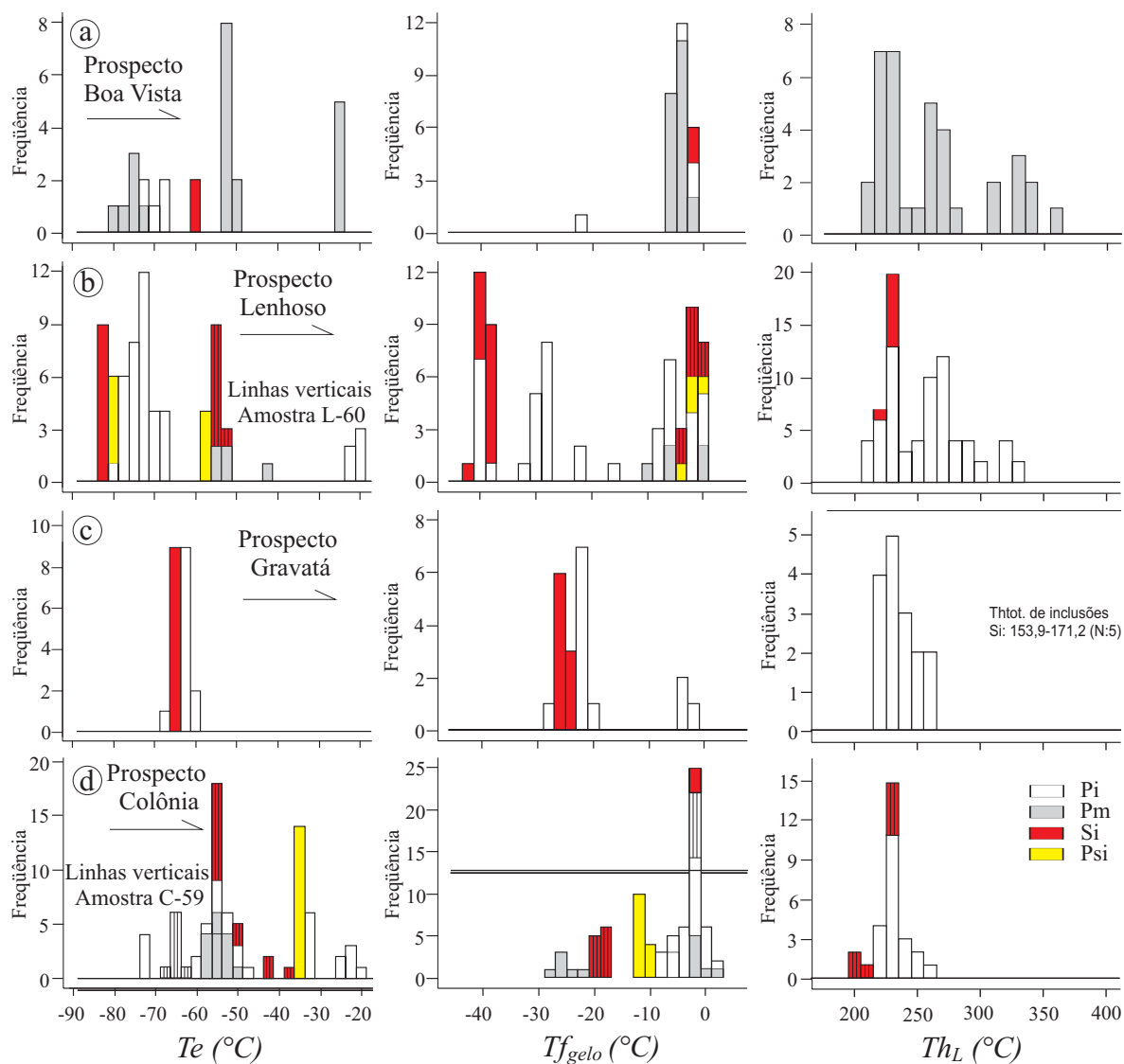


Figura 7.2-1. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos obtidos em inclusões aquosas provenientes de veios de quartzo mineralizados dos quatro prospectos estudados.

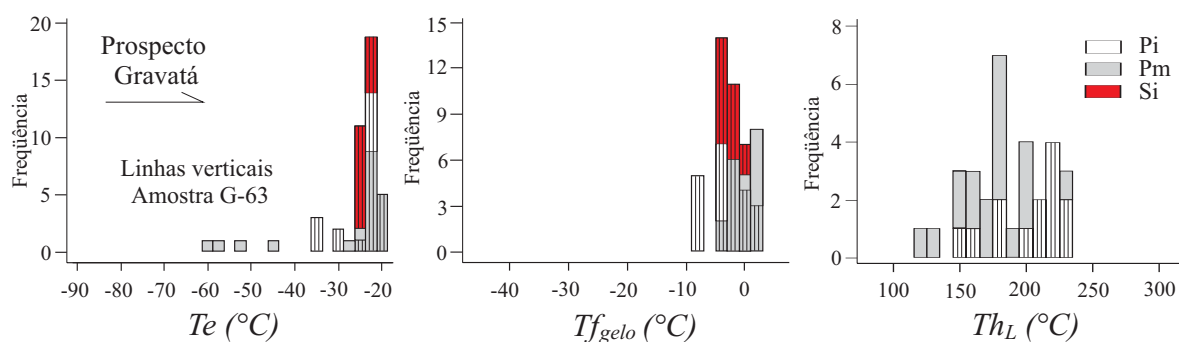


Figura 7.2-2. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos obtidos em inclusões aquosas provenientes de veios de quartzo não mineralizados do prospecto Gravatá.

concentrações em 30 e 80%. Destaca-se que a proporção acima mencionada, embora obtida pela análise de todo conjunto, também é válida para cada área de estudo, sendo apenas no Prospecto Boa Vista observado menor variação no GP.

O GP de inclusões bifásicas que contêm líquidos imiscíveis também é altamente heterogêneo, de 10 a 90%, sendo que as maiores frequências observadas se posicionam entre 30 e 40% quando observadas todas as amostras analisadas. Considerando as distintas amostras, se observa que aquelas provenientes dos prospectos Boa Vista e Lenhoso realmente apresentam em média GP entre os valores acima expostos, enquanto os valores de GP constatados nos prospectos Gravatá e Colônia são respectivamente de 30 a 50% e 40 a 90%. Ressalta-se que aparentemente não há distinção entre GP de amostras mineralizadas e não mineralizadas.

Embora sejam constatados GPs heterogêneos em inclusões trifásicas, que variam no geral de 20 a 40% (v+s), isso reflete as distintas proporções da fase de $H_2O_{(v)}$, enquanto a proporção de minerais de saturação se mantêm relativamente constante (10%), e apenas localmente, quando representados por vários cristais, apresenta pequena distinção volumétrica.

A ocorrência de inclusões portadoras de cristais de saturação foi constatada em veios de todas as áreas, se destacando aquelas presentes no material analisado dos prospectos Boa Vista e principalmente Lenhoso, por atenderem as premissas de que a relação entre o volume do constituinte sólido sobre o volume total da cavidade tem que se manter constante, e que associado à ampla ocorrência desses em inclusões de distintas populações, os cristais ora caracterizados são considerados minerais de saturação verdadeiros.

Já para as demais prospectos, além da ocorrência extremamente subordinada destas inclusões, também foram observados diversos cristais hospedados na matriz quartzosa, conforme ilustra a Fotomicrografia 7.2-6, o que nos permite interpreta-los como cristais que foram eventualmente aprisionados nas cavidades das inclusões estudadas.

Inclusões Pseudo-secundárias

As inclusões pseudo-secundárias (Ps) são caracterizadas por sua ocorrência em microfraturas eminentemente intragranulares. Buscou-se também o reconhecimento de “linhas de crescimento” no mineral hospedeiro, o que foi dificultado pelas condições (mesmo sendo incipiente) de recristalização desse. Desta forma, as inclusões ora reconhecidas como Ps representam fluidos intermediários entre primários e secundários.

As formas mais comuns constatadas nessas inclusões são as irregulares, subarredondadas a subangulosas, havendo localmente com formas de cristal negativo.

As inclusões Ps foram caracterizadas (em temperatura ambiente) como bifásicas ($H_2O_{(l)}$ e $CO_{2(v)}$ e/ou $H_2O_{(l)}$ e $H_2O_{(v)}$), bifásicas com líquidos imiscíveis ($H_2O_{(l)}$, $CO_{2(l)}$ e $CO_{2(v)}$) e trifásicas ($H_2O_{(l)}$, $CO_{2(v)}$ e Sais_(s)), e formam grupos do tipo Psi e Psm (associados a inclusões do tipo P), como ilustrado para o primeiro agrupamento na Fotomicrografia 7.2-7.

Todos os tipos de inclusões Ps ostentam dimensões freqüentemente inferiores a 0,5 μm a no máximo 10 μm .

O GP observado em inclusões Ps bifásicas se apresenta amplamente heterogêneo (de 10 a 90%), predominando as maiores freqüências em 90%, enquanto essas inclusões quando constituídas por líquidos imiscíveis, embora também apresentem grande variação (de 30 a 90%), têm predomínio de GP de menor valor. As inclusões com minerais de saturação (Ps trifásicas) ostentam GPs homogêneos, freqüentemente em torno de 20%.

Inclusões Secundárias

Embora as inclusões primárias normalmente representem a composição do fluido mineralizante, Roedder (1982) destaca que em muitos depósitos auríferos os fluidos responsáveis pela mineralização são introduzidos nos veios posteriormente à cristalização do quartzo. Além desse relevante fato, o estudo de inclusões fluidas secundárias, mesmo não representando o fluido mineralizado, é importante ainda para se estabelecer as condições reinantes pós-processo mineralizante.

As inclusões fluidas secundárias (S) estudadas estão alojadas em microfraturas cicatrizadas orientados nas mais diversas direções, conforme ilustrado na Fotomicrografia 7.2-8, destacando-se aquelas paralelas à foliação milonítica e ao eixo de tensão máxima.

Ressalta-se, entretanto, que não foi observada relação entre esses distintos padrões e a composição do fluido secundário. Assim, ocorrem microfraturas de diferentes padrões que alojam inclusões com composições similares, havendo ainda composições distintas em um mesmo padrão de microestrutura.

Essas inclusões, embora ocorram predominantemente formando trilhas, apresentam-se ainda comumente dispostas em arranjos planares. Normalmente exibem formas arredondadas a subarredondadas, subangulosas e angulosas cúbicas a prismáticas, localmente alongadas paralelamente às microfraturas.

Em temperatura ambiente foram caracterizadas inclusões do tipo S bifásicas ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$ e/ou $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$), bifásicas com líquidos imiscíveis ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{CO}_{2(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$) e também trifásicas ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{CO}_{2(v)}$ e $\text{Sais}_{(s)}$).

As inclusões bifásicas apresentam-se pouco desenvolvidas, normalmente com tamanhos inferiores a 0,5 μm a no máximo próximos a 13 μm . O tamanho das inclusões bifásicas que possuem líquidos imiscíveis embora também seja predominantemente menor que 0,5 μm , em algumas populações atinge até 15 μm . As inclusões trifásicas ostentam tamanhos que variam de 0,6 a 20 μm , sendo, entretanto, freqüente as de menor dimensão.

O GP observado em inclusões do tipo S bifásicas caracterizadas pela ocorrência de $\text{CO}_{2(v)}$ formando uma bolha dentro da inclusão a temperatura ambiente é extremamente variável, representando de 10 a 90% do volume total, predominando, entretanto, aqueles com GP de 20%. Porém, quando consideradas individualmente as distintas amostras, as do Prospecto Lenhoso exibem GP relativamente homogêneo, com aproximadamente 10%. Já no Prospecto Gravatá esses são amplamente heterogêneos, variando de 20 a 80%, sendo o mesmo constatado em amostras do Prospecto Colônia, para o qual a variação é de 10 a 90%.

As inclusões do tipo S caracterizadas em temperatura ambiente como constituídas por líquidos imiscíveis são raras, ocorrendo apenas em amostras do Prospecto Gravatá. O GP dessas é pouco variável, constando de 80 a 90% de $\text{CO}_{2(l+v)}$.

Inclusões portadoras de minerais de saturação também são escassas, sendo constatadas somente no Prospecto Lenhoso, para as quais o GP também apresenta tênue variação (de 20 a 30%). Como no caso das inclusões do tipo P, essas também são reconhecidas como inclusões com cristais de saturação verdadeiros, pois atendem às premissas relacionadas anteriormente.

Dentre as feições pós-aprisionamento observadas, destaca-se principalmente a ocorrência de crepitação, embora também ocorram outras, porém de caráter mais pontual.

7.2.4. Análise Microtermométrica

Precedendo o estudo das fases fluidas envolvidas no processo mineralizante, Weisbrad *et al.* (1976) destacam a necessidade de se estabelecer algumas hipóteses, que devem constar de: 1) os fluidos devem ser representativos das soluções presentes durante o desenvolvimento de determinada paragênese mineral; e 2) após o aprisionamento do fluido, suas propriedades físico-químicas devem permanecer constantes.

Roedder & Skinner (1968) demonstram que o fenômeno de perda ou reintrodução de fluidos (*leakage*) pode ser reconhecido e, portanto, evitado, aumentando a credibilidade das análises microtermométricas. Segundo Roedder (1981) os processos que podem causar mudanças físico-químicas das inclusões após seu aprisionamento incluem os processos de decrepitação (textura de exploração) natural das inclusões (com perda total de seu conteúdo fluido) e mudança do seu volume original (*necking-down* – estrangulamento).

Assim, no estudo ora desenvolvido, as inclusões fluidas que apresentam tais feições, reconhecidas já na fase de análise petrográfica, não foram submetidas a ensaios microtermométricos.

Ressalta-se que mudanças devido à recristalização, apontadas por Kerrich (1976), incluindo ausência de inclusões primárias, inclusões com formas irregulares e com *leakage*, e direcionamento de inclusões para as margens de sub-grãos, embora ocorram, não são predominantes nas amostras investigadas, havendo muitos campos onde há total ausência dessas feições, e ainda amplo desenvolvimento de inclusões com formatos regulares (cristal negativo). Desta forma, quanto à relação dos fluidos com a mineralização (critério considerado como fundamental, porém de difícil definição), considera-se que as inclusões fluidas primárias são as representantes do fluido mineralizante.

Através das análises desenvolvidas, as inclusões que ocorrem nas amostras analisadas podem ser classificadas como:

- **Inclusões aquosas** – monofásicas, bifásicas e trifásicas a temperatura ambiente (constituídas principalmente por H_2O e outros componentes dissolvidos em quantidades subordinadas, na forma líquida e vapor, além de uma fase sólida, representada pela ocorrência de um ou mais cristais de saturação);

- **Inclusões carbônicas** – monofásicas a bifásicas a temperatura ambiente (com CO₂ tanto na forma líquida como vapor, associados ou não, além de comumente conterem pequena proporção de outros compostos associados);
- **Inclusões aquo-carbônicas** – bifásicas a trifásicas a temperatura ambiente (são compostas por uma fase aquosa líquida e uma fase carbônica líquida e por vezes também sob a forma de vapor).

Inclusões Aquosas

Foram reconhecidos fluidos aquosos em todas as amostras estudadas, à exceção da amostra de veio não mineralizado do Prospecto Colônia. Essas inclusões formam agrupamentos principalmente do tipo Pi e Pm e mais restritamente do tipo Psi e Si.

Veios mineralizados

As inclusões aquosas no **Prospecto Boa Vista** (Fig. 7.2.1a) tem ocorrência subordinada em relação as aquo-carbônicas e carbônicas e são predominantemente do tipo Pm e apenas localmente do tipo Pi e Si.

As temperaturas do eutético (T_e) abrangem valores de -80° a -25°C , onde é possível o reconhecimento de três populações para as inclusões Pm, que além de se posicionar nos valores extremos acima mencionados, se situam predominantemente em torno de -52°C . Para as inclusões Pi e Si, embora com poucos dados, são registrados valores ao redor de -70° e -60°C , respectivamente.

Temperaturas de fusão do gelo ($T_{f_{\text{gelo}}}$) de inclusões Pm incluem valores de -6° a -2°C , enquanto para as do tipo Pi variam de -22° a -2°C e para as Si são constatados valores posicionados em -2°C .

As temperaturas de homogeneização foram verificadas essencialmente em inclusões Pm, as quais homogeneizaram para o estado líquido ($L+V = L - Th_L -$) entre 210° e 360°C , com maior frequência de valores de 220° - 230°C .

As inclusões do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 7.2.1b) também apresentam T_e extremamente variáveis, compreendendo valores desde -80° até -20°C . A maior variação é exibida por inclusões Pi, que embora se concentrem entre -80° e -70°C , também marcam as temperaturas menos negativas. Já para as inclusões Pm é definido o intervalo entre -55° a -42°C , enquanto as do tipo Psi ostentam temperaturas próximas a -80° e também -60°C . Em inclusões Si as T_e abrangem predominantemente valores de -55°C e pouco menores que -80°C , e refletem a distinção entre os fluidos de amostras distintas.

As $T_{f_{\text{gelo}}}$ para essas inclusões variam desde -42° a 0°C , sendo expressa a referida variação por aquelas do tipo Pi e Si. Para as primeiras, as maiores concentrações estão situadas em -40° e -28°C , e para as demais em -38°C , embora ocorram temperaturas entre -6° e 0°C , também diferenciado pelas diferentes amostras. As do tipo Pm ostentam $T_{f_{\text{gelo}}}$ entre -10° e 0°C e Psi entre -4° e 0°C .

Embora as Th_L de inclusões Pi ocorram entre 210° a 330°C, predominam temperaturas de 230° e 270°C, sendo registrado para as do tipo Si predomínio de valores em 230°C.

No **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.1c), diferentemente das demais áreas anteriormente descritas, as inclusões aquosas, tanto Pi como Si apresentam Te pouco variáveis, próximas a -70° e -60°C.

Para essas, são registradas Tf_{gelo} que constituem populações que variam de -4° a -2°C e -28° a -20°C. As inclusões Pi se distribuem em ambos os intervalos, com maior frequência a -22°C, enquanto as Si se posicionam a -26° a -24°C.

As Th_L de inclusões Pi ocorrem em intervalos restritos entre 220° a 260°C, predominando temperaturas de 230°C, enquanto para as Si (não ilustrado) são registradas temperaturas entre 150° a 170°C. Ressalta-se que grande parte das inclusões aquosa deste prospecto crepitou antes da homogeneização.

As inclusões provenientes do **Prospecto Colônia** (Fig. 7.2.1d) exibem Te que se distribuem no intervalo entre -72° a -20°C, marcado principalmente por aquelas do tipo Pi. Para as Pm o intervalo é restrito a -50° a próximo a -60°C, enquanto as Psi apresentam temperaturas invariavelmente posicionadas em torno de -35°C, e para as Si, embora apresentem variações, predominam aquelas próximas a -55°C.

As Tf_{gelo} observadas para o conjunto de inclusões deste prospecto abrangem desde valores positivos até -28°C. As do tipo Pi se distribuem entre -8° a 2°C, com predomínio de temperaturas em -2°C, sendo para as Pm marcado dois intervalos, entre -2° a 2°C e -28° a -22°C. Já as inclusões Psi possuem Te entre -12° e -10°C, e as Si se posicionam a -20° a -18°C e a -2°C, marcando assim a distinção entre as amostras investigadas.

As Th_L para essas inclusões se situam entre 200° a 260°C, com as menores temperaturas marcadas pelas inclusões Si, havendo predomínio de valores a 230°C, tanto para as Pi como para as Si.

Veios não mineralizados

Inclusões aquosas de veios não mineralizados do **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.2) revelam Te entre -60° a -20°C, entretanto com forte concentração de temperaturas situadas ao redor de -25° a -20°C, tanto para as do tipo Pi e Pm como para as Si, sendo os valores mais negativos registrados nas Pm.

Ostentando Tf_{gelo} distribuídas em intervalo relativamente restrito, quando comparados às amostras de veios mineralizados, essas são definidas por valores de -8° a 2°C, com as inclusões do tipo Si marcadas pelas temperaturas intermediárias, enquanto as Pi e Pm se distribuem no referido intervalo.

As Th_L compreendem o intervalo de 120° a 230°C, com maior frequência para as Pi em 220°C e para as Pm em 180°C.

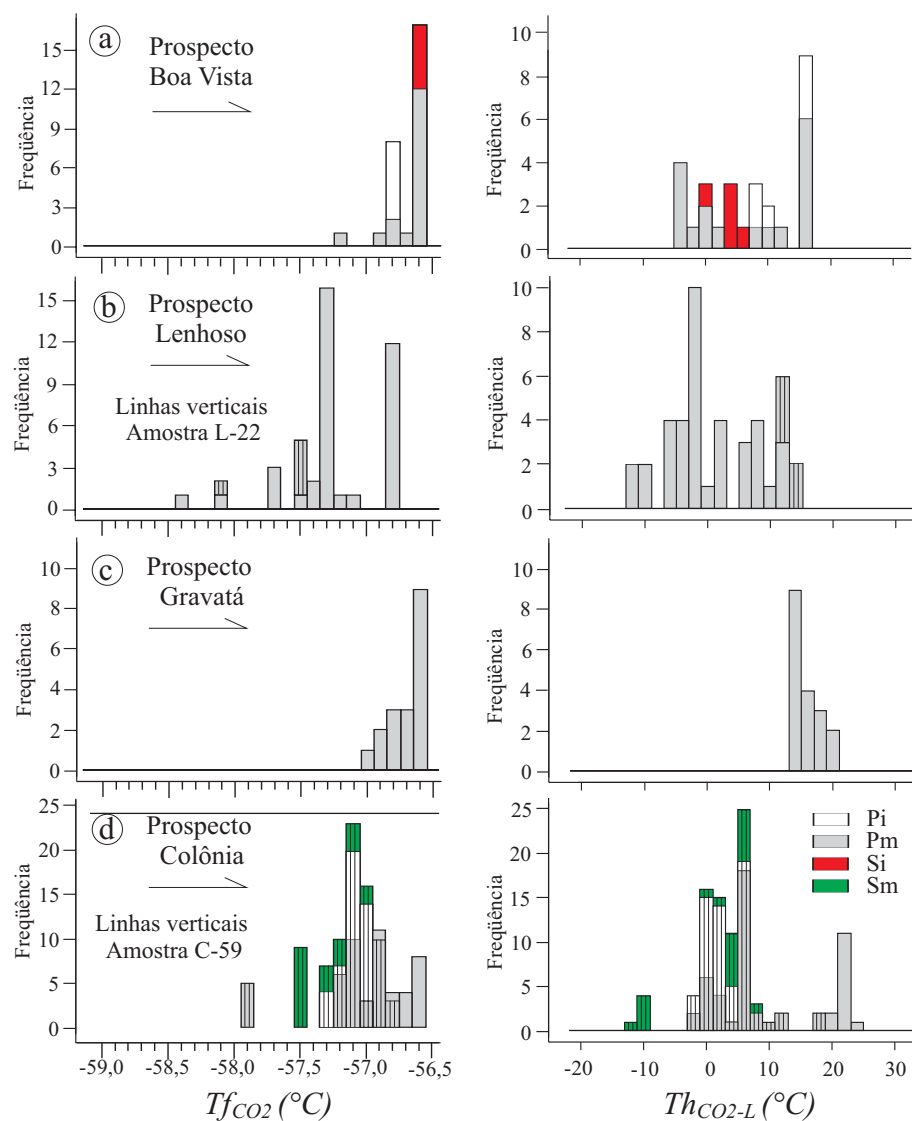


Figura. 7.2-3. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos obtidos em inclusões carbônicas provenientes de veios de quartzo mineralizados dos quatro prospectos estudados.

