Número: 297/2003

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
METALOGÊNESE

BIENVENIDO PALACIO ALVARADO

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ENCAIXANTES E DOS MINÉRIOS AURÍFEROS DA MINA DE MORRO VELHO (MINA VELHA) - DISTRITO DE NOVA LIMA - MG

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências, área de Metalogênese.

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Bienvenido Palacio Alvarado e aprovada pela Comissão Julgadora em 22/08/2003

ORIENTADOR

Orientador: Prof. Dr. Alfonso Schrank

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto -2003

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNICAMP

UNIDADE BC
Nº CHAMADA T/UNICAMP
P171c
V ____ EX ____
TOMBO BC/ 56112
PROC. 16-127/03
C ☐ D ☑
PREÇO R$11,00
DATA 10/10/03
Nº CPD ____

CM00190384-3
bib id 303181

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP

Palacio Alvarado, Bienvenido.

P171c Caracterização petrográfica e geoquímica das rochas encaixantes e dos minérios auríferos da Mina de Morro Velho (Mina Velha) – Distrito de Nova Lima – MG / Bienvenido Palacio Alvarado. – Campinas, SP : [s.n], 2003.

Orientador : Alfonso Schrank.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1.Petrologia – Mina de Morro Velho (MG). 2. Geoquímica. 3. Ouro – Minas e mineração. I. Schrank, Alfonso. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
METALOGÊNESE

BIENVENIDO PALACIO ALVARADO

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ENCAIXANTES E DOS MINÉRIOS AURÍFEROS DA MINA DE MORRO VELHO (MINA VELHA) - DISTRITO DE NOVA LIMA - MG

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alfonso Schrank

Aprovada em: 22 / 08 / 2003

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Alfonso Schrank _____ **Presidente**

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho _____ **IG-UNICAMP**

Prof. Dr. Gergely J. A. Szabó _____ **USP**

Campinas, 22 de agosto de 2003

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma participaram no desenvolvimento desta pesquisa e em especial:

Ao professor Dr. Alfonso Schrank pela orientação, contribuições, confiança e paciência durante todo o período da pesquisa.

Aos professores: Dr. Roberto Perez Xavier, Dr. Carlos Roberto Souza Filho, Dr. Bernardino R. Figueiredo, Dr. Asit Choudhuri e Dra. Jacinta Enzweiler pelos conhecimentos transmitidos de forma incondicional e, principalmente, pela amizade demonstrada ao longo destes anos.

Á Mineração Morro Velho, através dos geólogos Frederico W. R. Vieira e Luis Henrique, pelo apoio e solicitude, materiais e contribuições aportadas para o melhor desempenho deste trabalho de pesquisa. Obrigado também pela amizade ofertada por todos os trabalhadores da mina.

Aos órgãos financiadores desta pesquisa: CAPES e FAPESP.

À nossa e única Valdirene. Também, à Edinalva, ao Sr. Aníbal e à Maria.

Ao Devison e ao Dailto pela ajuda e guia na elaboração das lâminas necessárias e no estudo aos microscópios óticos e eletrônicos. À Maria Aparecida e à Luci pela ajuda na preparação e análise dos dados geoquímicos. Todos com enorme disponibilidade e intenção de apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Especial agradecimento aos amigos (substitutos imparciais em alguns casos do afeto familiar): C. Tapia, Marcia e Rigo, Humberto, Dania e Ingrid Cristina, Alejandro, Isbelet e Diego, Sir Willians, Shirley, Amante e Tissoka, Alexander, Juliana, Catharina, Iriam e Juliano.

Aos meus pais Angela, Silvano, Hilda e Felipe.

A Lázaro, Pello e Rigo.

À Walquiria. À Lilavatti. Aos companheiros de trabalho.

Aos meus irmãos. A Juan José.

A Damian e Emmanuel.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação....1
1.2. Histórico....2
1.3. Objetivos....2

CAPÍTULO 2- GEOLOGIA REGIONAL

2.1. Contexto Geológico....5
2.2. Supergrupo Rio das Velhas....11
2.3. Geologia Local....19

CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO

3.1. Pesquisa bibliográfica....29
3.2. Amostragens de furos de sonda e de galerias da mina....29
3.3. Análise petrográfica....29
3.4. Análises químicas....29
3.5. Concentrados minerais....30

CAPÍTULO 4- PETROGRAFIA

4.1. Filitos....40
4.2. Caracterização geoquímica dos filitos....45
4.3. Meta-litoarenitos....59
4.4. Caracterização geoquímica dos meta-litoarenitos....65
4.5. Meta - Conglomerados (Brechas tectonizadas)....79
4.6. Caracterização geoquímica dos meta-conglomerados....89

CAPÍTULO 5- ESTUDO GEOQUÍMICO

5.1. Elementos maiores....101
5.2. Elementos calcófilos e de transição....107
5.3. Elementos de grande raio iônico – *Large Ion Lithofile elements*....117
5.4. HFSE – *High Field Strength Elements*
....121

5.5. Comportamento químico dos diferentes lito-tipos estudados através de diagramas relacionando SiO_2 com IMAT e $Fe_2O_{3(total)}$ 125
5.6. Diagrama Ternário da Natureza de Classificação de Arenitos (a) e de Determinação da Evolução de Alteração Química (b) 127
5.7. Diagramas Ternários de Classificação do Arcabouço tectônico 128

CAPÍTULO 6- ESTUDO PETROGRÁFICO E CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA LAPA SECA (META-CONGLOMERADOS) NA MINA DE MORRO VELHO

6.1. Composição mineral das zonas hidrotermalizadas 133
6.2. Minerais Opacos 137
6.3. Caracterização Geoquímica da Lapa Seca 147

CAPÍTULO 7- CONCLUSÕES 163

CAPÍTULO 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 173

8.1. Bibliografia 177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, compilado de Dorr (1969)..... 07

Figura 1.2. Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Modificada de Alkmin & Marshak (1998)..... 09

Figura 1.3. Mapa geológico do Nível 10 da Mina de Morro Velho. Modificado de Vieira (2000)