Inclusões Carbônicas

Ocorrem inclusões fluidas carbônicas em veios mineralizados e não mineralizados de todos os prospectos pesquisados, as quais formam agrupamentos do tipo Pi, Pm e secundariamente do tipo Si e Sm.

Veios mineralizados

As inclusões carbônicas do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 7.2.3a) definem agrupamentos Pi, Pm e Si, e apresentam temperaturas de fusão do CO₂ (T_{fCO_2}) distribuídas entre -57,2° a -56,6°C. Este intervalo é marcado por aquelas do tipo Pm, as quais definem uma maior frequência a -56,6°C, o mesmo ocorrendo com as do tipo Si, entretanto, marcadas exclusivamente por este valor, enquanto as Pi se posicionam essencialmente a -56,8°C.

Para esse conjunto de inclusões as temperaturas de homogeneização do CO₂ ocorrem essencialmente para o estado líquido ($L+V=L - Th_{CO_2-L} -$) entre -4° a 16°C, com predomínio das temperaturas mais elevadas para os agrupamentos Pi e Pm, enquanto para os do tipo Si são registrados valores entre 0° a 6°C.

Os fluidos carbônicos aprisionados em inclusões do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 7.2.3b) ocorrem essencialmente sob a forma de agrupamentos Pm, ostentando T_{fCO_2} variando entre -58,4° a -56,8°C e com maior frequência em -57,3°C. As Th_{CO_2-L} são definidas no intervalo de -12° a 14°C, com maiores concentrações em 12°C e principalmente em -2°C.

Já as inclusões presentes em veios do **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.3c), também eminentemente do tipo Pm, apresentam T_{fCO_2} no intervalo restrito a -57,0° a -56,6°C, porém melhor definida pelo primeiro valor. Similarmente, as Th_{CO_2-L} também são pouco variáveis, compreendendo valores de 14° a 20°C, com maior frequência marcada pelas menores temperaturas.

As inclusões dos veios do **Prospecto Colônia** (Fig. 7.2.3d) definem agrupamentos do tipo Pi, Pm e Sm, para as quais as T_{fCO_2} se distribuem entre -57,9° a -56,6°C. Enquanto as Pi apresentam as maiores concentrações a -57,1° e -57,0°C, as Pm marcam as mais baixas temperaturas e ostentam maior frequência em intervalo similar. Embora com valores no intervalo de -57,5° a -57,0°C, as inclusões Sm são melhores definidas pelas temperaturas mais baixas.

Apresentando a maior variação das Th_{CO_2-L} , as inclusões carbônicas deste prospecto apresentam valores de -12° a 24°C. Destacam-se as temperaturas entre 0° e 2°C para aquelas do tipo Pi, 6°C para as Pm, que atingem os valores máximos, e entre 4° e 6°C para as Sm, que marcam também os valores mínimos.

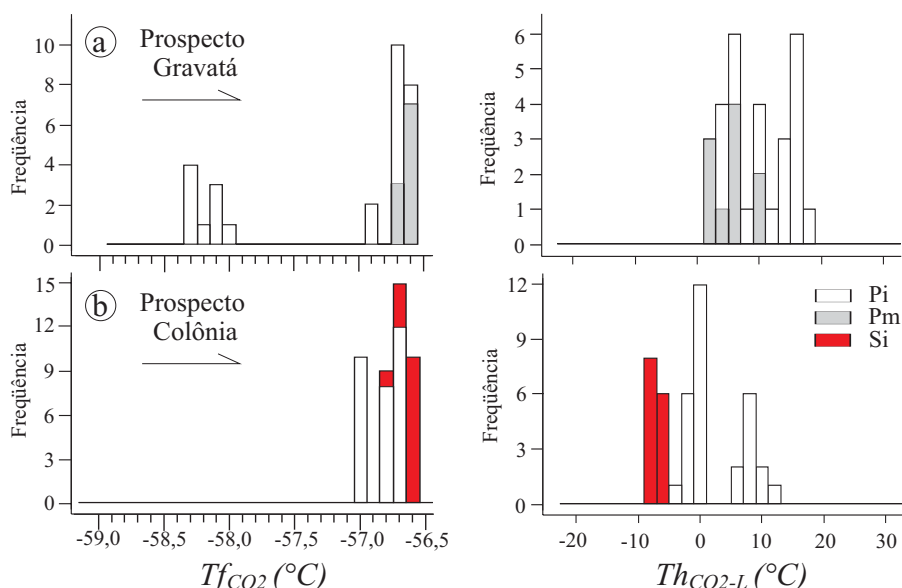


Figura. 7.2-4. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos obtidos em inclusões carbônicas provenientes de veios de quartzo não mineralizados dos prospectos Gravatá e Colônia.

Veios não mineralizados

Os veios não mineralizados do **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.4a) possuem inclusões carbônicas que definem agrupamentos do tipo Pi e Pm. Para essas, as Tf_{CO_2} definem intervalos de $-58,3^\circ$ a $-58,0^\circ\text{C}$ e $-56,9^\circ$ a $-56,6^\circ\text{C}$, sendo o primeiro caracterizado por inclusões do tipo Pi, enquanto o segundo pela associação destas junto as Pm, que registram as maiores frequências a $-56,7^\circ$ e $-56,6^\circ\text{C}$. As Th_{CO_2-L} se distribuem entre 2° a 18°C , predominando valores em 6° e 16°C , respectivamente para inclusões do tipo Pm e Pi.

As inclusões carbônicas do **Prospecto Colônia** (Fig. 7.2.4b) apresentam Tf_{CO_2} mais restritas, limitadas ao intervalo de $-57,0^\circ$ a $-56,6^\circ\text{C}$, onde as do tipo Pi se concentram a $-56,7^\circ\text{C}$ e as Si a $-56,6^\circ\text{C}$. São registradas Th_{CO_2-L} desde -4° até 12°C para as inclusões Pi, com maior frequência a 0°C , enquanto as demais se posicionam a -6° e -8°C .

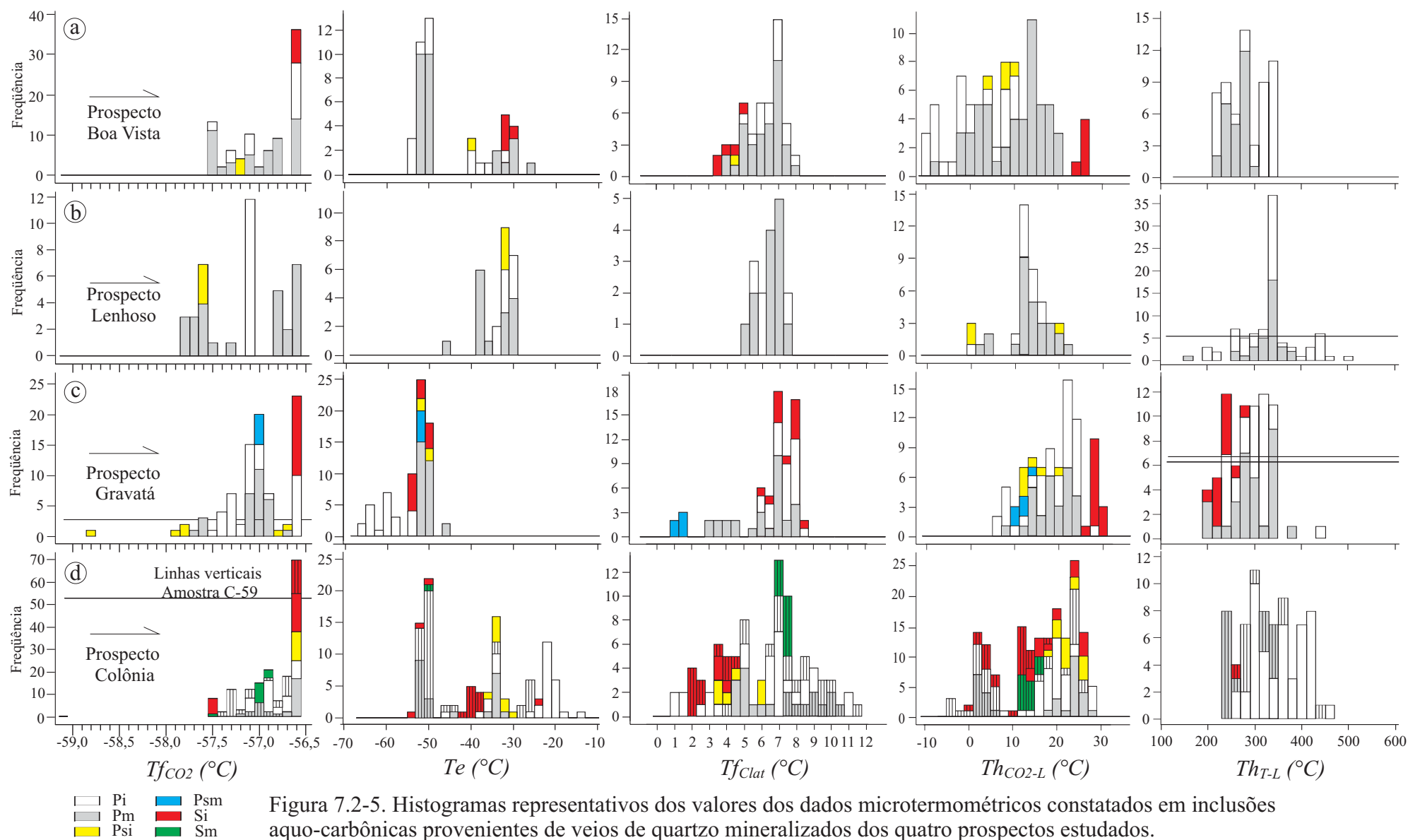


Figura 7.2-5. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos constatados em inclusões aquo-carbônicas provenientes de veios de quartzo mineralizados dos quatro prospectos estudados.

Inclusões Aquo-carbônicas

Inclusões aquo-carbônicas ocorrem de forma predominante em veios mineralizados e não mineralizados no material analisado de todos os prospectos. Embora com distinções pontuais, essas constituem todos os tipos de agrupamentos.

Veios mineralizados

Nos veios do **Prospecto Boa Vista** (Fig. 7.2.5a) foram caracterizadas inclusões aquo-carbônicas que constituem populações principalmente do tipo Pi e Pm, embora sejam caracterizadas também inclusões do tipo Si e secundariamente Psi.

Para essas as Tf_{CO_2} ocorrem no intervalo de $-57,5^\circ$ a $-56,6^\circ\text{C}$, com predomínio dos valores menos negativos para todos os agrupamentos, a exceção das Psi, que se posicionam a $-57,2^\circ\text{C}$. As Te se distribuem nos intervalos de -54° a -50°C e -40° a -26°C , sendo o primeiro melhor definido por inclusões Pm, enquanto o último é caracterizado pela associação das distintas populações.

As temperaturas de fusão de clatratos (Tf_{Clat}) para o referido conjunto de inclusões ocorrem entre $3,5^\circ$ a $8,0^\circ\text{C}$, com os menores e maiores valores marcados por inclusões Si e Pi, respectivamente, enquanto as Pm ocupam todo o intervalo, predominando, porém aqueles situados a $7,0^\circ\text{C}$.

Para estes e dos demais veios investigados, a homogeneização do CO_2 das inclusões aquo-carbônicas ocorre para o estado líquido ($\text{CO}_2\text{L} + \text{CO}_2\text{V} = \text{CO}_2\text{L} - Th_{\text{CO}_2\text{-L}} -$), sendo registrado para o prospecto em questão o intervalo entre -10° a 26°C . Enquanto as temperaturas mais positivas são marcadas por inclusões do tipo Si, as mais negativas são melhores definidas por aquelas do tipo Pi, as quais marcam também, como as Psi, as temperaturas posicionadas no centro do referido intervalo, e para as Pm, que se distribuem amplamente neste, é observada maior frequência a 14°C .

A homogeneização total dessas inclusões, da mesma forma que a homogeneização do CO₂, também ocorreram para o estado líquido (Th_{T-L}) em todas as amostras analisadas. Para as inclusões da área ora considerada, as Th_{T-L} definem o intervalo entre 220° a 340°C, com as maiores concentrações nas temperaturas do limite superior e também a 280°C, definidos respectivamente pelas populações do tipo Pi e Pm. Para os demais agrupamentos não foi possível o desenvolvimento de análises envolvendo aquecimento.

Nos veios de quartzo do **Prospecto Lenhoso** (Fig. 7.2.5b) as inclusões aquo-carbônicas analisadas formam agrupamentos do tipo Pi, Pm e Psi, embora ocorram inclusões Si, que não foram submetidas à análise devido a suas dimensões extremamente reduzidas. As Tf_{CO_2} para esse conjunto se distribuem entre -57,8° a -56,6°C, sendo o intervalo todo representado por inclusões Pm, enquanto as Pi e Psi marcam temperaturas constantes a -57,6°C e -57,1°C, respectivamente. Pontualmente foi observada Tf_{CO_2} próxima a -60°C (não representada na figura supracitada).

As Te ocorrem entre -38° a -30°C, embora tenha sido registrado um valor isolado a -46°C, enquanto as Tf_{Clat} definem o intervalo entre 5,0° a 7,5°C, com maior concentrações a 7,0°C.

Th_{CO_2-L} marcam o intervalo entre 0° a 22°C, com maior frequência, tanto para as inclusões Pi como para as Pm a 12°C. Já as Th_{T-L} se distribuem entre 160° a 500°C, com fortes concentrações a temperaturas de 340°C. No geral se observa que as inclusões Pi ostentam as maiores Th_{T-L} .

Em veios mineralizados do **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.5c) as inclusões aquo-carbônicas constituem populações Pi, Pm e Si, e mais restritamente Psi e Psm. No geral, são constatadas Tf_{CO_2} variando de -57,9° a -56,6°C, embora ocorram valores isolados de -58,8°C, registrado em inclusões Psi, que também ocorrem no intervalo citado. Para aquelas do tipo Pi predominam temperaturas a -56,6°C, sendo registrado exclusivamente esse valor também para as Si. A maior frequência das Pm se posiciona a -57,0°C, o mesmo ocorrendo com as Psm.

As Te para esse conjunto de inclusões variam de -66° a -46°C, com os valores mais negativos representados por aquelas do tipo Pi, enquanto as maiores concentrações dos demais tipos se situam entre -54° a -52°C. Abrangendo valores entre 1,0° a 8,5°C, as Tf_{Clat} são melhores definidas pelo intervalo de 7,0° a 8,0°C, representado pelos tipos Pi, Pm e Si, sendo as menores temperaturas constatadas provenientes de inclusões Psm.

Essas apresentam Th_{CO_2-L} no intervalo entre 6° a 30°C, predominando as situadas a 22°C (tanto Pi como Pm), se destacando ainda as Si posicionadas a 28°C. As Th_{T-L} ocorrem distribuídas entre 200° e 440°C, predominando temperaturas concentradas a 320°C, 340°C e 240°C, respectivamente para inclusões Pi, Pm e Si.

Inclusões aquo-carbônicas dispostas em veios provenientes do **Prospecto Colônia** (Fig. 7.2.5d) ocorrem sob a forma de agrupamentos Pi, Pm, Psi, Si e Sm. Para essas são

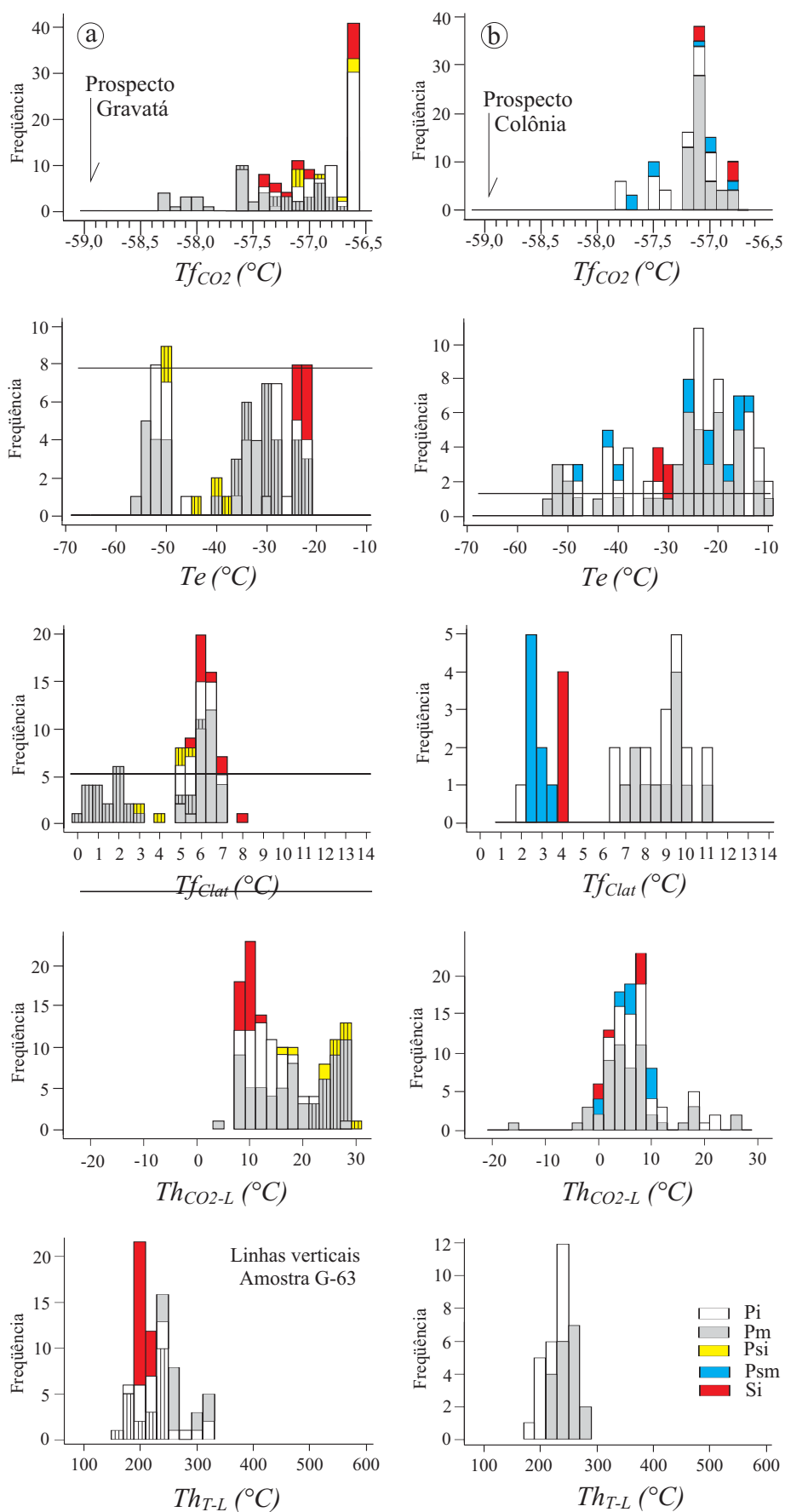


Figura 7.2-6. Histogramas representativos dos valores dos dados microtermométricos obtidos em inclusões aquo-carbônicas provenientes de veios de quartzo não mineralizados dos prospectos Gravatá (a) e Colônia (b).

registradas Tf_{CO2} no intervalo de $-57,5^{\circ}$ a $-56,6^{\circ}\text{C}$, com as maiores concentrações para as Pm, Psi e Si a $-56,6^{\circ}\text{C}$, para as Pi a $-57,3^{\circ}\text{C}$ e para as Sm a $-57,0^{\circ}\text{C}$.

As Te destas se distribuem em um amplo intervalo, compreendendo desde -54° até -12°C , formando três concentrações principais, dispostas entre -52° a -50°C , $-34,0^{\circ}\text{C}$ e -22° a -20°C . Enquanto o último intervalo é definido por inclusões Pi, os demais abrangem tanto este tipo como também as Pm, além dos valores centrais compreenderem da mesma forma as Psi. Já as Te constatadas em inclusões Si se situam predominantemente a -40°C , enquanto as Sm se posicionam essencialmente a -50°C .

Apresentando a maior variação das Tf_{Clat} dentre o material analisado, as inclusões em questão se distribuem no intervalo entre $1,0^{\circ}$ a $11,5^{\circ}\text{C}$. As do tipo Pi, embora sejam marcadas pela referida variação, ostentam temperaturas concentradas a $7,0^{\circ}\text{C}$, enquanto as Pm ostentam maior frequência a $5,0^{\circ}\text{C}$, as Si a $2,0^{\circ}\text{C}$, as Psi a $3,5$ e $6,0^{\circ}\text{C}$ e as Sm a $7,5^{\circ}\text{C}$.

As Th_{CO2-L} se distribuem no intervalo de -4° a 28°C , que é marcado pela variação dos referidos valores em inclusões Pi, Pm e Si, predominando para os dois primeiros tipos temperatura de 24°C , enquanto para o último a maior concentração ocorre a 12°C . Para as inclusões Psi e Sm são registrados os intervalos entre 12° a 16°C e 18° a 26°C , respectivamente.

As Th_{T-L} ocorrem entre 240° a 460°C , sendo os valores mais baixos representados pelas inclusões Pm e Si, enquanto as Pi, embora ocorram no referido intervalo, predominam a 300°C .

Veios não mineralizados

Nos veios não mineralizados do **Prospecto Gravatá** (Fig. 7.2.6a) as inclusões aquo-carbônicas constituem agrupamentos Pi, Pm, Si e mais restritamente Psi. As Tf_{CO2} ocorrem entre $-58,3^{\circ}$ a $-56,6^{\circ}\text{C}$, com marcante predomínio a $-56,6^{\circ}\text{C}$ naquelas do tipo Pi e Si, enquanto para as Pm, que apresentam valores bastante variáveis, as maiores concentrações se posicionam a $-57,6^{\circ}\text{C}$, sendo registrado ainda para as Psi essencialmente temperatura de $-57,1^{\circ}\text{C}$.

As Te variam de valores próximos a -60° até -20°C , com concentrações robustas entre -52° a -50°C , -30° a -28°C e -24° a -22°C . O primeiro intervalo é definido pela associação de inclusões Pi, Pm e Psi, o intermediário principalmente por aquelas do tipo Pm e o último por inclusões Pm e Si. Para esse conjunto de inclusões, as Tf_{Clat} ocorrem entre 0° a $8,0^{\circ}\text{C}$, onde a maior variação é exibida por aquelas do tipo Pm, que apresentam maior frequência entre $6,0^{\circ}$ a $6,5^{\circ}\text{C}$. As do tipo Pi se concentram entre $5,0^{\circ}$ a $7,0^{\circ}\text{C}$, as Psi entre $3,0^{\circ}$ a $5,5^{\circ}\text{C}$ e as Si embora ocorram variem de $5,5^{\circ}$ até os valores máximos, apresentam temperaturas que predominam a $6,0^{\circ}\text{C}$.

Com valores essencialmente positivos, as Th_{CO2-L} variam de 4° a 30°C , sendo novamente o referido intervalo expresso pelas inclusões Pm, que apresentam as maiores frequências a 8°C , 18°C e ainda entre 26° a 28°C . Já as do tipo Pi, embora ocorram entre 8° a 22°C , predominam no intervalo entre 10° a 14°C , enquanto as Si ostentam preferencialmente temperaturas entre 8° a 10°C e as Psi variam de 16°C até os valores máximos.

As Th_{T-L} nestas ocorrem no intervalo de 160° a 320°C, e diferentemente dos demais dados anteriormente apresentados, aqui a variação resulta das propriedades de inclusões Pi, para as quais é registrada maior frequência a 240°C. Embora atinjam as temperaturas máximas registradas, as do tipo Pm se concentram preferencialmente a 260°C, sendo marcada forte concentração para as Si a 200°C.

As inclusões aquo-carbônicas de veios do **Prospecto Colônia** (Fig. 7.2.6b) formam populações do tipo Pi, Pm, Si e Psm. Nestas, as Tf_{CO_2} ocorrem entre -57,8° a -56,8°C, com maiores concentrações marcadas a -57,1°C por aquelas do tipo Pm, enquanto as do tipo Pi se distribuem de forma relativamente homogênea entre -57,8° a -57,0°C. As inclusões Psm abrangem praticamente todo o intervalo e as Si ocorrem entre -57,1° a -56,8°C.

As Te compreendem valores desde -10,0 até -54,0°C, e embora definam várias frequências consistentes, se destacam principalmente aquelas posicionadas a entre -30° a -20°C, que são definidas por inclusões Pm, Pi e Psm. Já as inclusões Si se restringem a temperaturas entre -32° e -30°C.

As Tf_{Clat} se distribuem nos intervalos entre 2,0° a 4,0°C e 6,5° a 11,0°C, e embora tenha sido constatado um caso isolado do mais baixo valor para inclusões Pi, estas ocorrem predominantemente no segundo intervalo, junto às do tipo Pm, com temperaturas concentradas a 9,0° e 9,5°C, respectivamente. Para as Psm é observada maior frequência a 2,5°C e para as Si a 4,0°C.

As Th_{CO_2-L} para essas inclusões ocorrem entre -4° a 26°C, e apenas pontualmente a -16°C, com maiores frequências situadas entre 4° a 8°C, abrangendo todos os agrupamentos presentes. Representado pelo menor intervalo constatado no presente estudo, as Th_{T-L} se ocorrem entre 180° a 280°C e com maiores concentrações a 240°C.

7.2.5. Composições, salinidades, densidades e temperaturas mínimas de aprisionamento dos fluidos

Como caracterizado no subitem anterior, os fluidos envolvidos no processo metamórfico-hidrotermal que atuou na área pesquisada apresentam composições aquosas, carbônicas e aquo-carbônicas, formando populações do tipo P, Ps, e S, ocorrendo em agrupamentos tanto isolados como mistos.

Fluidos aquosos

As inclusões aquosas formam arranjos mistos (com aquo-carbônicas) nas amostras mineralizadas dos prospectos Boa Vista e Gravatá, bem como também em amostra não mineralizada desta última área, enquanto são definidos arranjos isolados nas amostras dos prospectos Lenhoso e Colônia.

O quadro 7.1 sumariza informações de dados microtermométricos obtidos em inclusões aquosas e apresenta valores de salinidade e densidade calculados a partir destes dados. No geral, a salinidade destas se apresenta variável, com valores praticamente

desprezíveis a baixos ($<< 1,0$ a 6,22 % em peso de NaCl) a altos (até 28% em peso de NaCl), constatado inclusive em uma mesma amostra e em contexto similar.

Quadro 7.1. Síntese dos dados microtermométricos de inclusões fluidas aquosas (veios mineralizados e não mineralizados, respectivamente) e valores de salinidade e densidade calculados a partir destes.

Amostra	Agrupamento	Tf _{gelo} (°C)	Th _{tot-(L)} (°C)	Salinidade (Eq. wt% NaCl)	Densidade (g/cm ³)
BV-56	Pm	-6,6/-3,3	206,4/363,6	5,319/9,972	0,692/0,900
L-22	Pi	-40,1/-2,2	210,8/327,09	4,074/28,158 (*)	0,869/1,061 (*)
	Si	-41,1/-37,8	219,1/234,5	(*)	0,817/0,840 (**)
G-89	Pm	-28,7/-2,9	220,0/245,8	4,701/27,494	0,882/1,061
	Si		153,9/171,2	25,413/25,528	1,093/1,107
C-59	Si	-19,9/-18,4	196,2/234,4	21,237/22,285	1,001/1,042
C-84	Pi	-3,9/-0,2	216,2/238,1	0,331/6,225	0,822/0,887
G-17	Pm	0,6/2,6	124,8/182,8	(***)	0,887/0,944 (**)
G-63	Pi	-8,4/-7,5	210,9/232,5	11,100/12,171	0,919/0,939

(*) = Salinidade/Densidade calculada apenas em algumas inclusões/não calculada devido às baixas Tf_{gelo}.

(**) = Densidade calculada independente dos valores de salinidade.

(***) = Salinidade não calculada devido a presença de gelo metaestável.

As inclusões de veios mineralizados do Prospecto Lenhoso apresentam as maiores salinidades, seguidas por aquelas dos prospectos Gravatá e Colônia, embora em todos ocorram também inclusões com baixa salinidade, onde uma das amostras do Prospecto Colônia se apresenta essencialmente com valores extremamente baixos. Para um dos veios não mineralizados do Prospecto Gravatá, embora com valores menos elevados, também se constata salinidade relativamente alta (11 a 12% em peso de NaCl).

Embora ocorram cristais de saturação em inclusões de material de todas as áreas, se destacam aqueles do Prospecto Lenhoso (interpretados como verdadeiros), podendo, pelo menos em parte, nas demais áreas, representar cristais aprisionados acidentalmente, contrastando, entretanto, com os altos valores de salinidades calculados.

As inclusões primárias são representadas composicionalmente por uma mistura complexa de sais dissolvidos no meio aquoso (NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, FeCl₂, LiCl₂, e possivelmente ainda carbonatos e sulfatos de cálcio e sódio), deduzida pelas temperaturas do eutético.

De acordo com a proposição de Crawford (1981), aquelas dos prospectos **Boa Vista** e **Lenhoso** devem pertencer ao sistema H₂O-CaCl₂-NaCl (T_e predominantemente a -52°C e -72°C , respectivamente), podendo ainda estar associados a esse sistema KCl, MgCl₂ e FeCl₂. Ocorrem em menor proporção T_e com valores muito mais negativos (chegando a -80°C), que segundo Sherlock *et al.* (1993), podem indicar a presença de

LiCl_2 , embora Molnár *et al.* (1999) aventem a possibilidade destes valores serem ainda representantes do sistema anteriormente mencionado. Há também o registro de valores de T_e próximos a -25°C (Prospecto Boa Vista), que representam o sistema $\text{H}_2\text{O-KCl-NaCl}$, além de T_e em torno de -20°C (Prospecto Lenhoso) que se referem ao sistema $\text{H}_2\text{O-NaCl}$.

Para o **Prospecto Boa Vista** a salinidade das inclusões P mostra-se relativamente baixa, com valores variando entre 5,3 a 9,9% em peso de NaCl, enquanto a densidade calculada para as mesmas se posiciona entre 0,69 a 0,90 g/cm^3 . Admite-se para as inclusões aquosas deste prospecto temperatura mínima de aprisionamento em torno de 360°C , deduzido pela T_{hTotal} . Já para o **Prospecto Lenhoso** são caracterizadas salinidades que variam de 4,0 a 28,1% em peso de NaCl em inclusões P, se destacando, como anteriormente referido, aqueles de maior valor, sendo a densidade das do tipo P de 0,86 a 1,06 g/cm^3 e do tipo S de 0,81 a 0,84 g/cm^3 . As T_{hTotal} registradas nestas inclusões permitem admitir temperatura mínima de aprisionamento próxima a 330°C para aquelas do tipo P, enquanto as do tipo S marcam temperaturas em torno de 235°C .

Desta forma, os prospectos da região de Jacuí apresentam características dos fluidos aquosos relativamente similares quanto a composição e temperatura, embora com salinidades e densidades distintas.

Inclusões aquosas do **Prospecto Gravatá** ostentam valores de T_e pouco variáveis, entre -60 a -70°C (tanto inclusões P como S), e de igual forma aos demais prospectos, também caracterizam uma associação complexa de sais, representado pelo sistema $\text{H}_2\text{O-CaCl}_2\text{-NaCl}$ com associações de outros solutos já referidos. Para as inclusões do **Prospecto Colônia**, as T_e apresentam ampla variação, marcando principalmente o sistema $\text{H}_2\text{O-MgCl}_2\text{-NaCl}$ (-35°C em inclusões do tipo Ps, embora possa representar também o sistema $\text{H}_2\text{O-FeCl}_2$, definido a mesma temperatura), além $\text{H}_2\text{O-CaCl}_2\text{-NaCl}$ associados a outros sais (-50 a -72°C , inclusões P e S) e de forma menos expressiva $\text{H}_2\text{O-KCl-NaCl}$ (entre -20 a -25°C).

A salinidade das inclusões do **Prospecto Gravatá** é marcada por ampla variação naquelas do tipo P, abrangendo valores de 4,7 a 27,4% em peso de NaCl, enquanto nas do tipo S são registrados valores praticamente invariáveis entre 25,4 a 25,5% em peso de NaCl, definindo, portanto, inclusões de alta salinidade, as quais ostentam densidades entre 0,88 a 1,06 g/cm^3 e 1,09 a 1,10 g/cm^3 , respectivamente. A maior distinção entre as inclusões P e S deste prospecto se referem às T_{hTotal} , onde as primeiras definem temperaturas mínimas próximas a 246°C e as últimas em torno de 171°C .

As inclusões P do **Prospecto Colônia** contrastam com as demais, apresentando baixa salinidade, que varia de 0,3 a 6,2% em peso de NaCl, enquanto as inclusões S são caracterizadas como de alta salinidade, com valores entre 21,2 a 22,2% em peso de NaCl. A densidade daquelas do tipo P se situa entre 0,82 a 0,88 g/cm^3 , enquanto das do tipo S entre 1,00 a 1,04 g/cm^3 . As T_{hTotal} definem temperaturas mínimas de aprisionamento muito próximas, respectivamente em torno de 238°C e 234°C . Cabe, entretanto ressaltar que estes diferentes agrupamentos de inclusões foram caracterizadas em amostras distintas.

Assim, as características dos fluidos aquosos dos prospectos da região de Bom Jesus da Penha e Nova Resende, apresentam distinções principalmente quanto as composições e salinidades. Entretanto, a temperatura de aprisionamento das inclusões do tipo P são coincidentes, divergindo apenas as temperaturas daquelas do tipo S, onde são registradas temperaturas mais elevadas para o Prospecto Colônia.

Em relação aos fluidos aquosos provenientes de veios não mineralizados (quadro 7.1), constatados somente em material do **Prospecto Gravatá**, embora ocorram T_e de até -60°C , predominam valores entre -20 a -25°C , representando, portanto, principalmente o sistema $\text{H}_2\text{O-KCl-NaCl}$. A salinidade destes varia de 11,1 a 12,1% em peso de NaCl, e a densidade de 0,88 a 0,94 g/cm^3 . As T_{hTotal} definem temperaturas mínimas entre o intervalo de 182 a 232°C .

Fluidos carbônicos

O quadro 7.2 sintetiza dados microtermométricos e os valores de densidade de inclusões representantes do fluido carbônico, presentes em veios mineralizados e estéreis de todos os prospectos.

Quadro 7.2. Síntese dos dados microtermométricos de inclusões fluidas carbônicas (veios mineralizados e não mineralizados, respectivamente) e valores de densidade calculados a partir destes.

Amostra	Agrupamento	$T_{f\text{CO}_2}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{h\text{CO}_2\text{-L}}$ ($^\circ\text{C}$)	Densidade (g/cm^3)
BV-56	Pi	-56,8	8,4/16,7	0,806/0,873
	Pm	-57,2/-56,6	-3,6/16,6	0,810/0,948
	Si	-56,6	0,3/5,4	0,894/0,926
L-60	Pm	-58,4/-56,8	-12,9/12,5	0,842/0,998
G-89	Pm	-57,0/-56,6	13,4/19,2	0,782/0,835
C-59	Pi	-57,3/-57,0	-2,5/6,3	0,888/0,928
	Pm	-58,0/-56,8	-1,2/18,1	0,794/0,923
	Sm	-57,5/-57,0	-11,4/7,9	0,877/0,917
C-85	Pm	-56,9/-56,6	20,4/24,1	0,726/0,770
G-17	Pi	-58,3/-56,6	4,2/17,3	0,801/0,902
	Pm	-56,7/-56,6	2,7/9,6	0,864/0,911
C-37	Pi	-57,0/-56,7	-3,1/12,3	0,844/0,928
	Si	-56,8/-56,6	-7,5/-5,3	(*)

(*) = Densidade não calculada.

Em veios mineralizados, as inclusões carbônicas apresentam $T_{f\text{CO}_2}$ entre $-56,6^\circ\text{C}$ a $-58,4^\circ\text{C}$, indicando tanto composições de CO_2 puro como associado a outros compostos.

As densidades calculadas para essas inclusões variam no **Prospecto Boa Vista** de 0,80 a 0,94 g/cm³, no **Prospecto Lenhoso** de 0,84 a 0,99 g/cm³, no **Prospecto Gravatá** de 0,78 a 0,83 g/cm³ e no **Prospecto Colônia** de 0,72 a 0,92 g/cm³.

As inclusões carbônicas provenientes de veios não mineralizados também indicam a ocorrência tanto de CO₂ puro como associado a outros compostos, para as quais são registradas densidades entre 0,80 a 0,92 g/cm³.

As pequenas nuâncias entre as características destas inclusões presentes nas distintas amostras dos prospectos estudados, aparentemente não permitem a distinção entre o fluido carbônico.

Fluidos aquo-carbônicos

Na fase aquo-carbônica, os dados microtermométricos apontam predominantemente para fluidos no sistema H₂O-CO₂-Sais. As fortes concentrações das T_{fCO_2} a -56,6°C, comum na maioria das amostras investigadas indicam que a fase não aquosa no geral é constituída por CO₂ puro.

Entretanto, mesmo abrangendo temperaturas pouco abaixo daquelas típicas para esse composto quando puro, limitadas a valores próximos a -58,0°C (e somente pontualmente abaixo desta temperatura – prospectos Lenhoso e Gravatá), como apresentado no quadro 7.3, parte das inclusões deve apresentar proporções variadas de outros compostos.

Análises em microespectroscopia Raman, embora realizadas de forma preliminar e exclusivamente em inclusões aquo-carbônicas de veios mineralizados e estéreis do Prospecto Colônia, e ainda não totalmente interpretados, indicam a presença de N₂ (pico a 2327,91 cm⁻¹) e mais restritamente de H₂S (picos a 2682,68 e 2741,2 cm⁻¹). Ressalta-se que embora a microsonda Raman tenha sido também direcionada para a posição do espectro do CH₄ (2916,5 a 2919,5 cm⁻¹), este composto não foi detectado em nenhuma das amostras analisadas.

O conteúdo de NaCl (% de peso) do fluido aquo-carbônico se apresentam variável, caracterizando tanto as inclusões de veios mineralizados como as de veios estéreis como inclusões de baixa a moderada/alta salinidade. Dentre estas, se destacam tenuamente as provenientes de veios dos prospectos Gravatá e Colônia, que marcam os maiores valores.

Nas amostras mineralizadas, as inclusões do **Prospecto Boa Vista** ostentam salinidade entre 4,3 a 10,3 % de peso de NaCl (tipo P) a 7,7 a 11,5 % de peso de NaCl (tipo S). A densidade destas, respectivamente, abrange valores entre 0,77 a 0,89 g/cm³ e 0,67 a 0,71 g/cm³. Para as do **Prospecto Lenhoso** (somente tipo P) a variação da salinidade é pouco menor, compreendendo valores entre 5,0 a 9,0 % em peso de NaCl, ocorrendo, entretanto, maior distinção na densidade, com valores de 0,13 a 0,14 g/cm³ em agrupamentos isolados a 0,76 a 0,84 g/cm³ em agrupamentos mistos.

Quadro 7.3. Síntese dos dados microtermométricos de inclusões fluidas aquo-carbônicas (veios mineralizados e não mineralizados, respectivamente) e valores de salinidade e densidade calculados a partir destes.

Amostra	Agrupamento	Tf _{CO2} (°C)	Th _{CO2-L} (°C)	Tf _{Clatr} (°C)	Salinidade (Eq. wt% NaCl)	Densidade (g/cm ³)
BV-56	Pi	-57,5/-56,6	- 10,8/10,5	5,1/7,8	(*)	0,858/0,987
	Pm	-57,5/-56,6	-8,0/20,1	4,1/7,8	4,330/10,384	0,773/0,897
	Si	-56,6	24,7/26,9	3,3/5,1	8,887/11,514	0,679/0,716
L-60	Pi	-57,1	0,1/16,9	5,3/7,4	5,055/8,576	0,138/0,148
	Pm	-59,8/-56,6	2,3/21,2	5,0/7,4	5,055/9,041	0,761/0,849
G-89	Pi	-57,5/-56,6	6,6/27,1	6,1/8,3	3,397/7,290	0,675/0,814
	Pm	-57,7/-56,7	8,3/24,8	3,2/8,1	3,774/11,652	0,714/0,874
	Psi	-58,8/56,7	11,9/20,1	(**)	(**)	(**)
	Psm	-57,0	9,4/14,8	1,1/1,6	13,731/14,338	0,823/0,864
	Si	-56,6	26,4/29,3	6,1/8,3	3,397/7,290	0,621/0,688
C-59	Pi	-57,4/-56,7	-3,4/26,4	2,2/11,5	0,625/6,110	0,711/0,727
	Pm	-57,1/-56,8	1,1/5,7	7,4/10,5	(*)	(*)
	Si	-57,5/-56,6	-0,3/14,5	1,9/4,3	10,092/13,357	0,797/0,899
	Sm	-57,5/-56,9	11,2/15,3	6,9/7,7	4,513/5,937	0,820/0,850
C-84	Pi	-57,1/-56,6	7,8/28,8	1,2/11,2	2,041/14,218	0,636/0,842
	Pm	-57,2/-56,6	20,9/27,3	4,3/6,4	7,618/10,092	0,671/0,764
	Psi	-56,6	18,9/25,8	3,4/6,1	7,290/11,376	0,708/0,780
	Si	-56,6	15,9/20,8	3,4/4,1	10,384/11,376	0,765/0,814

Amostra	Agrupamento	Tf _{CO2} (°C)	Th _{CO2-L} (°C)	Tf _{Clatr} (°C)	Salinidade (Eq. wt% NaCl)	Densidade (g/cm ³)
G-17	Pi	-57,4/-56,6	7,7/22,6	4,8/6,9	5,937/9,346	0,744/0,865
	Pm	-58,3/-56,6	3,0/27,3	4,8/7,2	4,330/8,732	0,671/0,877
	Psi	-56,7/-56,6	16,9/23,9	(**)	(**)	(**)
	Si	-57,4/-57,0	8,0/10,1	5,7/7,8	4,330/7,941	0,861/0,876
G-63	Pm	-57,3/-56,6	21,9/28,6	0,26/6,0	7,454/15,383	0,641/0,752
	Psi	-57,1/-56,9	25,9/29,1	3,0/5,4	8,419/15,608	0,627/0,697
C-37	Pi	-57,5	9,4/12,2	6,3/8,9	2,239/6,958	0,845/0,866
	Pm	-57,2/-57,1	7,9/26,1	7,2/9,5	1,036/15,608	0,693/0,877
	Psm	-57,1/-57,0	8,9/9,1	2,3/2,4	12,7184	0,869

(*) = Salinidade/Densidade não calculada devido à Th_{CO2} < Tf_{Clatr}.

(**) = não medido/quantificado.

No geral, as inclusões aquo-carbônicas dos prospectos acima referidos apresentam certo grau de similaridade em relação a salinidade e densidade, excetuando-se as baixas densidades constatadas em inclusões Pi, além dos valores mais negativos de T_{fCO2} em inclusões Pm do Prospecto Lenhoso, que apontam para a já referida associação do CO₂ a outros compostos.

As inclusões de veios mineralizados do **Prospecto Gravatá** ostentam salinidade baixa a moderada (tipo P = 3,3 a 11,6% em peso de NaCl, e tipo S = 3,3 a 7,2% em peso de

NaCl) a moderada/alta (tipo Ps = 13,7 a 14,3% em peso de NaCl). A densidade do conjunto total de inclusões apresenta tênue variação ($d = 0,67$ a $0,87 \text{ g/cm}^3$), a exceção daquelas do tipo S, limitadas a $0,62$ a $0,68 \text{ g/cm}^3$.

Nas inclusões do **Prospecto Colônia** são caracterizadas salinidades extremamente baixas a moderadas/alta ($< 1,0$ a $14,2\%$ em peso de NaCl). Embora haja grande variação na salidade, como pode ser observado no quadro 7.3, e as inclusões do tipo P ostentem os maiores valores, aqueles caracterizados em inclusões do tipo S também se apresentam robustos. Ressalta-se que para esse primeiro tipo de inclusões também foram caracterizadas as menores salinidades. Já as densidades destas apresentam incipiente variação, aparentemente independente do tipo, marcadas por valores entre $0,63$ a $0,899 \text{ g/cm}^3$.

Em veios estéreis, as inclusões aquo-carbônicas (quadro 7.3) também apresentam $T_{f\text{CO}_2} < -56,6^\circ\text{C}$, indicando a associação de outros compostos junto ao CO_2 . O conteúdo de NaCl destas se apresenta altamente variável, caracterizando inclusões de baixa a moderada/alta salinidade.

No **Prospecto Gravatá** as inclusões dos tipos P e Ps chegam a conter até $15,6\%$ em peso de NaCl, sendo os menores valores registrados também para as do tipo P e do tipo S ($4,3\%$ em peso de NaCl). As densidades destas abrangem valores de $0,62$ a $0,87 \text{ g/cm}^3$. De igual forma, as inclusões provenientes de veio do **Prospecto Colônia** também marcam uma grande amplitude nos valores de salinidade, com valores extremos definidos em inclusões do tipo P ($2,2$ a $15,6\%$ em peso de NaCl, marcados em agrupamentos isolados e mistos, respectivamente), enquanto as densidades destas variam entre $0,69$ a $0,87 \text{ g/cm}^3$.

No contexto geral, o fluido aquo-carbônico caracterizado em veios mineralizados dos prospectos acima mencionados, apresenta distinção quanto à salinidade, principalmente em relação às inclusões do tipo S, enquanto as demais características são tenuamente similares. Quanto às inclusões de veios estéreis as distinções observadas são ainda mais incipientes.

7.2.6. Considerações sobre a evolução dos fluidos e as condições físico-químicas

Dentre os possíveis fenômenos que promoveram a evolução dos fluidos ora caracterizados são aventados os processos de imiscibilidade ou fusão.

A imiscibilidade de fluidos tem sido considerada comumente associada a deposição de ouro em depósitos tipo *lode* mesotermiais e epitermais, independentemente de suas idades, como apontado por Yao *et al.*, 2001.

A coexistência de diferentes tipos de fluidos, como constatado nos veios estudados (Fotomicrografia 7.2-1, pág. 176), com arranjos tanto individuais como mistos, dispostos em um mesmo exemplar do material analisado, refletem a possibilidade de aprisionamento de fluidos imiscíveis do sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ ou de uma mistura heterogênea de fluidos composicionalmente distintos.

A concentração de ouro em fluidos formadores de minério é dependente de particularidades químicas do fluido que promovem a desestabilização dos complexos de ouro. McCuaig & Kerrich (1998) apontam como os principais processos de desestabilização o resfriamento, o estado de oxidação/redução e o aumento do pH do fluido (este último especialmente em complexos clorados).