Figura A. Mapa de amostragem do nível 10 da Mina de Morro Velho. Mineração Morro Velho. Divisão de Desenho..... 33

Figura B. Mapa de amostragem do nível 14 da Mina de Morro Velho. Mineração Morro Velho. Divisão de Desenho..... 35

Figura C. Mapa de amostragem do nível 15 da Mina de Morro Velho. Mineração Morro Velho. Divisão de Desenho..... 37

Figura 4.1.1. (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias dos diferentes tipos de filitos estudados em Morro Velho..... 43

Figura 4.1.2. (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* alguns elementos maiores correspondendo às amostras de filitos..... 51

Figura 4.1.3. (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; $Fe_2O_{3\,(total)}$ *vs* Cr em filitos..... 53

Figura 4.1.4. (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr em filitos..... 55

Figura 4.1.5. (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO2, TiO2 e Fe2O3(T) + MgO versus Zr, Y e Nb..... 57

Figura 4.2.1 (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de meta-litoarenitos 63

Figura 4.2.2 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* alguns elementos das amostras de lito-arenitos 71

Figura 4.2.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; MgO *vs* Ni; Fe_2O_3 *vs* Cr em lito-arenitos 73

Figura 4.2.4 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr 75

Figura 4.2.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO2, TiO2 e Fe2O3 versus Zr, Y e Nb 77

Figura 4.3.1 (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de conglomerados na Mina de Morro Velho 83

Figura 4.3.1. Continuação da figura (g, h, i, j) 85

Figura 4.3.1 k. Montagem de microfotografias mostrando parte de um fragmento de rocha plutônica, afetado por deformações tectônicas e carbonatização. 87

Figura 4.3.2 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO2 vs alguns elementos maiores correspondentes às amostras de conglomerados 93

Figura 4.3.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 vs Cr, V, Zn, Ni, Cu; Cr vs Ni; MgO vs Ni; Fe_2O_3 vs Cr em meta-conglomerados. 95

Figura 4.3.4 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo SiO2 vs Ba, Rb e Sr em meta-conglomerados 97

Figura 4.3.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO2, TiO2 e Fe2O3(T) + MgO versus Zr, Y e Nb em meta-conglomerados. 99

Figura 5.1 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 versus alguns elementos maiores (adaptado de Blatt *et al.*, 1980) correspondendo aos diferentes lito-tipos estudados neste trabalho para a Mina de Morro Velho, Grupo Nova Lima. 107

Figura 5.2, (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker para SiO_2 vs Cr, V, Zn, Cu; MgO vs Ni; Fe_2O_3 vs Cr. 111

Figura 5.3 (a, b). Digramas de Harker envolvendo Cr + Ni *versus* Al_2O_3 + K_2O e Fe_2O_3 + MgO. 115

Figura 5.4, a, b, c, d, e, f. Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr. 119

Figura 5.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO_2, TiO_2 e $Fe_2O_{3\,(total)}$ + MgO *vs* Zr, Y e Nb. 123

Figura 5.6 (a, b, c, d) Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* Fe_2O_3, IMAT e Al_2O_3 *vs* K_2O, IMAT. 125

Figura 5.7. Diagrama ternário de natureza de classificação de rochas sedimentares de Blatt *et al.* (1980), no caso para os lito-tipos estudados em Morro Velho, Grupo Nova Lima e Diagrama Al_2O_3 – CaO + Na_2O – K_2O (mostrando o *trend* de alteração química) dos lito-tipos da Unidade Sedimentar do Grupo Nova Lima, Morro Velho. 129

Figura 5.8. Diagramas discriminantes La -Th - Sc e Th- Sc - Zr/10 para grauvacas. 131

Figura 6.2. (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de minerais opacos em Lapa Seca. 141

Figura 6.2 (Continuação; g, h, i, j, k, l). 143

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Figura 6.2 a. 873-2 (2,5x) Montagem de microfotografias mostrando micro-dobramento de 1 nível de pirrotita após a deposição mineral 145

Figura 6.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2, $Fe_2O_{3(total)}$ e MgO *vs* alguns elementos maiores correspondendo as amostras mineralisadas e alteradas hidrotermalmente. 151

Figura 6.4 (a, b, c, d, e, f, g. h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; MgO *vs* Ni; Fe_2O_3 *vs* Cr. 155

Figura 6.5 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr. 159

Figura 6.6 (a, b, c, d, e, f, g, h, I). Diagramas de Harker para SiO_2, TiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO *vs* Zr, Y e Nb. 161

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Coluna lito-estratigráfica para a região do Quadrilátero Ferrífero (compilada e modificada de Endo, 1997) 13

Tabela 2. Divisões estratigráficas propostas para o Grupo Nova Lima durante a década de 80. Modificado de Vieira e Oliveira (1988) 17

Tabela 3. Tipos litológicos originados da alteração hidrotermal de rochas meta- vulcânicas e as prováveis reações diagnósticas para cada uma das zonas de alteração. Dados compilados de Vieira (1991a) 25

Tabela 4.1. Análises químicas novas, em rocha total, de elementos maiores (% em peso) e traços (ppm). IMAT = Índice de Maturidade Sedimentar. (Jost *et al.,* 1996) 47

Tabela 4.1. Continuação da tabela 4.1 48

Tabela 4.1a. Composição mineral dos filitos da Mina de Morro Velho 49

Tabela 4.2. Análises químicas novas em rocha total, dos elementos maiores (% em peso). e traços (ppm) de lito-arenitos. IMAT = Índice de Maturidade Sedimentar. (Jost *et al.,* 1996). 68

Tabela 4.2 a Composição mineral dos lito-arenitos da Mina de Morro Velho. 69

Tabela 4.3 Análises químicas novas em rocha total, dos elementos maiores (% em peso) e traços (ppm) de meta-conglomerados.e IMAT. 91

Tabela 4.3. Composição mineral dos meta-conglomerados da Mina de Morro Velho. 92

Tabela 5.1. Variação da composição química dos elementos maiores (%) e traços (ppm) das meta-grauvacas dos tipos I e II do Grupo Nova Lima e Grupo Sabará (GS). 103

Tabela 5.2. Variação da composição química dos diferentes tipos litológicos estudados na Mina de Morro Velho para elementos maiores; elementos traços; IAQ e IMAT. 104

Tabela 5.3. Dados comparativos de variação da composição química de elementos maiores (%) e traços (ppm) segundo Guitarrari, 1999 e das amostras estudadas neste trabalho. 105

Tabela 6.1. Análises químicas novas de amostras das zonas alteradas e mineralizadas dos níveis 14 e 15 da Mina de Morro Velho, Mina Velha. 150

Tabela 6.2. Correlação de MgO com Cu, Cr e Ni para amostras participantes da tendência 2 da Fig. 5.4 – g. 157

Tabela 6.3. Resultados químicos mostrando as variações dos conteúdos de SiO_2 Fe_2O_3, P_2O_5, Zr, S e U, de amostras em zonas de alterações hidrotermais e mineralizações metálicas. 158

Tabela 7.1. Óxidos de elementos maiores e elementos traços, que podem servir em qualidade de elementos discriminatórios dos diferentes lito-tipos na Mina de Morro Velho. 170

Tabela 7.2. Rações de alguns elementos maiores e traços, que em qualidade de rações discriminantes permitem diferenciar os lito-tipos estudados na Mina de Morro Velho. 171

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
METALOGÊNESE

UNICAMP

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS ENCAIXANTES E DOS MINÉRIOS AURÍFEROS DA MINA DE MORRO VELHO (MINA VELHA) - DISTRITO DE NOVA LIMA - MG

Bienvenido Palacio Alvarado

A Mina de Morro Velho localiza-se na parte noroeste do Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, Brasil, e encontra-se encaixada em xistos verdes do Grupo Nova Lima, porção inferior do Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana. A Mina é dividida em dois blocos, Mina Velha (até 518 metros) e Mina Grande (518 a 2.453 metros). O primeiro bloco, Mina Velha, é o objeto desta pesquisa, que teve como meta principal a determinação das características petrográficas e geoquímicas das rochas encaixantes e dos minérios, visando estabelecer critérios e relações de temporaneidade entre estes elementos.

A principal unidade hospedeira de ouro, no Distrito de Nova Lima, é a Lapa Seca, termo utilizado pelos mineiros para designar uma rocha maciça ou finamente bandeada de cor bege a cinza, de textura muito fina e composta por ankerita, dolomita, quartzo e plagioclásio.

A sucessão litológica encontrada neste estudo consiste de um conjunto de rochas meta-sedimentares, representado por diferentes variedades de filitos, meta-litoarenitos e meta-conglomerados. Estes últimos, relacionam-se diretamente às mineralizações auríferas. Eles correspondem ao protólito da chamada Lapa Seca. No contexto da Mina Velha, esses meta- conglomerados são constituídos de fragmentos de rochas ígneas, intensamente deformadas, achatadas e estiradas. Eles também sofrem alterações hidrotermais e essas transformações dificultam o reconhecimento das características composicionais e texturais originais. Não obstante, a conservação parcial de algumas características, permitiu determinar uma origem principalmente plutônica para estes fragmentos e uma composição de intermediaria a ultramáfica. Fora da área de estudo, mas pertencendo à mesma seqüência estratigráfica das rochas da Mina de Morro Velho, encontrou-se meta-conglomerados, menos deformados e alterados, que são constituídos de fragmentos de origem vulcânica, cuja composição uniforme é andesito-basáltica.

A mineralização aurífera associa-se a corpos sulfetados, constituídos, principalmente, por pirrotita, pirita e arsenopirita, com calcopirita subordinada e ocorrendo em zonas de cisalhamento dúcteis, paralelas a sub-paralelas ao acamamento original. Os corpos sulfetados têm ganga predominantemente carbonática e os veios de quartzo são comuns nessas zonas.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
METALOGÊNESE

UNICAMP

Master of Science Dissertation

ABSTRACT

PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL CHARATERIZATION OF HOST ROCKS AND GOLD ORES FROM MORRO VELHO MINE (MINA VELHA) - NOVA LIMA DISTRICT - MG.

Bienvenido Palacio Alvarado

Morro Velho mine is located at Northwestern part of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State, Brazil. Mineralization is hosted in green-schists of Nova Lima Group, low portion of the Rio das Velhas Supergroup of Archean age. The mine is divided in two blocks according to their deep: the Mina Velha block (0 - 518 m) and the Mina Grande block (518 – 2453 m). This study focused on Mina Velha block and the main objectives were the characterization of hosted rocks and mineralization since petrology and geochemistry point of view, concerning on temporal criteria and relations between these elements.

The main unit hosted of gold in Nova Lima district is Lapa Seca, term used by the miners. This term represents a massive or fine-banded rock, beige to gray color, with fine texture and mineralogical composition of ankerite, dolomite, quartz and plagioclase.

Meta-sedimentary rocks, as several phyllites, meta-sandstone and meta-conglomerates compose the litho-stratigraphic column defined by this study. The meta-conglomerates are directly related to gold mineralization and corresponds to the "Lapa Seca" protholith. Highly deformed fragments of igneous rocks, frequently flatted and stretched, compose those meta-conglomerates in the mine context. These rocks also were hydrothermally altered and those transformations have hampered the characterization of original textures and compositions. In spite of these problems, the partial preservation of some characteristics allows suggesting for a plutonic origin and a composition intermediate to ultramáfica for the fragments. Outside the mine, some meta-conglomerates of the same stratigraphic sequence of Morro Velho rocks are less deformed and altered and the fragments are of volcanic origin and uniform andesite – basalt composition.

The gold mineralization is associated to sulphide bodies, with pyrrotite, pyrite and arsenopyrite as major minerals and chalcopyrite subordinated. The main zones of occurrence are ductile edge faults sub-concordant or concordant with the hosted rocks primary structures. The gangue of the sulphide bodies is mainly carbonatic and quartz veins are very commons in those zones.

Capítulo I. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação.