Em temperaturas como as admitidas no presente estudo, complexos clorados são os mais importantes (Romberger, 1990, Mikucki, 1998, McCuaig & Kerrich, 1998).

Como apresentado no capítulo 6, a mineralização aurífera se associa a uma ampla assembléia mineral, constituída principalmente por óxidos e sulfetos. Embora parte desses óxidos seja resultante de alteração supergênica, em veios e rochas sã é comum a ocorrência principalmente de óxidos de ferro (magnetita e ilmenita) associados à paragênese sulfetada e/ou que contêm ouro.

Os sulfetos caracterizam uma ampla assembléia, constando de minerais à base de Fe, Cu, Zn, Pb, As, Mo, Co e Ni. Porém, como demonstrado no capítulo 4, esses elementos, incluindo o S, mostram teores pouco robustos, sendo apenas localmente marcantes, e, portanto, condizentes com o desenvolvimento restrito desses minerais.

Nesse sentido, tais associações devem corresponder a fases distintas do processo mineralizante. Entretanto, as observações (principalmente microscópicas) não possibilitaram a distinção de tais fases.

Na referida assembléia mineral foi constatada a associação de magnetita $\pm$ ilmenita $\pm$ pirita $\pm$ pirrotita $\pm$ calcopirita $\pm$ esfalerita $\pm$ galena $\pm$ arsenopirita. Os óxidos são predominantes na maioria dos litotipos, enquanto a ocorrência subordinada de sulfetos, refere-se principalmente aqueles de composição a base de ferro.

As condições de P-T das mineralizações auríferas pesquisadas, interpretadas como de origem metamórfico-hidrotermal, podem ser deduzidas pelo arcabouço geológico regional, assembléia de minerais de minério e ainda por meio dos dados provenientes do estudo de inclusões fluidas.

Como apresentado no capítulo 3, a Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha foi submetida a a condições de metamorfismo de fácies anfibolito, com temperaturas da ordem de aproximadamente 700°C. As feições deformacionais relacionadas à implantação das zonas de cisalhamento Riacho Fundo, Bom Jesus da Penha e Mumbuca indicam temperaturas próximas a 450°C.

A assembléia de minerais de minério constituída por pirita + arsenopirita $\pm$ calcopirita $\pm$ esfalerita $\pm$ galena, de acordo com Hünken, 1995 (*in* Yao *et al.*, 2001), estabelece uma temperatura máxima de 491°C.

Nesse sentido, considera-se que as mineralizações auríferas estudadas tiveram origem a partir de um fluido imiscível, ou de uma mistura heterogênea de fluidos composicionalmente distintos, que em decorrência dos processos tectono-metamórficos, circulou nas zonas de cisalhamento local propiciando a deposição do ouro em um ambiente mesotermal. As características tanto metamórfica como magmáticas desses fluidos constituem evidência de mistura de fluidos heterogêneos.

7.4. SÍNTESE DO ESTUDO SOBRE AS CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS QUE CONDICIONARAM A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA

São reconhecidas temperaturas de cristalização de diversos minerais, sendo que os filossilicatos e sulfetos representam a assembléia mineral gerada em condições mais enérgicas, caracterizadas como da ordem de 500-600°C, embora parte dos sulfetos ostentem padrão químico-mineral condizente com temperaturas provavelmente situadas em torno de 400°, e que devem representar o abrandamento das referidas condições, reconhecidas como de origem metamórfico-hidrotermal. Desta forma, as concentrações auríferas hospedadas na Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha são reconhecidas como mesotermiais.

No evento final dá-se a geração de minerais eminentemente hidrotermais, sendo caracterizado por meio do estudo desenvolvido em clorita, temperaturas 270 a 310°C. A essa fase é atribuída a geração de minerais característicos de baixa a moderada temperatura, principalmente sulfatos, comumente associados a veios metalíferos hidrotermais.

As inclusões fluidas primárias são consideradas como amostras originais dos fluidos que coexistiram com a formação do mineral hospedeiro, enquanto as inclusões secundárias representam fluidos tardios introduzidos em zonas de ruptura propiciadas por processos tectono-metamórficos.

Ao fluido primário, interpretado como metamórfico, é admitida uma evolução por processos de imiscibilidade. Entretanto, para os fluidos caracterizados nos prospectos da região de Jacuí são reconhecidas características de origem magmática, devido a presença de minerais/cristais de saturação com evidências consistentes de terem sido cristalizados a partir do fluido originalmente aprisionado (portanto classificados como minerais de saturação verdadeiros), e que caracterizam parte das inclusões fluidas presentes em veios de quartzo dos prospectos dessa região (principalmente aquelas do Prospecto Lenhoso) como hipersalinas.

De acordo com Hollister & Crawford (1981), inclusões desse tipo são freqüentes quando originadas a partir de fluidos magmáticos, a exemplo de depósitos do tipo cobre porfirítico. Nos prospectos estudados são registradas ocorrências de rochas ortognáissicas, que para a região de Jacuí, portanto abrangendo os prospectos Boa Vista e Lenhoso, são interpretadas como mobilizados graníticos do embasamento, alojadas paralelamente à Zona de Cisalhamento Riacho Fundo.

Nesse sentido, não somente nessa área, mas em toda a região pesquisada, os fluidos magmáticos devem ter interagido, pelo menos em parte, com aqueles relacionados ao evento metamórfico-hidrotermal. Entretanto, para os prospectos localizados em Bom Jesus da Penha e entre esta cidade e Nova Resende, além da ocorrência subordinada de litotipos ortognáissicos, as inclusões portadoras de cristais de saturação são interpretadas como aprisionadas ocasionalmente, devendo, portanto, ter sido menor a influência de fluidos magmáticos para estas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELI, N.; CARVALHO, S.G.; FERRÁRIO, A. 1999. Ocorrência de PGE no minério sulfetado na Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis do *Greenstone Belt* Morro do Ferro, Minas Gerais. *In: Simp. Geol. Sudeste, VI, São Pedro-SP. Bol. Res... SBG-SP/UNESP*, p. 118.
- ARTUR, A.C. & WERNICK, E. 1986. Interpretação geotectônica de alguns aspectos do embasamento cristalino do Estado de São Paulo e áreas adjacentes do Estado de Minas Gerais. *In: Congr. Bras. Geol., 34, 1986. Anais... Goiânia, SBG, v.3, p. 1285-95*
- ARTUR, A.C. & WERNICK, E. 1993. Modelos geotectônicos aplicados ao Pré-Cambriano no NE do Estado de São Paulo e áreas adjacentes do Estado de Minas Gerais: uma discussão. *Geociências, São Paulo, v. 12 (1), p. 155-85.*
- BIONDI, J.C. 1989. Tipologia dos Depósitos Minerais com Ouro. Apostila. 183p.
- BIONDI, J.C. 2003. Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros. São Paulo, Oficina de Textos. 528p.
- BARNES, J.W. 1996. Ores and Minerals: Introducing economic geology. John Wiley & Sons Ltd, 181p.
- BARRET, T.J.; CATTALANI, S.; MACLEAN, W.H. 1993. Volcanic lithogeochemistry and alteration at the Delbridge massive sulfide deposit, Noranda, Quebec. *Journal of Geochemical Exploration*, 48: 135-173.
- BARTON, P.B. & SKINNER, B.J. 1979. Sulfide Mineral Stabilities. *In: Geochemistry of hydrothermal Ore Deposits*, H.L. Barnes (ed.), New York: Holt, Rinehart, and Winston, Sec. Ed., p. 279-403.
- BATCHELOR, R. A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chem. Geol., v. 48, p. 43-55.*
- BRENNER, T.L.; TEIXEIRA, N.A.; OLIVEIRA, J.A.L.; FRANKE, N.D.; THOMPSON, J.F.H. 1990. *The O'Toole Nickel Deposit, Morro do Ferro Greenstone Belt, Brazil. Econ. Geol., v. 85 (5), p. 904-20, 1990.*
- CABRI, L.J. *et al.* 1973. New data on phase relations in the Cu-Fe-S system. *Econ. Geol., vol. 68, p. 443-454.*
- CAMPOS NETO, M.C. 1985. Evolução do Pré-Cambriano paulista e regiões adjacentes. *In: Simp. Reg. Geol., 5, São Paulo. Atas... São Paulo, SBG-SP, v.2, p. 561-85.*
- CARVALHO, S.G. 1983. Geologia e potencial de mineralização dos arredores de Fortaleza de Minas (MG). IG-USP, São Paulo. Dissertação de Mestrado. 130p. 1983.
- CARVALHO, S. G. 1990. Geologia, petrografia e metalogenia da seqüência vulcano-sedimentar de Alpinópolis, Minas Gerais. IG-USP, São Paulo. Tese de Doutorado. 216p. 1990.
- CARVALHO, S.G. & MORESCHI, J.B. 1992. Evolução Metamórfica e química do minério sulfetado de Alpinópolis (MG). *In: Workshop em Metalogênese: Pesquisas atuais e novas tendências. IG/UNICAMP - IG/USP - IGCE/UNESP. São Paulo, 1992. Bol. Res. p. 6.*

- CARVALHO, S.G.; SOARES, P.C.; MORESCHI, J.B. 1992. Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis, MG: Sucessão Mineral Sulfetada e Deformação. *In*: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, SBG, 1992. *Bol. Res. Exp.*, São Paulo, SBG, v.1, p. 250-251.
- CARVALHO, S.G.; SOARES, P.C.; ANTONIO, M.C.; ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F. 1993. Geologia da Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG). *Rev. Bras. Geoc.*, 23 (1): 38-51.
- CARVALHO, S.G.; SOARES, P.C.; ANGELI, N. 1996. Os processos formadores e deformadores das concentrações de cobre, zinco e níquel nos terrenos granito-*greenstone* de Alpinópolis - MG. *Geociências*, UNESP/São Paulo, v. 15 (n. esp.): 9-39. 1996.
- CARVALHO, S.G.; ZANARDO, A.; DEL LAMA, E.A.; ANGELI, N. 1998. Evolução metamórfica da Seqüência Metavulcano-sedimentar de Alpinópolis: Um estudo integrado de petrografia, química mineral e termobarometria. *Geociências*, UNESP/São Paulo, v. 17 (1): 9-59. 1998.
- CARVALHO, S.G.; ANTONIO, M.C.; BRENNER, T.L. 1999. A atuação de processos tectono-metamórficos e seus efeitos modificadores na jazida de sulfeto maciço de Fortaleza de Minas: Implicações na tipologia, teores e quimismo do minério. *In*: Congr. Geoq. Países de Língua Port. (V) & Congr. Bras. Geoq. (VII). *Anais...* SBG-BA, Porto Seguro. P. 246-248.
- CARVALHO, S.G.; BRENNER, T.L.; ZANARDO, A.; WARING, M.H.; FEOLA, J.L. 2000. Proterozoic phosphate deposits near Fortaleza de Minas, southwest Minas Gerais, Brazil. *Congr. Inter. Geol. -Rio de Janeiro/RJ*.
- CATHELINEAU, M. 1988. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Min.* 23: 471-485.
- CATHELINEAU, M. & NIEVA, D. 1985. A chlorite solid solution geothermometer, the Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contrib. Min. Petrol.* 91: 235-244.
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFFER, L.G.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. 1979. Projeto Sapucaí. Estado de São Paulo e Minas Gerais. DNPM/CPRM, Brasília, 299p.
- CHOUDHURI, A. 1980. Implication of exsolution in actinolite schists north of Jacuí, southern Minas Gerais. *In*: Congr. Bras. Geol., 31, 1980. Camboriú. *Anais...* Camboriú, SBG, 1980. v. 4, p. 1961-69.
- CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.J.A.; EBERT, H.D. 1982. Feições estruturais dos derrames ultramáficos a norte de Petúnia, Sul de Minas Gerais. *Ciências da Terra*, 7: 18-20.
- CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.J.A.; SCHRANK, A. 1988. Stability relationd of amphiboles in mafic-ultramafic schists from the greenstone belt around Jacuí, SW Minas Gerais. *In*: Congr. Bras. Geol., 35, Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG, v.3, p. 1425-1437.
- COLEMAN, R.G. 1977. *Ophiolites* – Springer-Verlag, N. York, 229p.

- CONDIE, K.C. 1973. Archaean magmatism and crustal thickening. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 84, n.9, p. 2981-2992.
- CRAWFORD, M.L. 1981. Phase equilibria in aqueous fluid inclusion. In: HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.L. (eds.). *Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology*. Min. Assoc. of Canada, 6: 75-100.
- CROSTA, A.P.; CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.A.J.; SCHRANK, A. 1986. Relações entre tipos litológicos e suas estruturas regionais nos terrenos Arqueanos e Proterozóicos do sudoeste de Minas Gerais. In.: Congr. Brás. Geol., 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG, v.2, p. 710-721.
- DEL LAMA, E.A. 1993. Petrologia das rochas metamórficas de alto grau do Complexo Campos Gerais e correlação com as do Complexo Varginha-Guaxupé: estudos termo-barométricos. Rio Claro: IGCE-Cp. de Rio Claro - UNESP, 1993. 132p. Dissertação de Mestrado - IGCE, UNESP. 1993.
- DEL LAMA, E. A.; ZANARDO, A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M.A.F. 1992. Metamorfismo da porção sul do Complexo Campos Gerais. In.: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, SBG, 1992. *Bol. Res. Exp.*, São Paulo, SBG, v.1, p. 407-408, 1992.
- DEL LAMA, E. A.; ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F.; MORALES, N. 2000. Exhumation of high-pressure granulites of the Guaxupé Complex, southeastern Brazil. *Geol. Journal* 35: p. 231-249.
- EBERT, H. 1968. Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Acad. Bras. Ciênc.*, v. 40 (suplemento), p. 215-29.
- EBERT, H. 1984. Os Paraibides entre São João Del Rey e Itapira e a bifurcação entre Paraibides e Araxáides. *Bol. Esp. SBG*, São Paulo, n.2, p. 72-103.
- FEOLA, J. L. 1999. Caracterização Lito-Estrutural e Metamórfica do Depósito Aurífero JS-1 e seu entorno. Dissertação de Mestrado. IGCE-UNESP. Rio Claro/SP. 155p.
- FEOLA, J.L.; CARVALHO, S.G.; A. ZANARDO; MORALES, N.; BRENNER, T.L. 1999a. Aspectos gerais do depósito aurífero JS-1, Fortaleza de Minas (MG). In: Simp. Geol. do Centro Oeste e Simp. Geol. de Minas Gerais. SBG-Centro Oeste/Minas Gerais. Brasília
- FEOLA, J.L.; CARVALHO, S.G.; A. ZANARDO; MORALES, N.; BRENNER, T.L. 1999b. Mineralizações Auríferas hospedadas no interior do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio entre Fortaleza de Minas e Pratápolis (MG). In: Simp. Geol. Sudeste, VI, São Pedro-SP. *Bol. Res...* SBG-SP/UNESP, p. 119.
- FERNANDES, N.H. 1997. Caracterização petrográfica e química das formações ferríferas bandadas relacionadas ao depósito Fortaleza de Minas em Fortaleza de Minas (MG). Dissertação de Mestrado. IGCE-UNESP. Rio Claro/SP. 166p.
- FÖSTER, H.J.; TISCHENDORF, G.; TRUMBULL, R.B. 1997. An evaluation of Rb vs. (Y+Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks. *Lithos*, 40: 261-293.

- FOSTER, H.L. 1998. The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granite of Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Parte II: Xenotime. *Am. Min.* 83: 1302-1315.
- GARRELS, R.M. & MACKENZIE, F.T. 1971. *Evolution of sedimentary rocks*. New York: W.W. Norton, 397p.
- HASUI, Y.; SOUZA, A.; ALMEIDA, N.M. 1962. Nota sobre a Jazida de Níquel de Pratápolis, Minas Gerais. São Paulo: Centro Paulista de Estudos Geológicos, Geologia, Ano I, nº 1, p. 19-24.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M. A. F. 1984. Província Mantiqueira, setor Central (Complexos Juiz de Fora, Barbacena e Varginha). *In*: F.F. Almeida & Y. Hasui (Coords.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgard Blucher, São Paulo, 308-44. 1984.
- HASUI, Y.; RODRIGUES, E.P.; OLIVEIRA, M.C.B.; ENS, H.J.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KULLER, M.L.; FRASCA, M.H.B.O. 1988. Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformação de rochas pré-cambrianas antigas do leste de São Paulo. Fase I. Relatório IPT n. 25908, IPT, São Paulo, v.3. 1988.
- HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E.; MIOTO, J.A.; SAAD, A.R.; CAMPANHA, V.A.; HAMZA, V.M.; GALLI, V.A.; FRAGIPANI, A.; PULEGHINI F^o, P. 1989. Compartimentação Estrutural e Evolução Tectônica do Estado de São Paulo. Relatório nº 27.394, 2 v., IPT. 1989.
- HASUI, Y.; EBERT, H.; COSTA, J.B.S. 1990. Estruturação da extremidade oriental da chamada Cunha de Guaxupé: dados preliminares. *In*.: Congr. Brás. Geol.; 36, Natal, SBG, 1990. *Anais...Natal, SBG*, v.5, p. 2296-308. 1990.
- HASUI, Y.; HARALYI, N. L.E.; COSTA, J. B.S. 1993. Megaestruturação pré-cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. *Geociências*, São Paulo, v. 12 (1), p. 7-31. 1993.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; ZIMBRES, E.; CHRISPIM, S.J.; SIMÕES, L. S. A.; SOUZA, M. A. T. 1987. O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. *In*: Simp. Geol. Minas Gerais, 4, Belo Horizonte, SBG, 1987. *Anais... Belo Horizonte, SBG*, p. 179-98. 1987.
- HODGSON, C.J. 1989. The structure of shear-related, vein-type gold deposits: a review. *Ore Geol. Rev.*, 4: 231-273.
- HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.L. (eds.). 1981. *Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology*. Min. Assoc. of Canada, 6: 304p.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sc.*, v.8: 523-548.
- JENKINS, D.M. & CHERNOSKI Jr., J.V. 1986. Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. *Am. Min.*, 71: 924-936.
- KERRICH, R. 1976. Some effects of tectonic recrystallisation on fluid inclusions in vein quartz. *Contr. Min. Petrol.*, 59: 195-202.
- KISSIN, S.A. 1974. Phase relations in a portion of the Fe-S system. PhD Thesis, University of Toronto, Canada.

- KLEIN, C. & BEUKES, N.J. 1992. Proterozoic Iron-Formations. *In*: K.C. CONDIE (Ed.). Proterozoic Crustal Evolution. Developments in Precambrian Geology, 10. Elsevier, 383-418.
- KRETZ, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*: 68, 277-279.
- LOBATO, L.M.; BAARS, F.J.; JOST, H.; SILVA, M.G.; CUNHA, J.C.; CARVALHO, S.G. 2000. Potential for volcanogenic massive sulphide deposits in the magmatic-arc-related volcano-sedimentary belts in and around the São Francisco Craton, Brazil. *In*: R. Sherlock & M.A.V. Logan (ed.). VMS Deposits of Latin America. Geol. Assoc. of Canada – Mineral Deposits Division. Spec. Publ. n° 2, 463-507.
- MACLEAN, W.H. & KRANIDIOTS, P. 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec. *Econ. Geol.* 82 (4): 951-962.
- MACLEAN, W.H. & BARRET, T.J. 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journ. Geochemical Exploration*, 48: 109-133.
- McCUAIG, T.C. & KERRICH, R. 1998. P-T-t-Deformation Fluid Characteristics of Lode Gold Deposits: Evidence from Alteration Systematics. *Ore Geol. Rev.* 12, 381-453.
- MIKUCKI, E.J. 1998. Hydrothermal transport and depositional process in Archean lode-gold systems: a review. *Ore Geol. Rev.*, 13, p. 307-321.
- MIKUCKI, E.J. & RIDLEY, J.R. 1993. The hydrothermal fluid of Archean lode-gold deposits at different metamorphic grades: compositions constraints from ore and alteration assemblages. *Mineral. Deposita* 28, 469-481.
- MONIER, G. & ROBERT, J.L. 1986. Muscovite solid solutions in the system K_2O - MgO - FeO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O : a experimental study at 2 kbar PH_2O and comparison with natural Li white micas. *Mineralogical Magazine*, 50: 257-266.
- MORALES, N.; CARVALHO, S.G.; CHOUDHURI, A.; FIORI, A.P.; OLIVEIRA, M.A.F.; RODRIGUES, M.F.B.; SOARES, P.C.; ZANARDO, A. 1983. Geologia das Folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí, Nova Resende, MG. *In*: Simp. Geol. de Minas Gerais, 2, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, SBG-MG, bol. 3: 411-422.
- MORALES, N.; ZANARDO, A.; SIMÕES, L.S.A.; GODOY, A.M. 1991. A zona de cisalhamento Campo do Meio na região entre Fortaleza de Minas e Alpinópolis, sul de Minas Gerais. *In*: Simp. Nac. Est. Tectônicos, 3, Rio Claro, UNESP/SBG, 1991. *Boletim*, Rio Claro, UNESP/SBG, p. 34-6. 1991.
- MORALES, N.; ZANARDO, A.; HASUI, Y.; SIMÕES, L.S.A. 1996. Evolução tectônica do Grupo Araxá nas Serras do Chapadão e da Fortaleza, sudoeste do Estado de Minas Gerais. *Geociências*, São Paulo, v. 15 (n. espec.), p. 41-66. 1996.
- MORIMOTO, N.; GYOBU, A.; MUKAIYAMA, H.; IZAWA, E. 1975a. Crystallography and stability of pyrrhotites. *Econ. Geol.*, vol. 70, p. 824-833.
- MORIMOTO, N.; GYOBU, A.; TSUKUMA, K.; KOTO, K. 1975b. Superstructures of pyrrhotite, $Fe_{1-x}S$. *Material Research Bulletin*, vol. 6, p. 345-358.
- PEARCE, J. A. 1996. Sources and settings of granitic rocks . *Episodes*, 19: 120-125

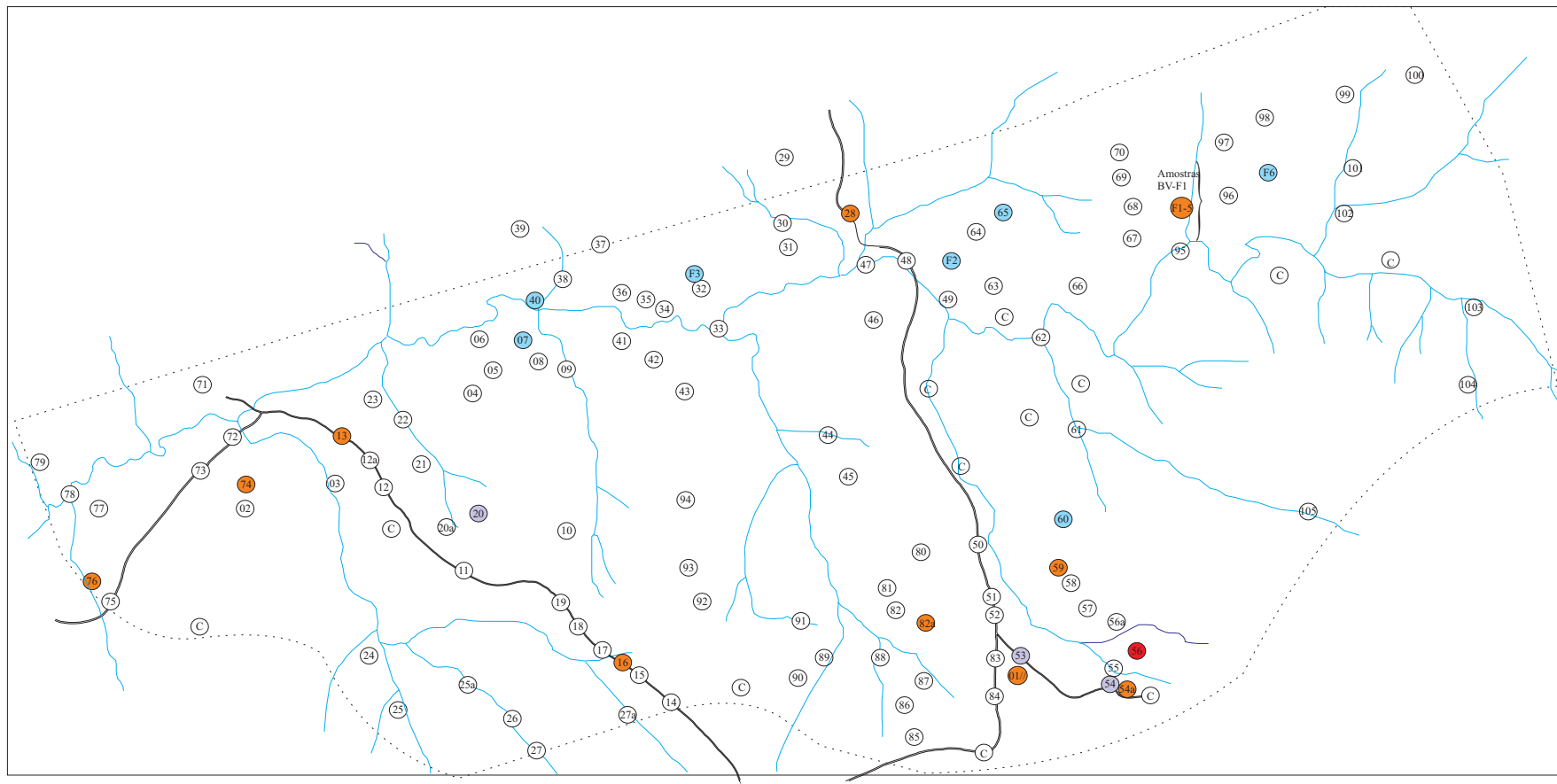
- PEARCE, J.A.; GORMAN, B.E.; BIRKETT, T.C.; 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 121-132.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25 (4): 956-983.
- RIDLEY, J. 1997. Syn-Metamorphic Gold Deposits in Amphibolite and Granulite Facies Rocks. *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 142, 101-110.
- ROEDDER, E. 1981. Origin of fluid inclusions and changes that occur after trapping. In: HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.L. (eds.). *Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology*. Min. Assoc. of Canada, 6: 304p.
- ROEDDER, E. 1982. Fluid inclusion evidence bearing on the environments of gold deposition. In: FOSTER, R.P. (ed.). *Gold'82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits*. Geol. Soc. Zimbabwe. Spec. Publ. n° 1, AA. Balkema, Rotterdam, 53-70.
- ROEDDER, E. 1984. Fluid Inclusions. Review in Mineralogy. 1ed. Michigan: Bookcrafters. Mineralogical Society of America. Vol. 12, 646p.
- ROEDDER, E. & SKINER, B.J. 1968. Experimental evidence that fluid inclusions do not leak. *Econ. Geol.*, 63: 715-730.
- ROIG, H.L. 1993. Caracterização da "Zona de Sutura" Jacuí-Conceição da Aparecida, MG - limite norte do Cinturão Alto Rio Grande: implicações geotectônicas e metalogenéticas. Campinas: IG-UNICAMP, 1993. Dissertação de Mestrado. 136p. IG-UNICAMP. 1993.
- ROIG, H.L. & SCHRANK, A. 1992. Caracterização da zona de sutura Jacuí-Conceição da Aparecida – limite norte do complexo de nappes de Guaxupé – MG. In: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, SBG. Bol. Res. Exp., SBG, São Paulo, v.1, p. 283-285.
- ROMBERGER, S.G. 1990. Transport and deposition of gold in hydrothermal systems. In: Nuna Conference on Greenstone Gold and Crustal Evolution, Val D'Or.
- SCHMID, S.M. & HANDY, M.R. 1991. Towards a genetic classification of Fault Rocks: Geological usage and tectonophysical implications. In: MÜLLER, D.W.; MacKENZIE, J.A.; WEISSIR, H. (Eds.). *Controversies in modern geology*. Ed. Academic press, London, 1991. 490p.
- SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; ROIG, H.L.; CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.A.J.; CARVALHO, E.D.C. 1990. Determinação dos vetores de transporte tectônico na borda sudoeste do Cráton do São Francisco. In: Congr. Bras. Geol., 36, Natal, 1990. *Anais...Natal*, SBG, v.6, p. 2276-83.
- SHAW, D.M. 1964. Interpretation géochimique des elements en trace dans les roches crystalline. Paris: Masson, 237p.
- SIMÕES, L.S.A. 1995. Evolução tectono-metamórfica da Nappe de Passos, sudoeste de MG. Tese de Doutorado. IG-USP, São Paulo/SP, 149p.
- SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M.; ZANARDO, A.; MORALES, N.; MORAES, R.; GOMI, C. Y. 1988. Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região

- de São Sebastião do Paraíso-Alpinópolis, MG. In: Congr. Bras. Geol., 35, Belém, SBG, 1988. *Anais...* Belém, SBG, v.3, p. 1203-15. 1988.
- SOARES, P.C. 1988. Tectônica Colisional em torno do Bloco Paraná. In: Congr. Latino Amer. Geol., 7, Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG, p. 63-79.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; CARVALHO, S.G. 1990. Tectônica Colisional Oblíqua entre o Bloco Paraná e a Margem Sul do Cráton do São Francisco, no Maciço Guaxupé. In: Congr. Bras. Geol., 36, Natal. *Anais...* SBG, v.6: 2723-2734.
- SOARES, P.C.; CARVALHO, S.G.; FIORI, A.P. 1991. Evolução tectônica dos terrenos máficos-ultramáficos na margem sul do Cráton São Francisco. In: Simp. Nac. Est. Tectônicos, 3, Rio Claro, SBG/UNESP, 1991. *Boletim*, Rio Claro, SBG/UNESP, p. 66-8. 1991.
- SPEER, J.A. 1987. Micas in igneous rocks. In: Micas – Reviews in mineralogy – vol. 13 2nd ed.(S.W. BAILEY – ed.). *Mineralogical Society of America* – p. 299-356.
- SUGAKI, A., SHIMA, H., KITHAKAZE, A., HARADA, H. 1975. Isothermal phase relations in the system Cu-Fe-S under hydrothermal conditions at 350⁰ and 300⁰C. *Econ. Geol.*, vol. 70, p. 806-823.
- TEIXEIRA, N.A. 1978. Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Brasília - UnB, 1978. Dissertação de Mestrado - UnB. 1978.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. 1978. Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá Canastra na região de Passos (MG). In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, SBG, 1978. *Anais...* Recife, SBG, v.2, p. 700-10
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. 1979a. Geologia da raiz de um greenstone belt na região de Fortaleza de Minas, MG. *Rev. Bras. Geoc.*: 9 (1), p. 17-26. 1979a.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. 1979b. Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). *Rev. Bras. Geoc.*: 9 (2), p. 151-8. 1979b.
- TEIXEIRA, N.A.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L., CHENEY, J.T.; MARCHETTO, C.M.L. 1987. Geologia e implicações geotectônicas do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (Fortaleza de Minas-MG). *Rev. Bras. Geoc.*:17, p. 209-20. 1987.
- VALERIANO, C.M.; SIMÕES, L.S.A; GODOY, A.M. 1989. Compartimentação tectônica da porção meridional das Faixas Uruaçu e Brasília, SW de Minas Gerais: dados preliminares. In.: Simp. de Geol. de Minas Gerais, 5, Belo Horizonte/MG. *Anais...* Belo Horizonte, SBG, 1: 238-242.
- VAUGHAN, D. J. & CRAIG, J.R. 1978. Mineral chemistry of metal sulfides. Cambridge University Press, 491p.
- VELDE, B. 1985. Clay Minerals – A Physico-Chemical Explanation of their Occurrence. *Development in Sedimentology* 40. Elsevier, Amsterdam, 425 p.
- WEISBROAD, A.; POTY, B.; TOURET, J. 1976. Les inclusions fluids in geochimie et pétrologie: tendances actualles. *Bull. Minér.*, 99 (140), 140-152.
- WERNICK, E. *et al.* 1981. A tectônica rígida do fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda sul e sudoeste do Cráton do São Francisco: tentativa de um

- modelo preliminar. *In: Simp. Cráton do São Francisco e suas Bordas Marginais*, Salvador, SBG, 1978. *Anais...* Salvador, SBG, p. 164-78.
- VILJOEN, M.J.; VILJOEN, R.P.; PEARSON, T.N. 1982. The nature and distribution of Archean Komatiitic volcanics in South Africa. *In: Arnd, E.G. (eds) – Komatiites –* George Allen & Unwin, London, p: 53-79.
- YAO, Y.; MURPHY, P.I.; ROBB, L.J. 2001. Fluid Characteristics of Granitoid-Hosted Gold Deposits in The Birimian Terrane of Ghana: A Fluid Inclusion Microthermometric and Raman Spectroscopic Study. *Econ. Geol.*, 96, 1611-1643.
- YUND, K. & KULLERUD, G. 1966. Thermal stability of assemblages in the Cu-Fe-S system. *Jour. Petrol.*, vol. 7, p. 454-488.
- ZANARDO, A. 1992. Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG). Rio Claro: IGCE-Cp. de Rio Claro - UNESP, 1992. 288p. Tese de Doutorado -IGCE, UNESP. 1992.
- ZANARDO, A.; MORALES, N., CARVALHO, S.G., SIMÕES, L.S.A, OLIVEIRA, M.A.F. 1990. Evolução metamórfica da porção sul do Cráton Paramirim. *In: Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal, SBG, 1990. *Anais...* Natal, SBG, v.4, p. 1945-55.
- ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F.; DEL LAMA, E.A.; CARVALHO, S.G. 1996. Rochas máficas e ultramáficas da Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha-Conceição da Aparecida (MG). *Geociências*, São Paulo, v. 15 (1), p. 279-297. 1996.
- ZANARDO, A.; MORALES, N., CARVALHO, S.G., DEL LAMA, E.A. 2000. Contexto Geológico do Complexo Barbacena em seu extremo oeste. *Geociências*, UNESP/São Paulo, v. 19 (2): 253-264. 2000.

APÊNDICE 1

Mapas de Pontos Geológicos Descritos
com Indicação das Amostras Submetidas a Análises



Legenda

- Análises de geoquímica de rocha total e química mineral
- Análise de geoquímica de rocha total

- Análise de química mineral
- Análise de inclusões fluidas

Estrada

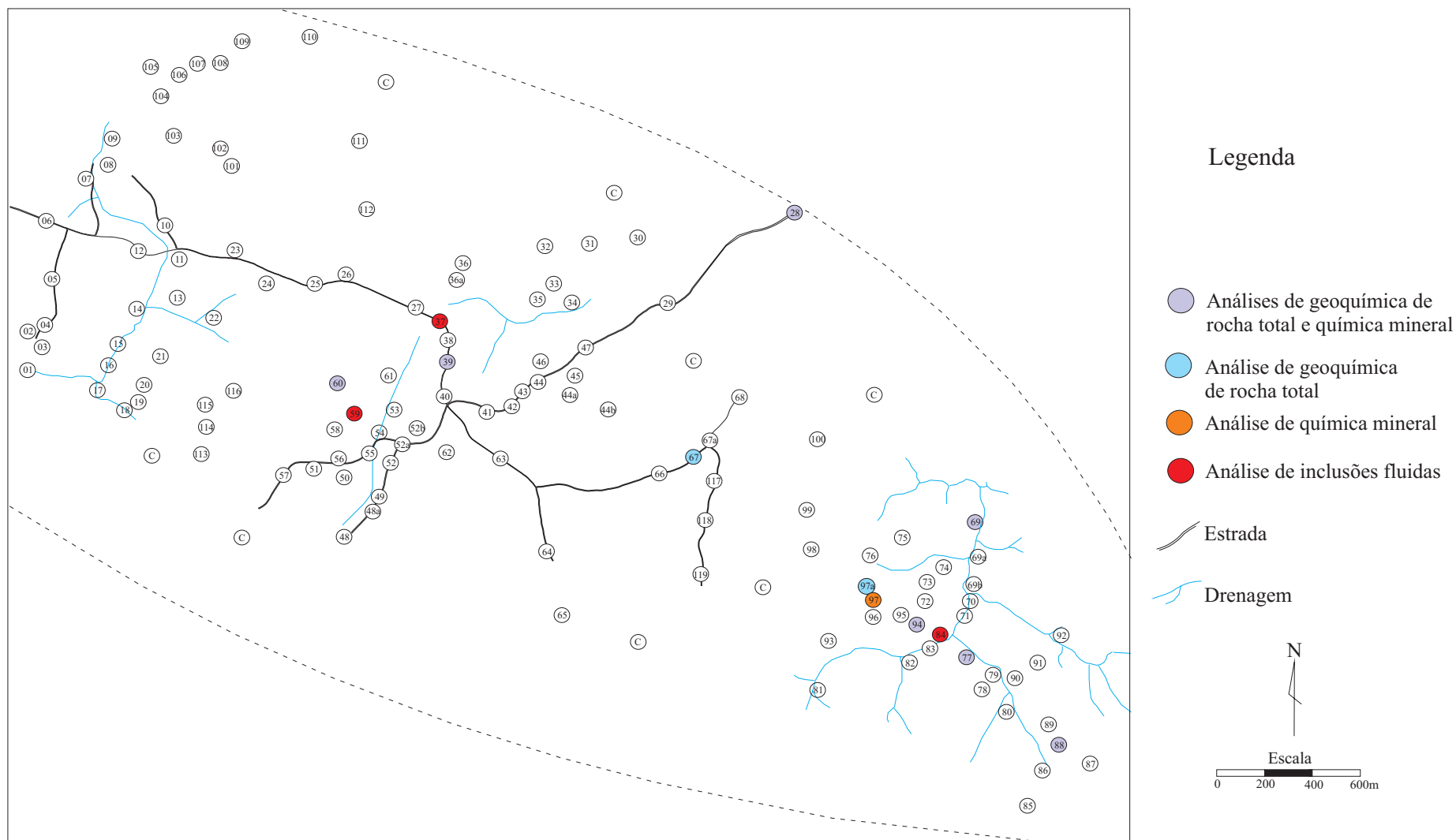
Drenagem



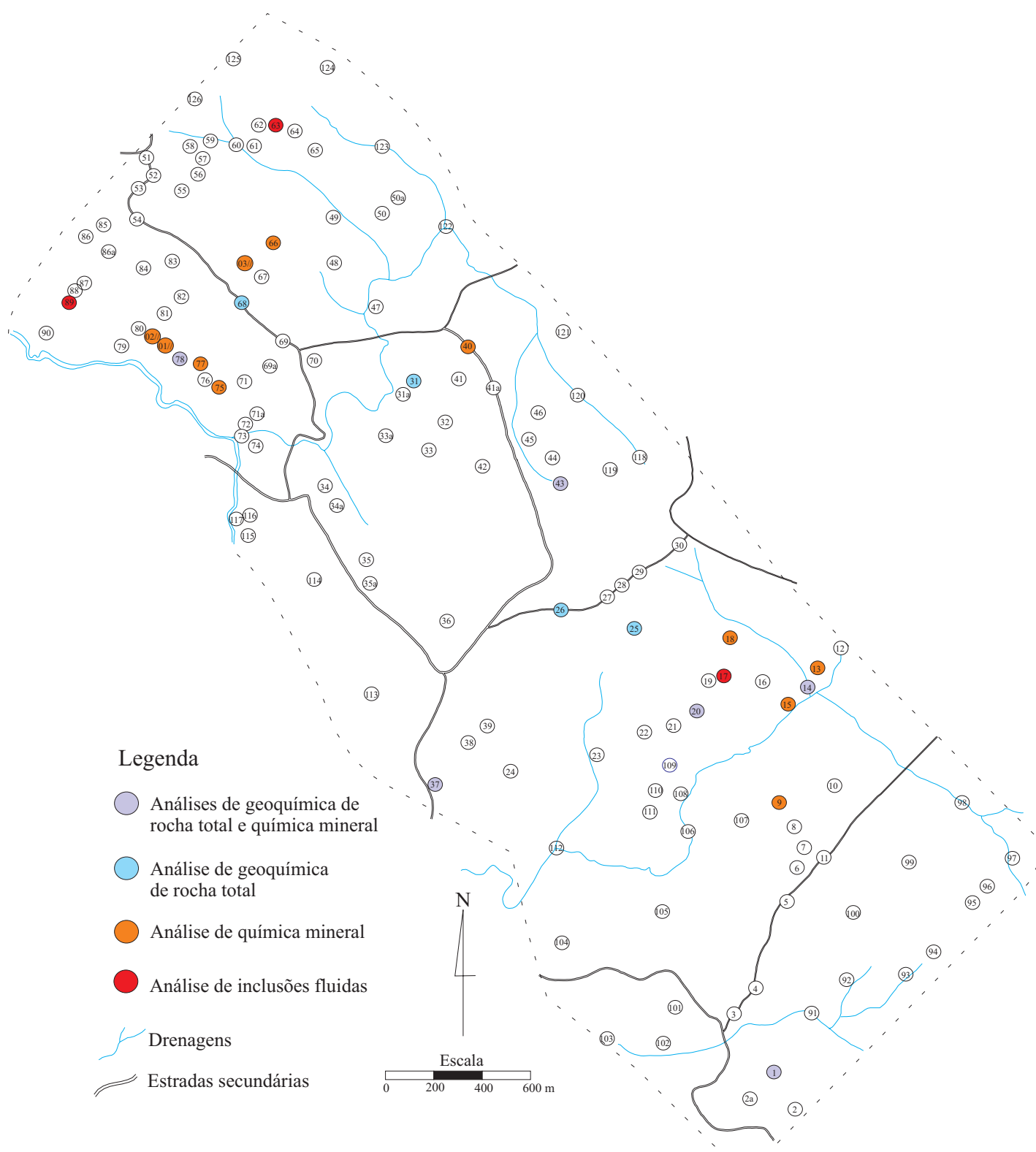
Escala



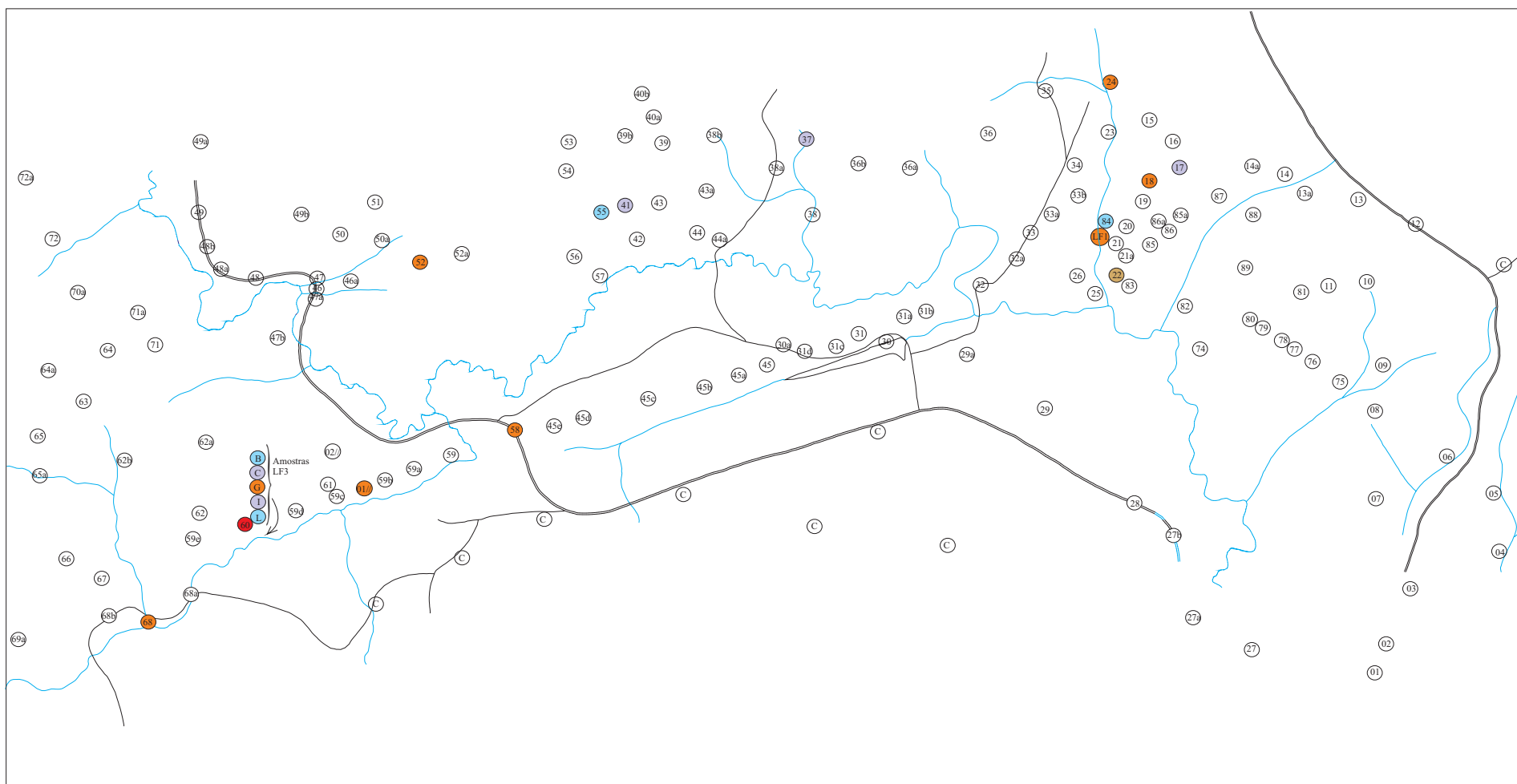
Mapa de pontos do Prospecto Boa Vista com indicação das amostras submetidas a análises de geoquímica de rocha total, química mineral e inclusões fluidas.



Mapa de pontos do Prospecto Colônia com indicação das amostras submetidas a análises de geoquímica de rocha total, química mineral e inclusões fluidas.



Mapa de pontos do Prospecto Gravatá com indicação das amostras submetidas a análises de geoquímica de rocha total, química mineral e inclusões fluidas.

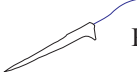


Legenda

- Análises de geoquímica de rocha total e química mineral
- Análise de geoquímica de rocha total
- Análise de química mineral

- Análise de inclusões fluidas
- Análises de geoquímica de rocha total, química mineral e inclusões fluidas

-  Estrada principal
-  Estrada secundária
-  Drenagem

-  Reservatório d'água

NV

Escala

0 100 200 300 m

Mapa de pontos do Prospecto Lenhoso com indicação das amostras submetidas a análises de geoquímica de rocha total, química mineral e inclusões fluidas.

Tabela. 4.1-1. Relação de amostras que foram submetidas a análise geoquímica de rocha total (abordados no capítulo 4).