O Supergrupo Rio das Velhas é hospedeiro de importantes depósitos de ouro do Brasil e compreende duas unidades, o Grupo Nova Lima, mais antigo, e o Grupo Maquiné. A reconhecida natureza como *greenstone belt*, para este Supergrupo, foi atribuída, inicialmente, por Almeida (1976), Schorscher (1976) e Pires (1977).

No contexto do *greenstone belt* Rio das Velhas, é o Grupo Nova Lima onde se encontram as principais mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero (Q.F.).

Assim, o Distrito Aurífero de Nova Lima está localizado em Minas Gerais, numa seqüência de rochas arqueanas que formam parte do *greenstone belt* Rio das Velhas. O estudo da seqüência litológica, hospedeira das mineralizações auríferas no Distrito de Nova Lima (porção NW do Q.F.), foi objeto de investigação de vários autores (e.g., Graton & Bjorge, 1929; Gair, 1962; Guimarães, 1965; Torres, 1975; Ladeira, 1980), sendo que, a base de dados presentemente disponível, devido às variações das metodologias utilizadas, é muito heterogênea, dando margem a interpretações conflitantes.

A principal unidade hospedeira de ouro, no Distrito Nova Lima, é a Lapa Seca, termo utilizado pelos mineiros para designar uma rocha maciça ou finamente bandeada de cor bege a cinza, muito fina, composta por ankerita, dolomita, quartzo e plagioclásio. A rocha ocorre em camadas descontínuas, de escala milimétrica a métrica, alternada com rochas meta-vulcânicas em graus variados de alteração hidrotermal e, também, bordejando veios de quartzo (Vieira, 1991). A origem desta rocha tem sido motivo de controvérsias, sendo que, devido à importância que ela tem como reservatório das mineralizações metálicas cabe detalhar o estudo tanto das características petrográficas, como geoquímicas e estruturais.

1.2. **Histórico.**

Minas Gerais, e em particular a sua região central, mundialmente conhecida como Quadrilátero Ferrífero foi o maior produtor de ouro do Brasil. No período de 1700 a 1820 atingiram-se as cifras mais elevadas de produção, com a declinação posterior, resultante da exaustão dos depósitos aluvionares e eluvionares, que, até então não ofereciam grandes dificuldades de explotação e beneficiamento.

Para a explotação dos depósitos primários tornou-se necessário o concurso da engenharia da época. A entrada de grupos de mineração estrangeiros, com tecnologias adequadas, propiciou a possibilidade de desenvolvimento da explotação de tais depósitos, mas só depois de 1878 a mineração de ouro alcança um papel importante na economia brasileira.

A mina de Morro Velho, alvo deste estudo, é reconhecida e citada na literatura internacional em razão de seu gigantismo e por ter guardado durante muito tempo o recorde de profundidade de explotação (> 2,400 m), estimando-se uma produção de cerca de 500 t de Au entre os anos 1700 e hoje.

A mesma situa-se no distrito mineiro de Nova Lima, aproximadamente 10 Km a sudeste da cidade de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, sendo acessada através da rodovia MG-030.

Esta mina, assim como outros depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, foi objeto de vários estudos, na procura do esclarecimento das características estratigráficas, estruturação geral e processos responsáveis pela formação da mineralização aurífera.

1.3. **Objetivos.**

Os principais objetivos propostos para o presente trabalho foram, tendo como objeto de estudo o depósito aurífero da Mina de Morro Velho (Mina Velha), determinar as principais características litológicas e geoquímicas das rochas encaixantes (tais como natureza e origem), estudo do minério e das alterações hidrotermais, visando estabelecer critérios e relações de temporaneidade entre estes elementos.

Assim, foram abordados os aspectos relacionados, principalmente, com as características petrográficas, mineralógicas e geoquímicas dos diferentes lito-tipos coletados através das amostragens de furos de sondagens e de galerias, nos níveis 10, 14 e 15, e abrangendo, tanto as rochas encaixantes, como os corpos de minério.

Capítulo II. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. Contexto Geológico

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma área importante do Pré-cambriano Brasileiro, situada na parte central do estado de Minas Gerais e abrangendo aproximadamente 7.190Km^2. Essa unidade geotectônica representa uma porção do segmento meridional do Antepaís do São Francisco, envolvido por faixas móveis brasilianas (Endo 1997, Almeida & Hasui 1984, Almeida 1977).

A litoestratigrafía do QF é constituída pelo Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, separado por discordância angular e erosiva dos Supergrupos Minas, Espinhaço, e Grupo Itacolomi de idades proterozóicas. O QF é bordejado por um complexo gnaisse-migmatítico, considerado como intrusivo (Dorr 1969), e foi interpretado por Ladeira (1980, 1985) como embasamento do Supergrupo Rio das Velhas (Figura 1), correspondendo a uma porção da crosta estabilizada desde o Paleoproterozóico.

Os terrenos granito–gnáissicos estão distribuídos nos complexos Bonfim. Caeté e Bação (Herz, 1970), tendo geralmente contatos tectônicos com o *greenstone belt* Rio das Velhas.

As rochas do Supergrupo Rio das Velhas e dos terrenos granito - gnáissicos estão cobertas pelas rochas metassedimentares proterozóicas do Supergrupo Minas (Dorr 1969), cuja deposição se deu em dois períodos tectônicos distintos (Machado & Noce 1993; Renger *et al.*, 1994; Machado *et al.*, 1996). Noce (1995) e Babinski *et al.*, (1993) consideram que entre 2612 e 2420 Ma foram depositados os sedimentos clásticos e clasto - químicos dos Grupos Caraça e Itabira. No caso dos sedimentos superiores do Supergrupo Minas, representados pelos sedimentos do tipo *flysch* da Formação Sabará e os sedimentos molássicos do Grupo Itacolomi, sua deposição ocorreu no período de intensa atividade tectônica, compreendido entre 2125 Ma e 2030 Ma (Dorr, 1969; Machado *et al.*, 1996 - baseados em idades U/Pb de grãos detríticos destes sedimentos). Segundo os últimos autores a sedimentação é sin-tectônica e ocorreu em uma bacia do tipo *foreland*, durante a Orogênese Transamazônica, que foi também registrada nas rochas do greenstone belt Rio das

Velhas, com idades reativadas em 1808 Ma e depois a 590 Ma, durante a Orogênese Brasiliana (Schrank & Machado, 1996a).