Prospecto	Grupo litológico	Litotipo	Amostra	
Boa Vista	<i>Metassedimentos</i>	Muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto	BV-07	
		Metacherte hidrotermal	BV-53	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	BV-54	
		Muscovita/sericita-granada xisto grafitoso	BV-65	
	<i>Metavulcânicas</i>	Talco xisto com ortopiroxênio	BV-60	
		Actinolita/tremolita xisto	BV-F2	
		Talco-clorita-actinolita/tremolita xisto	BV-F3	
		Clorita xisto	BV-F6	
	<i>Gnaisses</i>	Quartzo-oligoclásio-microclínio gnaiss	BV-20	
		Biotita gnaiss	BV-40	
Lenhoso	<i>Metassedimentos</i>	Quartzito	L-17	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	L-22	
		Formação ferrífera hematítica	L-41	
		Muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto	L-55	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	L-F3I	
	<i>Metavulcânicas</i>	Meta-ortopiroxenito	L-84	
		Cummingtonita/grunerita xisto	L-F3B	
		Clorita-antofilita-talco xisto	L-F3C	
		Actinolita/tremolita-clorita xisto	L-F3L	
	<i>Gnaiss</i>	Clorita-epidoto-quartzo-albita gnaiss	L-37	
Gravatá	<i>Metassedimentos</i>	Muscovita/sericita-quartzo xisto	G-20	
		Muscovita/sericita-granada-(biotita) xisto	G-25	
		Quartzito	G-43	
		Quartzo-granada anfibolito	G-68	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	G-78	
	<i>Metavulcânicas</i>	Magnetita-clorita <i>fels</i>	G-01	
		Clorita xisto	G-26	
		Antofilita xisto	G-31	
	<i>Gnaisses</i>	Flogopita gnaiss	G-14	
		Epidoto gnaiss	G-37	
Colônia	<i>Metassedimentos</i>	Formação ferrífera hematítica	C-39	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	C-77	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	C-94	
	<i>Metavulcânicas</i>	Antofilita xisto	C-60	
		Clorita-actinolita/tremolita xisto	C-67	
		Clorita xisto	C-88	
		Clorita-cummingtonita-actinolita/tremolita xisto	C-97A	
	<i>Gnaisses</i>	Hornblenda gnaiss	C-28	
		Flogopita gnaiss	C-69	

Tabela 4.1-2. Teores de elementos maiores (expressos em porcentagem) obtidos por meio de análise geoquímica de rocha total

Prospecto BOA VISTA											Prospecto LENHOSO									
Metassedimentos					Gnaisses		Metavulcânicas				Metassedimentos					Gnaisse	Metavulcânicas			
	BV-07	BV-53	BV-54	BV-65	BV-20	BV-40	BV-60	BV-F2	BV-F3	BV-F6	L-17	L-22	L-41	L-55	L-F3I	L-37	L-84	L-F3B	L-F3C	L-F3L
SiO ₂	56,70	89,50	82,00	67,10	67,70	74,00	60,30	48,00	42,00	47,40	96,50	81,60	45,90	50,50	80,30	62,80	47,10	49,40	52,70	52,10
TiO ₂	0,91	0,04	0,54	0,72	0,02	0,18	0,04	0,36	0,57	0,38	0,02	0,49	0,07	1,10	0,49	0,35	0,31	0,20	0,24	0,22
Al ₂ O ₃	16,30	1,20	8,20	15,10	17,00	13,40	0,89	5,80	11,80	6,50	1,10	8,90	2,10	22,90	9,90	19,30	9,20	5,30	6,70	6,30
Fe ₂ O ₃	16,80	5,60	5,00	4,20	0,78	2,30	4,40	13,40	15,60	13,10	1,50	4,00	48,00	16,00	4,00	2,80	11,30	13,00	9,80	10,70
MnO	0,33	0,23	0,04	0,04	0,01	0,05	0,05	0,17	0,22	0,18	0,01	0,02	0,10	0,12	0,02	0,04	0,11	0,22	0,18	0,24
MgO	3,50	0,41	0,38	0,54	<0,10	0,47	28,3	25,40	18,60	25,60	<0,10	0,45	<0,10	0,64	0,38	1,20	22,40	23,90	22,60	18,00
CaO	0,64	0,39	0,05	0,03	0,40	1,30	0,29	0,37	4,40	1,80	0,03	0,17	0,10	0,20	0,04	1,80	2,00	1,80	0,08	9,80
Na ₂ O	0,10	<0,10	<0,10	0,13	2,80	3,60	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,13	<0,10	0,16	0,23	9,20	<0,10	<0,10	<0,10	0,95
K ₂ O	0,43	0,02	2,50	3,10	10,40	3,60	0,02	0,02	0,05	0,02	0,27	3,00	<0,01	1,10	2,90	1,40	0,04	0,01	0,64	0,06
P ₂ O ₅	0,22	0,03	0,04	0,03	0,02	0,06	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,11	0,13	0,05	0,11	0,02	0,03	0,01	0,04
P.F.	3,57	1,24	0,99	7,87	0,42	0,36	4,51	5,65	6,33	4,69	0,34	1,45	4,29	6,90	1,42	0,81	6,50	5,70	6,63	1,14
Total	99,50	98,66	99,74	98,86	99,55	99,32	98,80	99,19	99,58	99,68	99,79	100,24	100,67	99,75	99,73	99,81	98,98	99,56	99,58	99,55

Prospecto GRAVATÁ											Prospecto COLÔNIA								
Metassedimentos					Gnaisses		Metavulcânicas				Metassedimentos			Gnaisses		Metavulcânicas			
	G-20	G-25	G-43	G-68	G-78	G-14	G-37	G-01	G-26	G-31	C-39	C-77	C-94	C-28	C-69	C-60	C-67	C-88	C-97
SiO ₂	80,80	55,80	90,00	53,50	85,50	68,40	60,10	25,40	44,50	43,90	6,20	73,10	88,10	52,00	60,90	51,70	47,60	45,30	48,60
TiO ₂	0,49	1,10	0,08	0,66	0,45	0,41	0,90	0,62	0,22	0,16	0,11	0,23	0,14	1,20	0,73	0,24	0,24	0,59	0,59
Al ₂ O ₃	9,70	21,80	0,86	12,60	6,80	15,40	15,30	19,50	10,60	7,20	3,60	16,30	5,10	16,00	14,70	4,00	8,50	7,60	8,70
Fe ₂ O ₃	3,30	10,60	4,90	12,70	3,60	4,60	7,60	15,60	10,90	9,10	81,10	2,40	3,20	10,60	8,50	10,60	10,40	12,80	13,40
MnO	0,02	0,19	0,04	0,20	0,02	0,06	0,09	0,06	0,12	0,18	0,02	0,02	0,02	0,15	0,12	0,12	0,17	0,17	0,18
MgO	0,50	0,56	1,70	7,50	0,27	1,20	2,40	27,60	25,00	26,10	0,16	0,66	0,46	4,10	4,00	26,00	20,20	22,10	16,40
CaO	0,05	0,08	0,96	10,50	0,02	3,10	7,10	0,01	0,79	4,50	0,10	0,05	0,05	8,20	4,70	3,70	8,00	5,70	8,70
Na ₂ O	<0,10	0,44	<0,10	0,92	0,17	3,40	1,60	<0,10	0,11	0,12	0,40	0,26	0,10	2,70	3,40	0,36	0,52	0,30	0,83
K ₂ O	3,30	3,20	0,02	0,18	2,00	1,60	2,50	0,02	0,03	0,02	0,12	4,80	1,60	1,90	1,50	0,02	0,03	0,04	0,09
P ₂ O ₅	0,03	0,11	0,07	0,09	0,02	0,07	0,29	0,03	0,11	0,02	0,33	0,02	<0,01	1,10	0,14	0,02	0,01	0,04	0,04
P.F.	1,48	5,84	0,72	0,85	0,70	1,43	1,86	10,81	6,79	7,88	6,51	1,88	0,62	2,03	1,13	3,02	3,90	4,67	1,76
Total	99,67	99,72	99,35	99,70	99,55	99,67	99,74	99,65	99,17	99,18	98,65	99,72	99,39	99,98	99,82	99,78	99,57	99,31	99,29

Tabela 4.1-3. Teores de elementos traços (expressos em ppm, com exceção de Au que é expresso em ppb) obtidos por meio de análise geoquímica de rocha total.

Prospecto BOA VISTA										Prospecto LENHOSO										
Metassedimentos					Gnaisses		Metavulcânicas				Metassedimentos					Gnaisse	Metavulcânicas			
	BV-07	BV-53	BV-54	BV-65	BV-20	BV-40	BV-60	BV-F2	BV-F3	BV-F6	L-17	L-22	L-41	L-55	L-F3I	L-37	L-84	L-F3B	L-F3C	L-F3L
Au	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
As	3	3	2	40	< 1	< 1	3	< 1	< 1	1	6	< 1	4	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1
Se	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sb	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	9,9	< 1	< 1	< 1	< 1
S	51	330	< 50	72	< 50	< 50	< 50	< 50	54	< 50	154	871	152	66	< 50	691	116	< 50	< 50	139
Cu	61	32	13	74	6,1	16	11	45	61	48	37	8,2	68	100	9,8	22	115	42	38	10
Pb	24	< 8	40	70	117	70	< 8	16	30	14	188	46	42	75	59	58	22	33	38	19
Zn	86	15	20	203	< 3	56	64	113	105	89	64	33	228	82	37	24	100	111	269	119
Co	34	8,2	10	31	< 8	< 8	45	135	97	89	< 8	13	< 8	36	14	12	80	58	127	50
Cr	1609	458	64	477	3,7	13	705	2587	1448	1917	48	135	81	235	68	35	2223	1727	1189	3483
Ni	646	74	22	46	6,3	7,9	1271	1669	1005	1155	16	26	35	115	25	< 3	1378	1016	1904	961
Mo	< 3	3,9	7,4	8,2	8	7	< 3	< 3	< 3	< 3	3,2	5,5	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
B	542	719	1247	1954	633	852	386	1209	1651	1432	<10	306	1788	908	1726	571	986	1536	1548	1324
W	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	136	23	47	149	< 8	12	< 8	150	163	148	< 8	54	45	157	45	12	112	65	63	74
Y	16	< 3	14	11	14	13	< 3	< 3	7,2	11	< 3	79	6,3	22	12	13	6	3,3	16	7,6
Ba	74	22	467	265	686	267	< 3	9,4	16	3,2	23	570	101	116	709	258	157	10	70	7,7
Be	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Cd	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	25	8,5	< 3	< 3	< 3	3,4	< 3	< 3
Sr	32	5,6	59	30	194	166	< 3	< 3	5,3	3,8	3,6	28	< 3	30	27	150	5,8	4,3	3,2	6,7
Zr	78	< 3	75	67	8,7	69	3,3	7,3	14	5,9	4,9	95	39	162	99	80	12	14	13	23
Li	12	< 3	< 3	7,7	< 3	13	< 3	6,5	13	9,3	< 3	9,1	< 3	21	5,9	11	16	< 3	29	9,4
Sc	17	3,7	5,1	20	< 3	< 3	< 3	< 3	6,6	< 3	< 3	4,2	3,4	30	6,8	< 3	5,1	6,3	4,2	5,9
Rb	< 5	< 5	93	87	275	116	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	145	< 5	23	108	26	< 5	< 5	31	< 5
Ta	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Hf	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
U	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Ga	24	< 5	15	48	21	26	< 5	19	19	15	6	15	< 5	37	19	25	13	12	11	8
Nb	5	< 5	11	14	< 5	11	< 5	5	< 5	< 5	< 5	11	9	17	12	14	< 5	< 5	< 5	8

Tabela 4.1-3. Teores de elementos traços (expressos em ppm, com exceção de Au que é expresso em ppb) obtidos por meio de análise geoquímica de rocha total (continuação).

Prospecto GRAVATÁ											Prospecto COLÔNIA								
Metassedimentos						Gnaisses		Metavulcânicas			Metassedimentos			Gnaisses		Metavulcânicas			
	G-20	G-25	G-43	G-68	G-78	G-14	G-37	G-01	G-26	G-31	C-39	C-77	C-94	C-28	C-69	C-60	C-67	C-88	C-97
Au	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
As	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	1	< 1	< 1	50	< 1	26	1	< 1	1	1	1	1
Se	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sb	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
S	< 50	< 50	< 50	1543	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	1601	< 50	< 50	1941	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Cu	11	39	25	106	11	21	18	24	78	13	66	38	23	99	21	147	39	8,6	33
Pb	37	82	< 8	42	25	47	53	19	13	15	48	57	21	63	19	101	< 8	64	23
Zn	16	48	80	94	26	46	48	136	70	78	49	84	92	127	72	239	79	22	22
Co	9,1	68	< 8	43	8	10	21	142	121	73	36	33	89	46	66	< 8	95	< 8	14
Cr	45	230	147	376	42	17	45	46	2761	1734	224	193	1675	37	1323	>5000	1540	39	313
Ni	27	65	34	89	19	17	38	582	1489	1816	155	54	1145	37	832	30	1739	32	44
Mo	< 3	7	6	4,5	4,7	< 3	4,3	< 3	< 3	< 3	< 3	3,5	< 3	5,3	< 3	< 3	< 3	4,5	5,5
Sn	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
B	1245	997	276	376	1848	795	542	<10	<10	53	564	2347	1746	658	547	59	<10	<10	348
W	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V	47	107	48	213	41	47	98	81	98	83	147	148	144	247	124	137	70	19	23
Y	8,6	17	83	36	5,5	19	40	< 3	< 3	46	18	29	22	35	62	3,7	15	8,9	4,9
Ba	534	747	31	16	272	343	644	5,6	5,3	< 3	81	309	8,1	410	4,6	29	3,4	268	104
Be	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Cd	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sr	32	32	6,1	55	26	382	514	< 3	4,8	31	38	339	14	584	8,1	12	8,1	146	12
Zr	60	140	30	15	77	27	57	92	5,8	5	81	14	9,9	20	8	30	7,6	64	46
Li	9,3	9,9	< 3	7,5	< 3	21	14	< 3	6,7	< 3	24	32	4,2	23	3,6	< 3	8,7	15	7,7
Sc	< 3	19	< 3	17	3,7	< 3	8	< 3	< 3	< 3	15	15	< 3	12	8	40	< 3	3,7	< 3
Rb	160	50	< 5	< 5	54	47	46	< 5	< 5	< 5	< 5	128	20	40	44	< 5	< 5	< 5	< 5
Ta	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Hf	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	15	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
U	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Ga	18	35	< 5	18	12	28	27	20	15	9	< 5	28	10	25	25	10	8	14	14
Nb	14	16	< 5	< 5	5	< 5	12	9	< 5	< 5	6	< 5	6	10	< 5	< 5	< 5	< 5	5

Tabela 4.1-4. Teores de elementos terras raras (expressos em ppm) obtidos por meio de análise geoquímica de rocha total

Prospecto BOA VISTA											Prospecto LENHOSO									
Metassedimentos					Gnaisses		Metavulcânicas				Metassedimentos					Gnaisses	Metavulcânicas			
	BV-07	BV-53	BV-54	BV-65	BV-20	BV-40	BV-60	BV-F2	BV-F3	BV-F6	L-17	L-22	L-41	L-55	L-F3I	L-37	L-84	L-F3B	L-F3C	L-F3L
La	25,680	2,791	47,550	1,856	28,600	18,240	2,100	1,575	8,804	8,394	1,671	21,570	4,193	19,540	21,520	14,910	13,380	1,300	27,420	5,052
Ce	48,010	3,879	54,720	3,693	59,888	33,240	3,682	3,020	13,612	13,665	3,182	27,040	7,669	29,290	35,790	31,260	27,054	3,044	53,030	10,641
Nd	21,210	1,110	24,570	1,236	16,200	11,030	1,512	1,104	7,233	7,251	0,678	11,020	3,328	13,310	12,840	11,230	11,590	1,400	34,710	3,519
Sm	4,585	0,246	4,118	0,212	3,476	2,361	0,260	0,330	1,183	1,633	0,107	2,451	0,964	3,285	2,690	2,432	1,306	0,310	7,337	0,620
Eu	1,162	0,075	0,786	0,083	0,855	0,502	0,032	0,095	1,002	0,447	0,033	0,478	0,188	0,763	0,498	0,603	0,357	0,109	1,882	0,296
Gd	3,564	0,223	2,362	0,126	2,057	1,991	0,185	0,326	0,922	1,375	0,099	2,279	0,918	3,236	2,159	1,957	1,063	0,305	4,908	0,658
Dy	2,082	0,203	0,913	0,099	1,025	1,366	0,098	0,433	0,560	1,454	0,124	1,818	0,865	3,042	1,634	1,518	0,821	0,353	2,861	0,472
Ho	0,348	0,036	0,111	0,019	0,149	0,226	0,017	0,046	0,063	0,270	0,028	0,391	0,175	0,593	0,337	0,293	0,134	0,063	0,444	0,094
Er	0,780	0,095	0,250	0,051	0,283	0,574	0,039	0,228	0,117	0,740	0,075	0,936	0,482	1,596	0,784	0,708	0,364	0,185	0,972	0,235
Yb	0,446	0,065	0,210	0,072	0,164	0,465	0,065	0,243	0,102	0,533	0,064	0,621	0,420	1,327	0,598	0,497	0,313	0,161	0,543	0,183
Lu	0,059	0,028	0,047	0,036	0,025	0,067	0,032	0,036	0,020	0,143	0,017	0,090	0,058	0,147	0,091	0,110	0,064	0,034	0,085	0,023
La _n /Yb _n	38,87	28,96	152,83	17,40	117,75	26,48	21,79	4,37	58,24	10,63	17,61	23,44	6,74	9,94	24,29	20,25	28,85	5,45	34,08	18,64
Eu _n /Eu*	0,85	0,96	0,70	1,43	0,90	0,69	0,42	0,87	2,83	0,89	0,96	0,61	0,60	0,71	0,61	0,82	0,90	1,07	0,90	1,41

Prospecto GRAVATÁ											Prospecto COLÔNIA								
Metassedimentos						Gnaisses		Metavulcânicas			Metassedimentos			Gnaisses		Metavilcânicas			
	G-20	G-25	G-43	G-68	G-78	G-14	G-37	G-01	G-26	G-31	C-39	C-77	C-94	C-28	C-69	C-60	C-67	C-88	C-97
La	21,920	28,120	82,250	13,950	29,630	8,980	26,690	35,710	3,257	10,300	3,024	15,840	2,241	39,340	31,030	5,288	5,174	5,174	179,50
Ce	30,120	60,830	102,49	19,193	58,124	14,660	45,020	45,190	5,273	20,132	6,229	30,123	3,514	79,180	63,784	10,235	9,713	10,235	358,12
Nd	16,450	17,950	33,830	9,880	25,015	6,818	21,800	21,483	3,015	9,913	2,626	11,235	1,091	32,470	21,700	4,604	6,642	4,365	183,10
Sm	1,910	3,425	5,708	2,099	2,944	0,610	2,101	1,429	0,826	1,381	0,366	1,007	0,262	6,325	4,305	0,489	1,633	0,763	41,120
Eu	0,481	0,808	1,004	1,057	0,592	0,209	0,651	0,514	0,061	0,228	0,130	0,144	0,246	1,627	0,964	0,042	1,295	0,390	11,680
Gd	1,465	2,479	2,200	2,001	1,382	0,445	1,583	0,859	0,816	1,250	0,257	0,649	0,225	4,477	3,581	0,355	1,757	0,785	24,880
Dy	0,891	1,207	0,606	1,016	0,763	0,222	0,806	0,562	0,585	0,973	0,136	0,413	0,181	2,368	2,840	0,211	1,335	0,512	18,310
Ho	0,120	0,156	0,073	0,159	0,074	0,039	0,123	0,131	0,104	0,144	0,015	0,059	0,038	0,401	0,443	0,039	0,281	0,099	2,827
Er	0,283	0,358	0,193	0,301	0,184	0,079	0,258	0,373	0,221	0,269	0,037	0,147	0,087	0,903	1,115	0,095	0,831	0,256	6,203
Yb	0,256	0,211	0,113	0,224	0,141	0,061	0,127	0,359	0,183	0,146	0,040	0,165	0,108	0,515	0,794	0,093	0,856	0,356	3,889
Lu	0,041	0,029	0,022	0,029	0,025	0,018	0,018	0,055	0,023	0,022	0,008	0,026	0,045	0,071	0,601	0,043	0,128	0,090	1,662
La _n /Yb _n	57,78	89,95	491,61	42,03	141,85	99,49	141,89	67,15	12,02	47,63	51,08	64,82	14,01	51,56	26,38	38,4	4,08	9,81	31,15
Eu _n /Eu*	0,85	0,81	0,72	1,55	0,79	1,17	1,05	1,31	0,22	0,52	1,23	0,51	3,02	0,89	0,73	0,29	2,32	1,53	1,03

Tabela 6.1. Relação de amostras que foram submetidas a análises de química mineral (apresentadas no capítulo 6).

Prospecto	Grupo Litológico	Litotipo	Amostra	
Boa Vista	<i>Metassedimentos</i>	Muscovita/sericita-quartzo xisto	BV-01//	+
		Quartzito	BV-13	■
		Metacherte hidrotermal	BV-53	▼
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	BV-54	◆
		Metacherte	BV-74	▶
		Formação ferrífera (hematítica)	BV-F1-5	◊
	<i>Metavulcânicas</i>	Actinolita/tremolita xisto	BV-16	▲
	<i>Gnaisses</i>	Gnaisse monzogranítico	BV-20	■
		Gnaisse granodiorítico	BV-56	▣
	<i>Veios</i>	Veio de quartzo	BV-28	▼
		Veio de quartzo	BV-54A	□
		Veio de quartzo	BV-59	○
		Veio de quartzo	BV-82A	◆
Lenhoso	<i>Metassedimentos</i>	Muscovita/sericita-quartzo xisto	L-01//	●
		Quartzito	L-17	■
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	L-22	⊗
		Formação ferrífera (hematítica)	L-41	▼
		Formação ferrífera	L-52	×
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	L-F3I	⊗
	<i>Metavulcânicas</i>	Clorita Xisto	L-F1	■
		Clorita-antofilita-talco xisto	L-F3C	▲
		Talco xisto	L-F3G	☆
	<i>Gnaisses</i>	Gnaisse	L-24	▲
		Clorita-epidoto-quartzo-albita gnaisse	L-37	◆
		Gnaisse	L-68	⊗
	<i>Veios</i>	Veio de quartzo	L-18	◊
		Veio de quartzo	L-58	×

Tabela 6.1. Relação de amostras que foram submetidas a análises de química mineral (apresentadas no capítulo 6) - continuação.

Prospecto	Grupo Litológico	Litotipo	Amostra	
Gravatá	<i>Metassedimentos</i>	Muscovita/sericita-quartzo xisto	G-01//	
		Metacherte	G-09	
		Quartzito	G-20	
		Quartzito	G-40	
		Quartzito	G-43	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	G-75	
		Quartzo-granada anfibolito	G-77	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	G-78	
	<i>Metavulcânicas</i>	Magnetita-clorita fels	G-01	
		Anfibolito	G-13	
	<i>Gnaisses</i>	Gnaisse	G-03//	
		Flogopita gnaisse	G-14	
		Epidoto gnaisse	G-37	
	<i>Veios</i>	Veio de quartzo	G-2//	
		Veio de quartzo	G-15	
		Veio de quartzo	G-18	
		Veio de quartzo	G-66	
Colônia	<i>Metassedimentos</i>	Formação ferrífera (hematítica)	C-39	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	C-77	
		Muscovita/sericita-quartzo xisto	C-94	
		Quartzo-sericita xisto	C-97	
	<i>Metavulcânicas</i>	Antofilita xisto	C-60	
		Clorita xisto	C-88	
	<i>Gnaisses</i>	Gnaisse tonalítico	C-28	
		Flogopita gnaisse	C-69	
	<i>Veios</i>	Veio de quartzo	C-66	
		Veio de quartzo	C-95	

Obs: As amostras sem simbolos estão referenciadas no texto.

Tabela 6.1-1. Dados analíticos de química mineral de pirita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de pesc

	BV-1//		BV-53			L-37												L-F3C		
Fe	46,91	47,39	46,53	46,95	46,72	47,84	47,58	47,75	47,34	47,48	47,63	47,72	47,60	47,62	47,94	47,64	47,49	46,37	46,48	46,71
Co	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,00	0,00	0,03	0,01	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Ni	0,05	0,02	0,15	0,00	0,27	0,01	0,00	0,01	0,05	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
Au	0,09	0,02	0,00	0,07	0,03	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,12	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,06	0,00	0,04	0,02	0,06	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,07	0,03	0,03	0,00	0,04	0,00	0,03	0,01	0,01
Zn	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,11	0,00	0,01	0,00
S	51,82	51,08	52,38	53,02	52,79	53,42	53,48	53,62	53,20	53,38	53,61	53,28	52,87	53,08	53,17	53,49	53,76	53,28	53,52	53,05
Ag	0,08	0,00	0,02	0,00	0,04	0,07	0,04	0,00	0,06	0,03	0,06	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Te	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,10	98,51	99,15	100,08	99,92	101,46	101,27	101,57	100,92	100,94	101,50	101,15	100,63	100,88	101,13	101,32	101,42	99,72	100,03	99,78

	G-01//			G-20	G-43	C-28			C-94	
Fe	46,52	46,96	46,78	46,68	46,00	47,19	47,42	46,83	46,07	46,31
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,34	0,56	0,09	0,12
Ni	0,03	0,07	0,01	0,05	0,08	0,07	0,04	0,07	1,10	0,72
Au	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,07	0,04	0,83	0,55
S	53,11	52,98	53,04	53,17	51,74	52,54	52,37	52,35	52,17	52,09
Ag	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
Te	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06
Total	99,68	100,02	99,87	99,90	98,37	100,14	100,36	99,89	100,35	99,88

Tabela 6.1-2. Dados analíticos de química mineral de pirrotita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de pesc

BV-53							L-17			L-F1		G-09							
Fe	60,21	59,79	55,33	58,68	58,38	58,87	58,08	58,80	59,21	60,64	59,95	59,92	60,08	60,69	59,71	59,81	60,01	60,23	60,27
Co	0,00	0,00	0,21	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,34	0,39	3,09	1,39	1,22	0,47	0,01	0,01	0,02	0,42	0,38	0,12	0,21	0,19	0,21	0,38	0,39	0,48	0,30
Au	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,06	0,23	0,00	0,13	0,00	0,00	0,02	0,00
Cu	0,04	0,02	1,58	0,00	0,02	0,00	0,05	0,03	0,02	0,05	0,18	0,05	0,02	0,05	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Zn	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As	0,00	0,04	0,00	0,03	0,06	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,03
S	38,01	38,57	37,57	37,40	39,78	38,92	41,92	41,10	40,70	37,73	39,68	39,37	39,40	38,87	39,73	38,49	38,35	38,85	38,14
Ag	0,04	0,02	0,02	0,06	0,02	0,05	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00
Sb	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04
Te	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,11	0,04	0,00	0,00	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,72	98,86	97,81	97,70	99,50	98,44	100,07	99,99	99,97	98,99	100,31	99,52	100,02	99,89	99,92	98,74	98,82	99,71	98,79

	G-13	G-43	C-28					C-94			
Fe	59,83	59,19	60,04	59,59	58,51	59,92	59,84	59,08	60,88	59,05	60,33
Co	0,00	0,00	0,11	0,11	0,05	0,07	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00
Ni	0,44	0,24	0,14	0,19	0,28	0,16	0,08	0,17	0,20	1,46	0,31
Au	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,04	0,05	0,09
Cu	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03	0,00
Zn	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02
As	0,02	0,08	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
S	38,94	39,30	38,82	39,36	39,29	39,12	39,17	39,67	38,40	37,83	38,40
Ag	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,00	0,02	0,07	0,01
Sb	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Te	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06	0,02	0,03	0,08	0,03	0,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00
Total	99,41	98,90	99,19	99,29	98,20	99,43	99,66	99,06	99,70	98,54	99,16

[illegible]

Tabela 6.1-5. Dados analíticos de química mineral de esfalerita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso.

L-17			G-75			C-28		
Fe	5,08	5,42	5,25	5,92	6,09	5,51	5,29	6,21
Co	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,14	0,09	0,16
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Au	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00
Zn	58,79	57,90	59,53	58,32	58,43	56,55	58,56	58,56
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10
S	33,44	33,82	32,93	33,67	33,49	32,80	33,28	32,41
Ag	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,09
Sb	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Te	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00
Bi	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	97,35	97,20	97,73	97,99	98,03	95,17	97,32	97,55

Tabela 6.1-7. Dados analíticos de química mineral de pentlandita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso.

BV-53			G-09	G-40	G-75		C-60				C-88	C-94
Fe	32,11	33,60	30,14	33,97	30,98	31,35	35,36	31,52	32,92	20,43	29,21	28,29
Co	0,12	0,10	0,00	0,08	0,46	0,31	1,07	0,15	1,10	1,83	0,90	0,45
Ni	30,50	31,98	31,47	31,09	33,81	33,26	18,89	32,83	24,83	43,27	35,36	24,52
Au	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,01
Cu	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,04	0,10	0,06	0,19	0,14	0,00	0,02
Zn	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
As	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,04
S	36,10	32,81	36,93	32,63	33,72	34,14	42,50	33,67	39,48	32,91	33,15	42,33
Ag	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,02	0,04	0,06	0,00	0,00	0,01	0,08
Sb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03
Te	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Bi	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,85	98,53	98,59	97,83	99,16	99,15	98,00	98,34	98,55	98,72	98,71	95,80

Tabela 6.1-6. Dados analíticos de química mineral de galena obtidos por meio de microsonda eletrônica e microscópio eletrônico de varredura, expressos em % de peso.

* Análise em microsonda eletrônica somente na amostra C-28, sendo as demais obtidas em MEV.

L-1//			L-17			G-43		C-28		C-94	
Fe	1,27	0,86				0,11		0,32	0,39		
Co								0,00	0,01		
Ni								0,00	0,00		
Au								0,12	0,00		
Cu								0,07	0,01		
Zn								0,05	0,00		
Pb	85,49	86,11	86,38	86,50	86,75	85,69	85,62	84,77	85,52	86,47	86,29
S	13,24	13,03	13,62	13,50	13,25	14,20	14,38	12,88	12,81	13,53	13,71
Ag								0,02	0,14		
Sb								0,01	0,02		
Te								0,05	0,00		
Bi								0,00	0,00		
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,29	98,90	100,00	100,00

Tabela 6.1-8. Dados analíticos de química mineral de cobaltita (esquerda) e molibdenita (direita), obtidos por meio de microsonda eletrônica e microscópio eletrônico de varredura, respectivamente, expressos em % de peso.

C-28		L-22			
Fe	5,41	Mo	63,37	61,55	62,30
Co	29,92	Fe	0,74		0,90
Ni	0,17	S	34,99	37,15	36,63
Au	0,00	Ca	0,46		
Cu	0,04	Na	0,44		
Zn	0,00	Si		0,95	0,17
As	36,35	O		0,35	
S	22,32	Total	100,00	100,00	100,00
Ag	0,01				
Sb	0,00				
Te	0,00				
Bi	0,00				
Total	94,22				

Tabela 6.2-1. Dados analíticos de química mineral de magnetita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido

BV-1//				BV-16		BV-20	BV-54														BV-56	
SiO ₂	0,03	0,00	0,01	3,32	2,65	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	
TiO ₂	11,46	12,48	12,13	0,00	0,83	0,22	6,82	6,48	6,98	7,90	6,85	7,89	7,39	7,69	7,02	9,43	8,23	8,98	7,31	1,28	16,18	
Al ₂ O ₃	0,07	0,03	0,04	0,27	1,17	0,06	0,30	0,20	0,62	0,49	0,23	0,29	0,25	0,29	0,22	0,20	0,15	0,25	0,22	0,02	0,03	
Cr ₂ O ₃	0,08	0,05	0,11	0,01	1,67	0,00	0,27	0,07	0,19	0,41	0,62	0,36	0,30	0,36	0,48	0,33	1,10	0,28	0,19	0,02	0,00	
Fe ₂ O ₃	44,79	44,21	45,19	61,05	58,61	67,68	54,24	55,11	53,98	53,89	55,27	53,42	53,91	53,10	54,77	49,98	50,22	52,50	54,33	63,44	39,62	
MgO	0,00	0,01	0,00	0,97	0,06	0,00	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	
CaO	0,06	0,00	0,00	0,11	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	
MnO	0,01	0,07	0,02	0,10	0,05	0,00	0,12	0,20	0,32	0,41	0,41	0,34	0,09	0,18	0,04	0,13	0,09	0,22	0,13	0,00	0,94	
FeO	42,81	41,48	40,88	33,58	33,32	29,98	36,39	35,97	36,14	35,84	35,39	35,93	36,84	37,04	35,84	38,23	38,49	36,24	35,85	33,87	42,80	
Total	99,31	98,33	98,38	99,41	98,47	98,12	98,16	98,06	98,28	98,96	98,81	98,28	98,79	98,72	98,40	98,33	98,30	98,51	98,06	98,66	99,66	

BV-74				L-22							L-37		L-F1	L-F3C		L-F3G				
SiO ₂	0,55	1,28	0,98	0,00	0,00	0,07	0,04	0,01	0,02	0,01	0,07	0,05	0,01	0,10	0,06	0,26	0,24	0,10	0,18	0,08
TiO ₂	0,03	0,01	0,00	11,38	1,71	12,31	10,43	17,26	10,43	11,57	15,49	14,57	0,02	0,00	0,05	0,10	0,04	0,02	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	0,03	0,28	0,24	0,02	0,00	0,08	0,06	0,04	0,06	0,09	0,00	0,00	0,01	0,06	0,13	0,27	0,07	0,04	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02	0,03	0,02	0,13	0,21	0,13	0,12	0,23	0,76	0,93	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,31	0,50	0,10	0,09	0,73
Fe ₂ O ₃	67,59	68,30	68,63	46,01	63,41	41,50	49,65	34,09	45,97	46,05	40,04	41,62	69,35	65,41	67,75	67,03	67,10	68,06	68,09	68,05
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
CaO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01
MnO	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01	0,01	0,05	0,00	0,14	0,09	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
FeO	30,99	28,25	28,66	41,25	32,70	43,92	38,53	46,51	40,69	39,69	43,86	43,19	31,22	32,46	30,63	30,79	30,54	30,74	30,75	30,89
Total	99,21	98,16	98,54	98,90	98,06	98,06	98,88	98,14	98,08	98,43	99,56	99,46	100,66	98,11	98,68	98,79	98,51	99,08	99,24	99,83

Tabela 6.2-1. Dados analíticos de química mineral de magnetita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxid (continuação)

L-F3I									G-01						G-14		G-20			
SiO ₂	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	4,01	3,31	0,00	0,02	0,05	0,12
TiO ₂	0,14	0,05	0,03	0,04	0,76	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,11	0,03	0,05	0,11	0,07	0,05	18,66	0,03	0,00
Al ₂ O ₃	0,32	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,14	0,47	0,15	0,13	0,11	0,11	0,88	0,55	0,03	0,01	0,02	0,04
Cr ₂ O ₃	0,00	0,05	0,05	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,23	0,09	0,03
Fe ₂ O ₃	65,90	69,10	68,17	66,77	66,98	68,44	67,73	68,89	68,12	67,83	68,48	68,24	68,97	68,21	63,30	64,61	67,99	33,47	68,56	68,07
MgO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,39	0,40	0,48	0,34	0,63	0,73	0,12	0,17	0,01	0,02	0,00	0,01
CaO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,51	0,34	0,01	0,02	0,02	0,00
MnO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,08	0,04	0,87	0,01	0,00
FeO	32,13	31,22	30,75	31,66	32,15	30,80	30,73	31,07	31,06	31,14	30,06	30,40	29,99	30,56	29,10	29,20	30,66	46,46	30,96	30,65
Total	98,52	100,47	99,08	98,56	99,96	99,34	98,65	100,08	99,76	99,89	99,22	99,28	99,82	99,72	98,05	98,33	98,82	99,76	99,74	98,92

G-75				G-78					C-60				C-77		C-94		
SiO ₂	0,03	0,05	0,02	0,02	0,08	0,05	0,07	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00	0,03	0,01
TiO ₂	8,89	8,66	9,91	15,62	9,80	13,67	14,53	13,33	0,21	0,13	0,27	0,25	6,49	7,32	0,07	0,38	0,72
Al ₂ O ₃	0,07	0,08	0,08	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,08	0,05	0,00	0,03	0,05	0,00	0,02	0,04	0,00
Cr ₂ O ₃	0,09	0,11	0,20	0,06	0,07	0,12	0,33	0,13	0,00	0,00	0,01	0,00	0,14	0,09	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	49,41	49,31	49,29	38,16	47,16	42,15	40,90	43,61	67,28	66,75	66,19	67,14	50,33	51,27	66,21	64,08	64,44
MgO	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,49	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
CaO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,07
MnO	0,23	0,11	0,04	0,01	0,05	0,23	0,14	0,10	0,00	0,02	0,07	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00
FeO	39,53	39,76	39,18	45,26	41,81	43,49	43,98	41,94	31,86	32,79	33,57	32,41	43,72	42,09	31,82	33,92	33,09
Total	98,28	98,10	98,73	99,14	99,01	99,72	100,00	99,17	99,93	99,78	100,15	99,83	100,80	100,85	98,16	98,45	98,34

Tabela 6.2-2. Dados analíticos de química mineral de hematita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido

BV-F1-5				RL-41																	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00
Fe ₂ O ₃	98,56	101,91	101,48	99,74	99,16	99,89	100,09	99,39	99,39	99,77	99,02	99,46	99,35	99,63	99,49	99,01	99,82	98,78	99,56	99,29	99,15
As ₂ O ₃	0,00	0,05	0,10	0,00	0,01	0,13	0,00	0,07	0,06	0,02	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,06	0,11	0,02	0,02
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,03	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
CuO	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
Au ₂ O	0,10	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,08	0,00	0,14	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,09
Total	98,68	101,97	101,60	99,81	99,20	100,03	100,25	99,47	99,62	99,89	99,05	99,51	99,50	99,71	99,64	99,04	99,85	98,87	99,71	99,45	99,31

RL-41															
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	99,60	99,32	99,58	98,96	99,20	99,68	99,27	98,87	98,75	99,13	98,57	99,77	99,46	98,50	99,33
As ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,06	0,01	0,13	0,00	0,08	0,00	0,06	0,00	0,10
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,02
CuO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Au ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,15	0,04	0,06	0,00	0,14
Total	99,62	99,34	99,63	99,07	99,26	99,83	99,34	98,89	98,94	99,13	98,80	99,84	99,62	98,54	99,59

Tabela 6.2-3. Dados analíticos de química mineral de ilmenita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido

BV-01//						L-01//						L-52		L-F1									
SiO ₂	0,02	0,05	0,02	0,00	0,07	0,01	0,06	0,02	0,02	0,08	0,03	0,06	0,10	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO ₂	57,49	56,12	57,03	56,44	56,93	55,79	55,38	54,93	55,65	55,17	54,75	52,10	51,20	50,28	50,59	51,29	50,70	50,51	51,47	50,91	51,18	51,18	51,18
Al ₂ O ₃	0,09	0,18	0,11	0,25	0,05	0,39	0,42	0,24	0,33	0,29	0,47	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	0,01	0,03	0,03	0,08	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00	0,12	0,02	0,11	0,12	0,24	0,27	0,19	0,15	0,11	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	3,24	1,84	1,02	3,42	2,76	1,25	2,69	1,45	1,45	1,45
MgO	1,05	0,88	0,66	0,82	1,12	0,77	0,63	0,81	0,72	0,55	0,41	0,02	0,04	0,28	0,22	0,20	0,30	0,23	0,20	0,31	0,32	0,32	0,32
CaO	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
MnO	2,38	1,57	1,99	0,93	1,42	1,34	1,17	1,55	1,72	1,82	1,22	0,98	0,83	0,48	0,48	0,55	0,57	0,55	0,58	0,58	0,51	0,51	0,51
FeO	39,00	39,25	39,48	40,56	39,98	40,92	40,38	40,57	41,08	40,84	41,13	45,14	45,19	44,36	44,74	45,31	44,55	44,50	45,42	44,74	45,04	45,04	45,04
Total	100,05	98,08	99,35	99,08	99,63	99,22	98,04	98,14	99,52	98,87	98,03	98,42	98,43	98,92	98,16	98,57	99,70	98,69	99,11	99,46	98,72	98,72	98,72

L-F1							L-F3-G														
SiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,04	0,00	
TiO ₂	51,25	50,78	49,44	50,95	50,01	51,79	50,79	50,88	49,30	49,43	50,79	49,91	51,14	50,25	50,05	50,34	52,19	50,54	50,54	50,00	
Al ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	
Cr ₂ O ₃	0,19	0,24	0,26	0,27	0,19	0,33	0,19	0,19	0,25	0,31	0,16	0,10	0,27	0,21	0,34	0,27	0,16	0,27	0,29	0,21	
Fe ₂ O ₃	1,66	1,98	6,61	1,75	3,27	1,50	2,08	1,18	4,25	4,00	1,51	3,15	1,41	3,53	3,01	3,23	0,00	3,27	1,67	2,91	
MgO	0,25	0,33	2,42	0,16	0,23	0,24	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,09	0,09	0,03	0,04	
CaO	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01	
MnO	0,48	0,58	0,28	0,53	0,57	0,55	4,60	4,68	4,21	4,44	4,80	5,07	4,67	4,47	4,34	4,45	4,09	4,16	4,49	4,50	
FeO	45,25	44,61	40,00	45,13	44,08	45,74	40,95	41,03	40,10	40,02	40,81	39,68	41,26	40,63	40,64	40,81	41,63	41,21	40,98	40,42	
Total	99,10	98,53	99,04	98,81	98,37	100,17	98,73	98,03	98,18	98,33	98,19	98,02	98,86	99,19	98,49	99,19	98,18	99,60	98,11	98,09	

Tabela 6.2-3. Dados analíticos de química mineral de ilmenita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido (continuação)

G-01//					G-01			G-13			G-43	G-77						G-78		
SiO ₂	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,20	0,02	0,02	0,02	0,08	0,09		0,05	0,03	0,07
TiO ₂	56,49	56,77	56,33	56,19	48,28	49,28	49,66	54,74	53,57	55,48	54,40	53,39	52,05	53,05	52,04	52,96		55,17	55,80	55,33
Al ₂ O ₃	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02		0,02	0,01	0,00
Cr ₂ O ₃	0,04	0,02	0,03	0,02	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,05	0,00	0,02		0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	9,21	6,47	7,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00	0,00
MgO	0,88	0,61	0,81	0,72	0,84	1,39	2,07	0,10	0,10	0,11	0,05	0,12	0,01	0,06	0,05	0,04		0,47	0,72	0,88
CaO	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,15	0,05	0,06	0,09		0,00	0,00	0,00
MnO	1,79	1,47	1,59	1,55	1,71	1,82	1,54	3,20	3,10	3,18	0,15	0,54	5,01	0,36	0,60	0,45		1,33	1,42	1,37
FeO	39,48	39,89	39,90	40,53	39,30	40,03	39,43	41,51	42,60	41,87	44,73	45,15	41,60	45,77	45,40	45,39		41,02	40,82	40,46
Total	98,86	98,80	98,68	99,04	99,37	99,04	99,89	99,57	99,39	100,64	99,55	99,35	98,88	99,36	98,24	99,06		98,07	98,80	98,11

C-28				C-77	C-88					
SiO ₂	0,02	0,04	0,13	0,05	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
TiO ₂	53,50	53,18	57,10	55,57	51,24	51,92	51,71	51,92	51,45	53,75
Al ₂ O ₃	0,01	0,02	0,08	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,03	0,04	0,04	0,02	0,21	0,24	0,25	0,21	0,17	0,21
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,36	1,20	1,12	2,45	0,51
MgO	0,07	0,08	0,08	0,92	0,36	0,37	0,32	0,38	0,36	0,34
CaO	0,43	0,63	0,21	0,00	0,05	0,05	0,00	0,01	0,02	0,02
MnO	4,19	4,24	3,85	1,12	0,77	0,79	0,77	0,64	0,74	0,69
FeO	42,67	41,50	38,67	42,01	44,77	45,35	44,82	44,84	44,06	44,44
Total	100,92	99,73	100,16	99,70	98,30	99,11	99,09	99,13	99,27	99,97

Tabela 6.2-4. Dados analíticos de química mineral de cromita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido

BV-53						G-09						C-60				
SiO ₂	0,02	0,07	0,03	0,02	0,08	0,06	0,05	0,07	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,07	0,00	0,03
TiO ₂	0,11	0,42	0,37	0,16	0,21	0,13	0,07	0,11	0,11	0,11	0,06	0,21	0,20	0,28	0,15	0,25
Al ₂ O ₃	16,44	15,48	14,94	15,71	16,09	19,76	17,51	20,61	20,48	20,55	20,30	11,52	11,83	12,33	11,34	10,13
Cr ₂ O ₃	48,87	48,04	48,93	48,29	48,70	46,14	48,28	42,94	42,71	43,21	43,09	50,23	49,40	49,68	50,34	52,82
Fe ₂ O ₃	2,32	1,95	2,07	1,73	2,11	0,00	0,26	0,98	1,19	1,09	1,35	4,18	4,79	4,16	4,18	3,89
MgO	0,36	0,52	0,68	0,63	0,49	0,66	0,47	1,59	1,57	1,61	1,48	2,16	2,14	2,65	2,17	2,22
CaO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00	0,01
MnO	1,09	0,86	1,16	1,45	0,99	1,40	1,46	1,41	1,49	1,56	1,46	0,49	0,47	0,47	0,52	0,53
FeO	29,35	30,70	29,97	30,45	29,72	31,83	31,67	31,21	31,05	31,15	31,26	29,77	29,91	29,35	29,54	29,80
Total	98,56	98,05	98,15	98,44	98,39	99,98	99,77	98,92	98,65	99,31	99,07	98,59	98,77	99,04	98,24	99,68

Tabela 6.2-5. Dados analíticos de química mineral de cuprita/tenorita obtidos por meio de microscópio eletrônico de varredura, expressos em % de peso.