Endo (1997) postula que a estruturação do QF e das áreas adjacentes resulta da superposição de três ciclos tectono-deformacionais: o Jequié, ocorrido entre 2.780 e 2.555 Ma, o ciclo Transamazônico, entre 2.250-1.900 Ma e o ciclo Brasiliano (650-470 Ma), desenvolvidos em regime transpressionais.

Diversas modelos têm sido propostos sobre a evolução estrutural do QF, destacando-se os trabalhos de Dorr (1969), Ladeira & Viveiros (1984) e Marshak & Alkmim (1989, Figura 1.2).

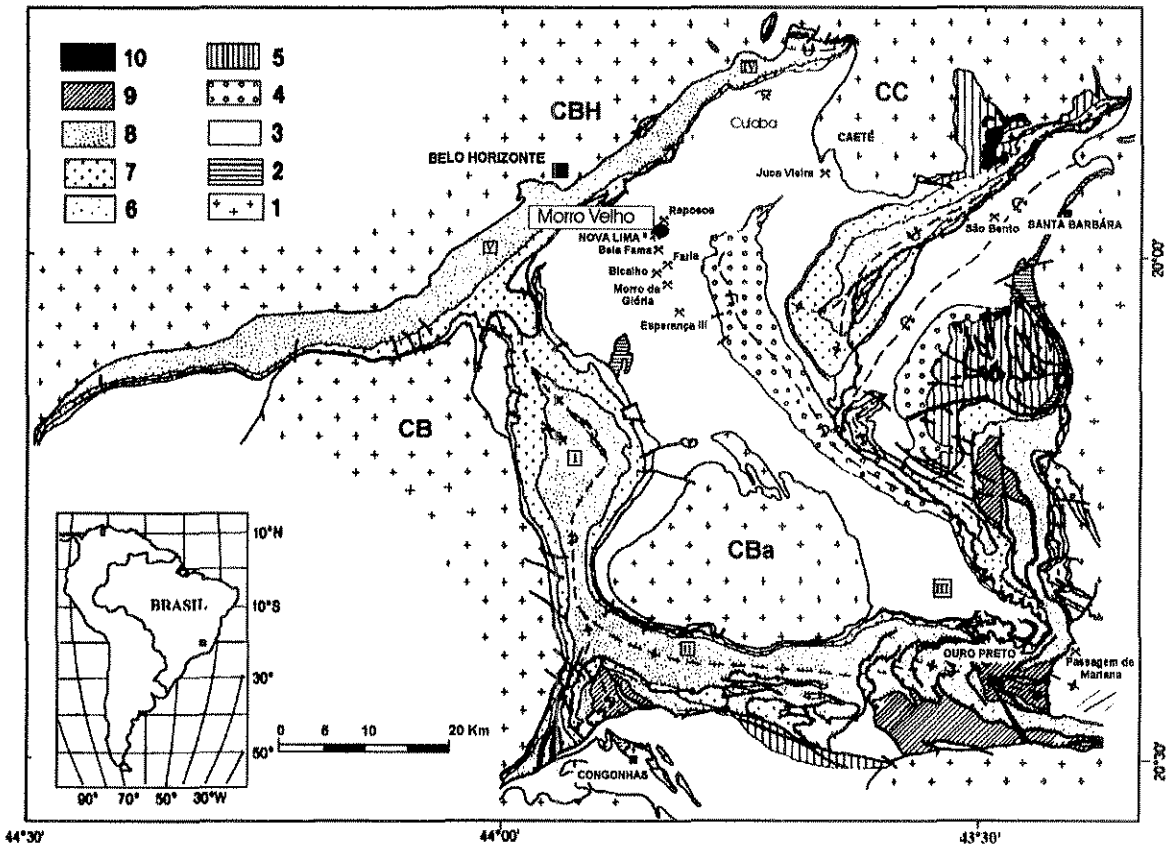


Figura 1.1. Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, compilado de Dorr (1969). 1. Complexos granito-gnáissicos; 2. Rochas máfica e ultramáficas; 3. Grupo Nova Lima; 4. Grupo Maquiné; 5. Grupo Tamanduá; 6. Grupo Caraça; 7. Grupo Itabira; 8. Grupo Piracicaba; 9. Grupo Itacolomi; 10. Intrusões máficas. CB. Complexo Bonfim; CBH. Complexo Belo Horizonte; CC. Complexo Caeté; CBa. Complexo Bação. I. Sinclinal da Moeda; II. Sinclinal de Dom Bosco; III. Anticlinal de Mariana; IV. Serra da Piedade; V. Serra do Curral.

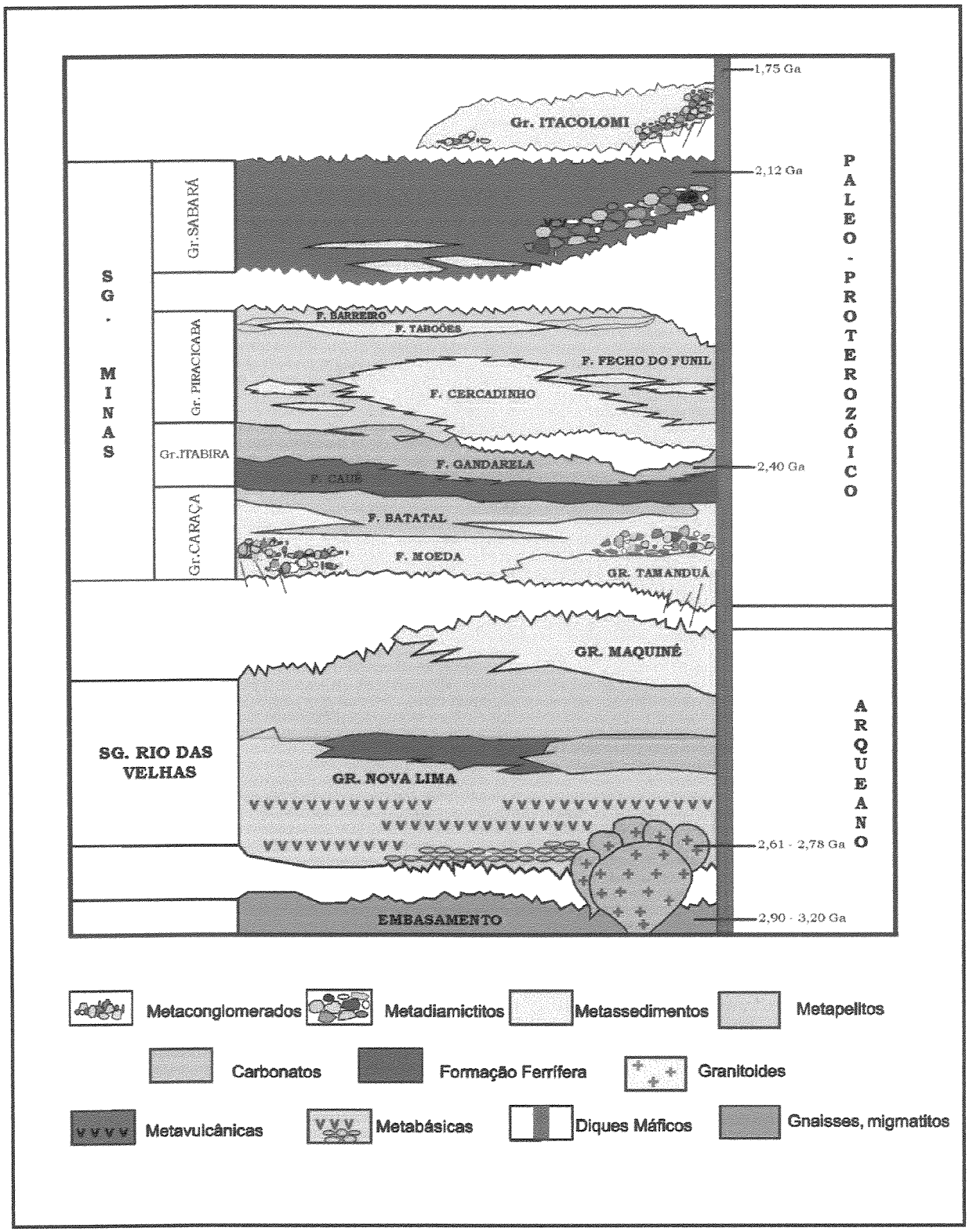


Figura 1.2. Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Adaptada de Alkmin & Marshak (1998)

2.2. Supergrupo Rio das Velhas.

Coube inicialmente a Almeida (1976), Schorscher (1976) e Pires (1977) atribuir uma natureza de tipo *greenstone belt* para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas.

O *greenstone belt* Rio das Velhas representa uma das principais unidades do Quadrilátero Ferrífero e se estende, aproximadamente, através de 4.000 Km^2 na porção centro-meridional do Estado de Minas Gerais. Encontra-se inserido na porção sul do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977) e consiste em uma seqüência de rochas vulcano – sedimentares, composta por metavulcânicas máficas e ultramáficas, metavulcânicas félsicas e rochas metassedimentares químicas e clásticas. O *greenstone belt* Rio das Velhas é interpretado por Ladeira (1998) como uma bacia de retro-arco desenvolvida em margem continental passiva e encontra-se envolto por terrenos granito - gnáissicos, compostos por gnaisses bandados de composição tonalítica a granodiorítica, exibindo feições de migmatização e características químicas típicas das suítes arqueanas.

Herz (1970) utilizando Rb/Sr em muscovita obteve idade de 2.890 Ma para a deformação e metamorfismo do Supergrupo Rio das Velhas. Cordani et al (1980) também utilizando Rb/Sr obtiveram 2.700 Ma. Datações posteriores, U-Pb, executadas em zircões da base das metavulcânicas félsicas do Supergrupo Rio das Velhas, indicam idades em torno de 2.776 Ma para sua deposição (Machado et al., 1992), enquanto a existência de crosta siálica mais antiga que 2.776 é indicada pela presença de zircões detríticos herdados de sedimentos do topo desta unidade, provenientes de áreas fontes, cujas idades obtidas a partir de grãos detríticos variam entre 3.500 e 2.857 Ma (Schrank & Machado, 1996a).

Estes terrenos granito-gnáissicos apresentam idades arqueanas, variando entre 3.38 Ga e 2.86 Ga (Machado *et al.*, 1992; Machado & Carneiro 1992; Machado & Schrank 1989; Noce 1995; Teixeira *et al.*, 1996) e foram as prováveis áreas fonte de material terrígeno para os metassedimentos do *greenstone belt* Rio das Velhas (Machado et al., 1996). Os contatos com o *greenstone belt* Rio das Velhas são geralmente tectônicos, marcados por falhas de cavalgamento ou normais.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	Esp.Max.(m)
PALEOPROTEROZÓICO		Itacolomi	Indiviso	ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos	>1000
				Discordância	
	Minas	Sabará	Indiviso	clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos	>3000
		Piracicaba	Barreiro	filitos e filitos grafitosos	150
			Taboões	ortoquartzitos	125
			Fecho do Funil	filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso	410
			Cercadinho	quartzitos ferruginosos, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos	600
		Itabira	Gandarela	dolomitos, filitos dolomíticos e calcários	600
			Cauê	itabiritos, itabiritos dolomíticoa e hematíticos	350
		Caraça	Batatal	filitos e filitos grafitosos	500
			Moeda	quartzitos sericíticos, conglomerados e filitos	1000
				Discordância erosiva e angular	
ARQUEANO	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	quartzitos, conglomerados, sericita-quartzo-xistos e filitos	>1800
		Nova Lima	Indiviso	filitos cloríticos, filitos grafitosos, metagrauvacas, formações ferríferas, quartzitos, *metacherts*, dolomitos, rochas máficas e ultramáficas	>4000
		Quebra Ossos	Indiviso	komatiitos, formações ferríferas e *metacherts*	>600
				Discordância erosiva e angular	
	Complexos Metamórficos	Indiviso	Indiviso	gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, *augen* gnaisses e granitos	

Tabela 1 – Coluna lito-estratigráfica para a região de Quadrilátero Ferrífero (compilada e adaptada de Endo, 1997).