[illegible]

BV-53			L-18
O	12,14	20,12	22,22
Ni	46,60	50,36	76,94
Y	39,51	29,52	
Fe	1,75		0,84
Total	100,00	100,00	100,00

Tabela 6.3-1. Dados analíticos de química mineral de goethita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido

BV-13										BV-53												
Cr ₂ O ₃	0,64	0,89	0,12	0,25	0,65	0,59	0,36	0,80	0,70	0,17	0,60	0,91	1,07	0,66	1,05	0,98	0,37	0,24	0,06	0,06	1,72	0,56
Fe ₂ O ₃	82,81	80,79	81,83	81,56	81,02	80,72	81,66	76,61	81,69	80,91	75,82	75,87	75,87	78,07	77,08	77,40	78,69	77,25	77,72	77,74	77,59	80,81
As ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,05	0,05	0,04	0,14	0,00	0,00	0,06	0,06	0,12	0,02	0,09	0,00	0,10	0,05	0,10
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,01	0,04	0,04	0,00	0,07	0,03	0,03	0,03	0,02	0,09	0,17	0,20	0,15	0,14	0,17	0,04	0,16	0,06	0,03	0,06	0,06	0,10
CuO	0,00	0,00	0,03	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,07	0,07	0,02	0,10	0,16	0,06	0,16	0,15	0,15	0,10	0,19
Au ₂ O	0,14	0,14	0,00	0,16	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04
Total	83,60	81,86	82,02	82,04	81,78	81,35	82,14	77,49	82,48	81,26	76,73	77,08	77,17	78,95	78,46	78,73	79,30	77,80	77,97	78,11	79,52	81,80

BV-53			BV-82	L-17																	
Cr ₂ O ₃	1,63	1,25	0,25	0,11	0,03	0,15	0,06	0,07	0,02	0,02	0,11	0,11	0,04	0,22	0,07	0,33	0,28	0,16	0,61	0,52	0,13
Fe ₂ O ₃	78,28	82,63	87,00	81,66	74,52	70,77	69,51	80,09	71,20	72,38	81,70	84,87	70,49	70,70	69,93	79,81	72,71	81,92	82,95	84,66	69,45
As ₂ O ₃	0,11	0,00	0,00	0,27	0,23	0,24	0,20	0,10	0,23	0,36	0,07	0,13	0,18	0,28	0,19	0,32	0,12	0,29	0,18	0,21	0,15
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,09	0,38	0,02	0,00	0,01	0,05	0,05	0,14	0,03	0,03	0,12	0,05	0,03	0,06	0,06	0,02	0,03	0,00	0,00	0,04	0,03
CuO	0,06	0,04	0,03	0,16	0,34	0,76	0,38	0,15	0,59	0,63	0,15	0,09	0,48	0,52	0,43	0,36	0,74	0,15	0,00	0,03	0,57
Au ₂ O	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Total	80,17	84,32	87,30	82,20	75,13	71,97	70,20	80,55	72,23	73,42	82,22	85,25	71,22	71,78	70,68	80,84	73,88	82,60	83,74	85,46	70,33

L-37					L-41	L-F1				G-09						G-13				
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	3,31	4,15	1,02	1,74	0,07	0,29	0,03	0,25	0,79	1,24	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	89,19	90,93	90,81	89,42	79,55	74,18	73,18	76,25	74,72	84,09	89,21	86,27	82,44	81,30	80,49	83,45	80,28	81,46	84,22	83,14
As ₂ O ₃	0,11	0,00	0,01	0,13	0,00	0,07	0,02	0,06	0,20	0,04	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,04	0,00	0,00	0,11	0,05
CoO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	1,79	0,63	0,41
NiO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,16	0,99	0,80	0,55	0,63	0,00	0,57	0,29	0,27	0,00	0,00	0,04	0,20	0,00
CuO	0,06	0,01	0,00	0,03	0,01	0,12	0,07	0,10	0,12	0,13	0,07	0,01	0,04	0,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Au ₂ O	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,12	0,00	0,00	0,00	0,25
Total	89,50	90,95	90,82	89,60	79,58	77,73	77,58	78,68	77,60	84,88	90,20	86,31	83,32	82,54	82,37	83,61	82,77	83,31	85,18	83,85

Tabela 6.3-1. Dados analíticos de química mineral de goethita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido (continuação).

G-14						G-40		G-43			CEI(MUDAR ESSE CÓDIGO)								
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,25	0,26	0,52	0,18	0,66	0,15	0,19	0,22	0,24	0,29	0,30	0,20	0,19	0,09
Fe ₂ O ₃	86,66	84,97	94,59	84,60	86,42	81,14	73,15	85,73	92,96	71,49	92,85	91,25	91,13	90,79	91,54	91,98	83,71	84,63	83,77
As ₂ O ₃	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,02
CoO	0,19	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,07	0,24	0,41	0,11	0,00	0,06	0,11	0,01	0,04	0,11	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,00	0,03	0,00	0,01
CuO	0,14	0,22	0,06	0,18	0,62	1,04	2,33	0,08	0,10	0,15	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Au ₂ O	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,11	0,01	0,01	0,10	0,20	0,00	0,03	0,07
Total	87,12	85,48	95,09	84,94	87,12	82,49	75,85	86,41	93,28	72,41	93,04	91,56	91,46	91,05	91,98	92,64	83,99	84,85	83,96

C-69						C-77	C-94		
Cr ₂ O ₃	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,22	0,10	0,07	0,19
Fe ₂ O ₃	85,39	84,85	88,39	84,76	85,75	76,86	79,68	76,72	79,01
As ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02	0,33	0,19	0,21
CoO	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,06	0,13	0,04	0,05	0,01	0,03	1,44	0,10	0,18
CuO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,10	0,13	0,03
Au ₂ O	0,05	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Total	85,52	85,01	88,52	85,10	85,77	77,13	81,65	77,22	79,62

Tabela 6.4-1. Dados analíticos de química mineral de carbonatos obtidos por meio de microscopia eletrônica de varredura, expressos em % de peso.

[illegible]

Tabela 6.5-1. Dados analíticos de química mineral de fosfatos obtidos por meio de microscopia eletrônica de varredura, expressos em % de peso

[illegible]

Tabela 6.6-1. Dados analíticos de química mineral de sulfatos obtidos por meio de microscopia eletrônica de varredura, expressos em % de peso

[illegible]

Tabela 6.8-1. Dados analíticos de química mineral de ouro/aurocuprita obtidos por meio de microscopia eletrônica de varredura, expressos em % de peso.

[illegible][illegible]

Tabela 6.9-1. Dados analíticos de química mineral de micas brancas obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido:

BV-01// -								BV-54A					BV-59			BV-82A			L-01//				
*	*	*	*	*	**	**		****	****	****	****	****	***	***	***	*****	*****	*****	*	*	*	**	**
SiO ₂	46,91	46,80	44,91	45,35	45,81	44,38	46,14	46,10	46,71	46,29	46,54	46,49	47,93	47,10	47,34	46,88	48,48	48,20	46,24	45,34	46,05	45,53	44,97
TiO ₂	0,51	0,67	0,52	0,49	0,59	0,64	0,59	0,69	0,95	0,89	0,78	0,65	0,53	0,58	0,60	0,84	0,76	0,64	0,69	0,55	0,81	0,71	0,80
Al ₂ O ₃	33,28	32,88	33,82	33,53	33,39	33,31	33,32	32,99	33,22	32,65	33,02	33,56	33,35	33,81	33,17	32,28	33,11	33,49	32,36	31,76	32,37	31,96	32,07
Cr ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,04	0,01	0,05	0,05	0,00	0,01	0,00	0,77	0,48	0,37	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05
MgO	1,14	1,12	1,07	1,10	1,22	1,06	1,09	1,26	1,16	1,42	1,23	0,91	1,06	1,09	1,30	2,00	1,99	1,80	1,24	1,22	1,18	1,24	1,18
CaO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00
MnO	0,09	0,00	0,03	0,07	0,00	0,10	0,06	0,10	0,03	0,06	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00
FeO	3,12	3,44	3,42	3,17	3,14	3,22	3,30	3,42	3,76	3,74	3,55	2,79	2,35	2,22	2,29	1,05	1,09	0,98	3,60	3,89	3,87	3,93	3,88
BaO	0,08	0,04	0,10	0,31	0,21	0,50	0,13	0,15	0,58	0,29	0,40	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,08	0,11	0,48	0,46	0,04	0,06	0,21
Na ₂ O	0,32	0,31	0,33	0,36	0,45	0,34	0,36	0,42	0,42	0,42	0,44	0,45	0,30	0,11	0,35	0,41	0,30	0,50	0,40	0,43	0,33	0,34	0,34
K ₂ O	10,26	11,01	10,67	10,76	10,71	10,32	10,95	10,99	10,34	10,81	11,10	11,04	11,29	11,24	11,29	11,11	10,96	10,87	10,64	10,85	10,72	10,80	10,64
H ₂ O	4,49	4,49	4,42	4,43	4,45	4,36	4,47	4,47	4,52	4,48	4,50	4,49	4,54	4,52	4,51	4,48	4,59	4,58	4,44	4,37	4,44	4,39	4,36
Total	100,20	100,82	99,29	99,59	99,99	98,28	100,39	100,62	101,76	101,10	101,64	100,47	101,56	100,74	100,86	99,86	101,88	101,55	100,11	98,91	99,87	99,04	98,51

L-01//	L-18				L-24			L-58 -				L-F3I								G-01//			
**	***	***	***		***	***	***	***	***	***	***	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SiO ₂	46,20	48,03	47,11	49,30	46,84	47,70	44,37	47,10	45,96	46,85	46,42	46,31	45,87	46,49	46,14	46,42	46,08	45,14	45,74	46,85	46,03	46,59	45,91
TiO ₂	0,84	0,85	0,09	0,00	0,01	0,20	0,28	0,54	0,31	0,25	0,40	0,53	0,55	0,45	0,66	0,50	0,61	0,46	0,55	0,41	0,73	0,40	0,49
Al ₂ O ₃	32,44	31,33	37,16	32,91	32,62	30,98	30,39	32,46	33,79	33,45	32,99	33,68	33,99	33,86	33,73	33,70	33,55	33,17	32,86	34,86	33,47	32,51	34,32
Cr ₂ O ₃	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01
MgO	1,13	1,89	0,00	1,50	1,58	1,94	3,77	1,14	1,19	1,05	1,43	0,79	0,84	0,85	0,86	0,88	0,83	0,85	0,89	0,69	0,88	1,15	0,90
CaO	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,06
MnO	0,02	0,04	0,05	0,01	0,03	0,02	0,11	0,09	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,06
FeO	3,92	2,75	1,28	1,46	3,59	3,53	6,76	3,15	3,66	2,95	3,32	3,22	3,48	3,35	3,47	3,23	3,28	3,46	3,72	2,44	3,48	3,14	2,84
BaO	0,25	0,00	0,00	0,19	0,11	0,08	0,33	0,23	0,38	0,04	0,11	0,21	0,21	0,38	0,44	0,27	0,23	0,13	0,65	0,21	0,42	0,06	0,13
Na ₂ O	0,48	0,29	0,07	0,08	0,13	0,08	0,16	0,69	0,81	0,65	0,72	0,56	0,67	0,64	0,81	0,69	0,76	0,58	0,64	0,30	0,33	0,47	0,41
K ₂ O	10,81	11,52	11,58	11,74	11,06	11,38	8,95	10,77	10,47	10,35	10,80	10,34	10,37	10,19	10,26	10,36	10,30	9,81	9,85	8,77	11,01	11,04	10,39
H ₂ O	4,46	4,51	4,62	4,58	4,47	4,46	4,37	4,48	4,49	4,48	4,48	4,47	4,47	4,49	4,49	4,49	4,47	4,38	4,42	4,50	4,47	4,45	4,47
Total	100,57	101,28	101,98	101,76	100,44	100,41	99,55	100,70	101,10	100,07	100,72	100,14	100,45	100,73	100,89	100,60	100,15	98,03	99,35	99,04	100,83	99,88	99,99

Análises desenvolvidas em cristais paralelos (*) e normais (**) à foliação milonítica, associados a matriz quartzosa/feldspática (***), inclusos em magnetitas (****) e dispostos em venulações (*****).

Tabela 6.9-1. Dados analíticos de química mineral de micas brancas obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido (continuação).

G-02//				G-03//			G-15			G-18			G-75							
***	***	***		***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	*	*	*	*	*	*	*
SiO ₂	47,61	45,75	46,21	47,00	45,58	47,46	46,94	46,80	47,21	46,05	46,24	46,40	46,95	46,28	46,17	46,19	46,11	45,89	46,03	46,07
TiO ₂	0,48	0,52	0,42	1,26	0,71	0,60	0,65	0,71	0,92	0,86	0,74	0,41	0,40	0,79	0,44	0,79	0,78	0,34	0,52	0,55
Al ₂ O ₃	32,18	32,29	32,60	29,55	29,72	30,21	30,45	30,53	29,50	30,99	30,26	30,30	33,00	33,38	34,33	33,81	33,31	35,47	33,33	32,93
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,01	0,04	0,00	0,05
MgO	1,55	1,13	1,31	1,36	1,39	1,55	1,82	1,63	1,86	1,41	1,63	1,92	1,25	0,95	0,69	0,92	1,00	0,55	1,02	0,98
CaO	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,04	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,04	0,02	0,05	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
FeO	3,67	3,12	3,04	5,62	5,86	4,60	4,66	4,40	4,70	3,66	4,19	4,61	3,52	3,25	2,94	3,24	3,23	2,63	3,65	3,83
BaO	0,57	0,44	0,36	0,23	0,00	0,13	0,00	0,25	0,06	1,07	0,75	0,80	0,19	0,25	0,35	0,31	0,35	0,27	0,23	0,60
Na ₂ O	0,37	0,43	0,29	0,21	0,24	0,15	0,21	0,24	0,19	0,16	0,24	0,26	0,36	0,44	0,49	0,45	0,46	0,32	0,37	0,32
K ₂ O	10,58	10,30	10,29	11,24	11,17	11,31	11,76	11,31	11,68	10,69	10,67	10,70	10,37	10,51	10,58	10,57	10,70	10,37	10,57	10,67
H ₂ O	4,51	4,39	4,42	4,43	4,34	4,44	4,45	4,42	4,42	4,38	4,37	4,39	4,49	4,48	4,49	4,49	4,47	4,50	4,46	4,45
Total	101,56	98,46	99,01	100,91	99,03	100,49	101,02	100,32	100,56	99,30	99,17	99,86	100,54	100,41	100,52	100,84	100,47	100,37	100,18	100,47

G-78								C-77								C-97							
*	**	**	**	**	**	**	****	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SiO ₂	45,76	45,86	46,21	45,91	45,63	46,30	46,09	46,24	46,09	47,68	47,26	46,94	47,30	47,60	47,04	47,17	46,95	46,61	46,97	47,01	47,54	47,37	47,62
TiO ₂	0,42	0,65	0,56	0,51	0,64	0,45	0,37	0,31	0,28	0,24	0,07	0,11	0,19	0,21	0,14	0,10	0,11	1,17	1,27	1,21	0,92	1,23	1,48
Al ₂ O ₃	34,12	33,95	33,64	33,92	33,79	33,50	34,18	33,85	34,62	35,52	35,55	35,06	35,12	35,35	35,94	35,55	34,82	32,53	33,39	33,26	33,29	33,21	32,78
Cr ₂ O ₃	0,07	0,03	0,01	0,05	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00	0,01	0,85	0,77	0,78	0,56	0,50	0,57
MgO	0,87	0,84	0,96	0,88	0,88	0,95	0,86	0,88	1,21	1,12	1,19	1,19	1,20	1,30	1,09	1,06	1,18	1,69	1,55	1,66	1,77	1,73	1,68
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,01	0,00	0,03
FeO	2,95	3,14	3,21	3,23	3,64	3,23	3,16	3,17	3,51	1,45	1,37	1,38	1,36	1,45	1,46	1,29	1,29	1,46	1,17	1,37	0,88	1,22	1,55
BaO	0,00	0,27	0,04	0,29	0,27	0,00	0,08	0,31	0,00	0,00	0,02	0,17	0,17	0,13	0,00	0,00	0,08	0,10	0,11	0,06	0,06	0,00	0,00
Na ₂ O	0,99	1,03	0,94	0,88	0,94	0,89	0,99	1,00	0,64	0,68	0,72	0,65	0,56	0,72	0,77	0,62	0,61	0,43	0,42	0,48	0,44	0,43	0,40
K ₂ O	10,16	10,06	10,15	10,09	10,28	10,34	10,17	10,01	10,20	10,35	10,59	10,57	10,59	10,59	10,65	10,48	10,58	10,75	10,93	10,94	10,96	11,16	10,96
H ₂ O	4,46	4,47	4,48	4,47	4,47	4,47	4,49	4,48	4,52	4,60	4,58	4,54	4,56	4,60	4,59	4,56	4,52	4,49	4,54	4,55	4,55	4,55	4,56
Total	99,80	100,31	100,19	100,23	100,54	100,18	100,42	100,30	101,10	101,65	101,38	100,63	101,17	101,98	101,70	100,84	100,16	100,10	101,14	101,42	100,98	101,39	101,63

Análises desenvolvidas em cristais paralelos (*) e normais (**) à foliação milonítica, associados a matriz quartzosa/feldspática (***), inclusos em magnetitas (****) e dispostos em venulações (*****).

Tabela 6.9-2. Dados analíticos de química mineral de clorita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxidos

L-24																					
SiO ₂	26,63	27,22	27,52	27,70	29,76	28,93	28,41	27,93	28,61	28,97	28,59	28,01	29,37	28,17	29,83	28,20	29,10	29,25	30,40	28,06	27,78
TiO ₂	0,07	0,00	0,09	0,00	0,07	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,08	0,16	0,04	0,03	0,07	0,00	0,11	0,00	0,05	0,03	0,06
Al ₂ O ₃	19,02	18,22	18,16	18,79	21,19	19,61	19,60	19,45	19,87	19,21	20,28	19,28	21,12	18,90	20,02	19,39	21,35	21,00	21,51	21,35	18,79
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01
MgO	14,62	15,69	15,79	15,26	13,16	14,70	14,66	15,11	14,84	14,84	14,89	15,42	13,90	15,06	13,77	15,29	13,83	13,80	13,26	14,53	15,28
CaO	0,01	0,02	0,06	0,03	0,05	0,07	0,09	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,06	0,00	0,03	0,02	0,04	0,02
MnO	0,44	0,49	0,39	0,44	0,36	0,37	0,36	0,49	0,45	0,45	0,48	0,43	0,40	0,40	0,35	0,48	0,39	0,40	0,34	0,38	0,49
FeO	26,03	25,22	24,79	24,71	21,85	22,80	23,32	23,42	22,98	23,39	22,88	23,88	21,44	24,12	21,98	23,62	21,93	21,91	20,80	22,76	25,18
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,12	0,02	0,00	0,06	0,22	0,00	0,02	0,16	0,00	0,04	0,36	0,00	0,02	0,16
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,04	0,08	0,05	0,12	0,11	0,20	0,16	0,15	0,21	0,11	0,07	0,07	0,09	0,08	0,25	0,09	0,09	0,05	0,35	0,07	0,03
H ₂ O	11,22	11,27	11,31	11,35	11,60	11,48	11,43	11,39	11,51	11,49	11,57	11,46	11,59	11,38	11,53	11,46	11,61	11,58	11,72	11,57	11,41
Total	98,06	98,21	98,19	98,41	98,15	98,19	98,08	98,13	98,60	98,52	99,00	98,96	98,06	98,17	98,01	98,59	98,46	98,42	98,48	98,83	99,22

L-37								G-03//		G-37						C-28					
SiO ₂	27,56	26,83	26,47	26,94	27,18	27,00	27,46	26,58	28,43	29,51	30,42	28,52	28,63	28,27	29,74	26,60	27,87	27,28	27,54	27,24	26,39
TiO ₂	0,00	0,00	0,14	0,08	0,01	0,03	0,05	0,10	0,23	0,22	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,15
Al ₂ O ₃	19,42	18,47	19,06	18,68	19,70	19,70	20,02	19,28	20,16	21,14	19,61	18,96	19,41	20,18	21,05	18,73	18,32	18,74	18,42	19,35	19,06
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05
MgO	16,76	15,98	16,70	14,77	16,68	16,81	16,55	16,10	9,96	9,73	14,11	14,65	13,90	14,03	12,79	14,57	14,76	14,59	14,79	15,32	14,66
CaO	0,05	0,11	0,01	0,03	0,04	0,04	0,02	0,08	0,05	0,08	0,30	0,16	0,15	0,07	0,21	0,03	0,01	0,09	0,05	0,05	0,03
MnO	0,28	0,23	0,29	0,33	0,27	0,30	0,28	0,38	0,32	0,20	0,28	0,31	0,26	0,22	0,19	0,36	0,37	0,37	0,32	0,33	0,29
FeO	24,33	25,51	24,14	27,02	22,81	23,24	23,70	24,17	28,04	26,26	22,35	23,95	23,15	23,72	22,90	26,66	26,57	25,70	26,13	26,57	26,16
BaO	0,00	0,06	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00	0,14	0,26	0,14	0,00	0,00	0,08	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,04	0,00	0,08	0,43	0,29	0,52	0,35	1,19	0,27	0,28	0,00	0,00	0,11	0,03	0,01	0,01
H ₂ O	11,57	11,30	11,33	11,31	11,43	11,45	11,58	11,32	11,29	11,45	11,67	11,40	11,39	11,44	11,60	11,20	11,38	11,26	11,30	11,49	11,21
Total	99,99	98,54	98,17	99,22	98,13	98,66	99,66	98,25	99,16	99,01	99,32	98,29	98,22	98,37	98,75	98,16	99,36	98,16	98,57	100,46	98,11

Tabela 6.9-3. Dados analíticos de química mineral de biotita obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxidos

	L-68								G-03//				
SiO ₂	36,28	36,26	36,74	36,53	36,56	36,36	36,59	36,45	36,22	35,73	36,57	36,04	35,44
TiO ₂	2,66	2,86	2,20	2,38	2,75	2,31	3,12	2,52	3,07	2,78	3,08	3,29	3,58
Al ₂ O ₃	16,13	16,33	16,18	16,15	16,27	16,21	16,44	15,98	16,99	16,82	16,58	16,55	15,79
Cr ₂ O ₃	0,07	0,00	0,00	0,05	0,07	0,04	0,08	0,08	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04
MgO	8,40	8,44	8,46	8,38	8,48	8,44	8,35	8,43	7,43	7,38	7,44	7,27	7,64
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
MnO	0,40	0,43	0,36	0,33	0,36	0,32	0,35	0,38	0,21	0,15	0,17	0,23	0,15
FeO	22,11	22,00	22,20	21,94	20,74	21,53	22,42	21,17	22,82	23,53	23,32	23,62	22,93
BaO	0,06	0,04	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,12	0,04	0,00	0,34	0,10	0,34
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	9,93	10,04	9,87	9,97	9,68	10,19	9,99	9,97	9,88	10,02	9,96	10,02	9,95
H ₂ O	3,89	3,91	3,90	3,89	3,89	3,88	3,95	3,87	3,92	3,89	3,93	3,91	3,85
Total	99,92	100,31	100,03	99,71	98,88	99,29	101,28	98,97	100,63	100,35	101,42	101,04	99,70

Tabela 6.9-4. Dados analíticos de química mineral de turmalina obtidos por meio de microsonda eletrônica, expressos em % de peso de óxido:

	L-F3I			C-77		
SiO ₂	36,30	36,39	36,33	36,90	36,87	36,59
TiO ₂	0,25	0,42	0,38	0,20	0,23	0,26
Al ₂ O ₃	31,23	31,54	31,22	33,32	34,40	33,98
MgO	5,94	5,83	5,88	9,24	7,50	8,42
CaO	0,08	0,34	0,11	1,66	0,69	0,81
MnO	0,00	0,09	0,02	0,01	0,00	0,02
FeO	10,25	9,40	10,43	4,16	5,34	5,12
Na ₂ O	1,95	2,20	2,09	1,54	1,45	1,50
K ₂ O	0,01	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01
Total	86,01	86,25	86,48	87,07	86,49	86,71

* Teores de B₂O₃ não dosados.