O conjunto de rochas que compõe o *greenstone belt* Rio das Velhas foi dividido por Dorr (1969) em Grupo Nova Lima, basal e indiviso, constituído por metavulcanitos e sedimentos detríticos metamorfizados em fácies xisto verde. Este Grupo encontra-se sobreposto, em discordância erosiva local e possivelmente angular, pelo Grupo Maquiné, o qual foi dividido em Formação Palmital na base, com filitos, quartzo filitos e quartzititos e Formação Casa Forte, no topo, com quartzitos e conglomerados.

O Grupo Maquiné consiste, na base, de sedimentos marinhos de águas rasas (quartzo - mica xistos com intercalação de quartzito micáceo -Formação Palmital) e no topo por sedimentos continentais (sericita quartzitos,

metaconglomerados e metapelitos) representados pelos Membros Córrego do Engenho, Chica Dona, Jaguara e Capanema, pertencentes à Formação Casa Forte.

Para Pinto e Silva (1996), integrantes do Projeto Rio das Velhas, o Grupo Nova Lima é caracterizado na base por rochas magmáticas vulcânicas e plutônicas, de composição tholeítica a komatítica (Unidades Quebra Osso e Ouro Fino) e com metassedimentos químicos exalativos (Unidades Morro vermelho e Santa Quitéria), além de uma seqüência de rochas metavulcanoclásticas e/ou epiclásticas (Unidades Santa Quitéria, mestre Caetano e Ribeirão Vermelho). No topo estão depositados sedimentos marinhos derivados de áreas fontes diversas.

As rochas ultramáficas associadas ao Grupo Nova Lima foram descritas por Dorr (1996) como intrusivas, sendo posteriormente reinterpretadas como seqüências komatíticas ocupando as porções mais basais do Grupo Nova Lima (Schorscher,1979; Padilha 1984).

Algumas subdivisões estratigráficas informais foram propostas para o Grupo Nova Lima, durante a década de 80, por Ladeira (1980), Oliveira *et al.* (1983), Vieira & Oliveira (1988) e Oliveira (1986) (Tabela 2). Estas colunas foram fundamentadas em levantamentos estratigráficos locais, dentro das minas de ouro da região ou em porções restritas do *greenstone belt* Rio das Velhas, o que dificultou as correlações a nível regional.

Como resultado dos trabalhos de levantamento geológico do projeto Rio das Velhas, iniciados em 1992, a partir do convenio entre o DNPM e um conjunto de empresas mineradoras, foi proposta a sub-divisão da região em quatro domínios tectono - estratigráficos: Domínios Nova Lima, Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu, os quais são separados por zonas de cisalhamento de baixo ângulo e consistem de várias unidades, que juntas compõem uma típica seqüência vulcano - sedimentar.

Chemale Jr. *et al.* (1992), individualizaram dois grandes eventos deformacionais no Quadrilátero Ferrífero, após a sedimentação do Supergrupo Minas. O primeiro, de caráter extensional, ocorreu entre 2100 a 1700Ma (Transamazônico). O segundo, de natureza compressional, com idades

Brasilianas entre 650 e 470 Ma, gerou um cinturão de dobramentos com vergência para oeste.

Vieira (1991) sugere que a região Nova Lima apresenta indícios de ter sido afetada por pelo menos dois eventos deformacionais principais, os quais foram acompanhados de metamorfismo dínamo-termal de fácies xisto verde. O primeiro evento, correlacionado à Orogenia Rio das Velhas, foi responsável pela formação de zonas de cisalhamento dúcteis, que na região de Nova Lima se comportam como zonas de transcorrencia (direção E-W) e nas regiões a norte e a sul de Nova Lima como rampas de cavalgamento obliquas (direções NE/SW e NW/SE, respectivamente). O segundo evento, correlacionado à Orogenia Minas, seria caracterizado por rampas de cavalgamento com mergulho para leste e horizontalizadas em profundidade, apresentando dobras inclinadas e recumbentes, de eixo paralelo ao estiramento. Esta fase representaria uma evolução progressiva do primeiro evento, ambos com direções de transporte tectônico para oeste. Diques de metadiabásio intrudiram no final de segundo evento, produzindo metamorfismo de contato nas encaixantes.

AUTOR	SUBDIVISÃO	DESCRIÇÃO	Espessura (metros)
Dorr (1969	Indiviso	Filito clorítico, grauvaca, FFB carbonática, metavulcânica e subordinadamente quartzito, tilóides, conglomerados e dolomito.	400
Ladeira (1980)	U. Clástica	Grauvacas, xistos carbonáticos, quartzitos imaturos, quartzo xisto , conglomerados	400 – 800
	U.Metassedimentar Química.	FFB, xistos tufáceos, xistos grafitosos, sedimentos químico – carbonáticos, zona de conglomerados intraformacional carbonático e chertoso, filito.	500 40 a 150
	U. Metavulcânica	Xistos verdes, xistos tufáceos, meta-ultramafitas, (lavas e intrusivas)	3.000
Oliveira et al. (1983)	U. Superior	Metassedimentos pelíticos com intercalações de metavulcânicas e vulcanoclásticas dacito – riolíticas e metassedimentos químicos (Lapa Seca) Metavulcanitas ácidas, rochas vulcanoclásticas ácidas e filitos	1.100
	U. Media	Grafitosos. No topo, meta –andesitos com camada de FFB.	600
	U.Inferior	Meta- andesitos com lavas almofadase subordinadamente metabasaltos andesíticoscom intercalação de metassedimentos e metavulcanoclásticas ácidas. Camadas de FFB .	3.200
Vieira & Oliveira (1988)	U. Superior	Metapelitos com intercalações de metatufo félsico, quartzitos silticos e conglomerados. Metapelitos com níveis de metatufos félsicos e Lapa Seca	1.500 1000
	U. Media	Meta-andesitos basálticos com intercalações de FFB. Metatufos félsicos intercalados em metapelitos e filitos grafitosos.	500 1.000
	U. Inferior	Meta-andesitos basálticos com intercalações de FFB, komatitos , metapelito e metatufos félsicos. Filitos grafitosos com níveis.de metatufo félsico e FFB. Meta-andesitos basálticos com eventuais intercalações de filitos grafitosos, metapelitos, FFB e komatitos. Ultram	250 900
Oliveira (1986)	U. Metassedimentar psamítica	Sericita quartzitos com pirita.	
	U. Metassedimentar indivisa	Metapelitos com colorações variadas e com contribuição de material carbonoso. Podem ocorrer metavulcânicas intermediarias e ácidas, com níveis de FFB.	
	U. Metassedimentar ácida/intermediaria	Quartzo sericita xisto.	
	U. Metassedimentar pelítica.	Rocha sericítica com composição carbonosa com nível de FFB.	
	U. Metavulcânica	Anfibólios, anfibólio xistos, clorita xistos, meta-ultramáficas	

Tabela 2. Divisões estratigráficas propostas para o Grupo Nova Lima durante a década de 80. Modificado de Vieira e Oliveira (1988).

2.3. Geologia Local.

Os principais depósitos auríferos do Quadrilátero Ferrífero estão associados ao Grupo Nova Lima, na base do *greenstone belt* Rio das Velhas. Os mais importantes encontram-se no Distrito Aurífero de Nova Lima, a noroeste do Quadrilátero Ferrífero, destacando-se as minas de Morro Velho, Raposos, Faria, Morro da Gloria, Nordeste, Bicalho e Bela Fama. Fora deste domínio aparecem as Minas de Cuiabá e São Bento, situadas, respectivamente, nas porções norte e oeste do Quadrilátero Ferrífero.

A Mina de Morro Velho encontra-se encaixada em xistos verdes do Grupo Nova Lima, porção inferior do Supergrupo Rio das Velhas de idade arqueana. Segundo critérios mineiros divide-se em dois blocos denominados de Mina Velha e Mina Grande, ambos situados sobre os mesmos corpos de minério. O bloco superior, Mina Velha, atinge a profundidade de 518 metros. O inferior, Mina Grande, atinge 2453 metros abaixo da superfície. Ambos estão atualmente interligados.

A principal unidade hospedeira de ouro, no Distrito Nova Lima, é a Lapa Seca, que no caso da Mina Velha é por vezes concordante com o acamamento sedimentar, mas também é tangencial ao mesmo, parecendo formar um envelope de alteração hidrotermal em torno dos principais corpos de minério.

Lapa seca é um termo utilizado pelos mineiros para designar uma rocha maciça ou finamente bandeada de cor bege a cinza, muito fina, composta por ankerita, dolomita, quartzo e plagioclásio, com desenvolvimento local de porfiroblastos de carbonato. O plagioclásio apresenta-se intensamente recristalizado e, muitas vezes, está alterado para carbonato, evidenciando intensa milonitização e alteração hidrotermal. A rocha ocorre em camadas descontínuas, de escala milimétrica a métrica, alternada com rochas metavulcânicas em graus variados de alteração hidrotermal, e também bordejando veios de quartzo (Vieira, 1991). Ladeira (1980) descreve a presença de bandeamento composicional nesta rocha dado pela alternância de camadas centimétricas siltico – carbonáticas e níveis de filito grafitoso.

A origem desta rocha tem sido motivo de muita controvérsia. Graton & Bjorge (1929) caracterizaram-na como um dique de diabásio alterado hidrotermalmente. Ladeira (1980, 1988 e 1991), baseado na presença de bandeamento composicional e dados isotópicos, propõe uma origem sedimentar química. Vial (1980b) define três fácies distintas: Lapa Seca carbonática (Lsca), Lapa Seca quartzosa (LSqtz) e Lapa Seca micácea (Lsmi) e conclui que a Lapa Seca resulta de processos vulcano – sedimentares. Vial et al. (1987) reinterpreta a Lsca e Lsmi como produto da alteração hidrotermal de rochas vulcânicas intermediárias/máficas e félsicas, respectivamente, e a LSqtz como produto da silicificação e carbonatação da Lsmi e Lsca ou, ainda, da recristalização de veios quartzo – carbonáticos. Vieira (1991) considera que a Lsca e a Lsmi são o resultado da alteração hidrotermal de rochas máficas.

A mina é constituída por uma seqüência de metapelitos (X_1), com intercalações de metatufos riolíticos/riodacíticos e Lapa Seca (LS), posicionada na Unidade Superior (Vieira & Oliveira, 1990) (Figura 1.3). O horizonte de Lapa seca mineralizado encontra-se sobreposto a metatufos riodacíticos, sericitizados, carbonatizados e cloritizados (X_2). Os corpos sulfetados têm ganga predominantemente carbonática (Figura 1.3.).

O ouro associa-se a corpos sulfetados ou veios de quartzo hospedados nas rochas metassedimentares químicas ou nas rochas metavulcanicas alteradas hidrotermalmente ou, ainda, em Lapa Seca. A mineralização no depósito de Morro Velho e Bicalho está hospedada em Lapa Seca (Vieira, 1988).

Vieira (1988, 1991) individualiza dois tipos de minério. O minério do tipo 1 é constituído principalmente por pirrotita, com pirita e arsenopirita subordinadas, e ocorre associado a zonas de cisalhamento dúcteis, paralelas a sub-paralelas ao acamamento. Veios de quartzo são comuns nessas zonas. O minério do tipo 2 é composto por pirita e arsenopirita e ocorre substituindo as bandas de minerais de ferro na Formação Ferrífera Bandada (FFB). Essa substituição acontece de modo simétrico e assimétrico com relação às fraturas canalizadoras de fluídos.

Na Lapa Seca predomina o minério do Tipo 1, devido à estruturação maciça desta rocha. O Tipo 2, quando presente, é caracterizado por veios de quartzo circundados por sulfetos.

Vieira (1991) relaciona as zonas de alteração e a formação dos corpos de minério ao primeiro evento (Arqueano) associando-os a zonas de cisalhamento transcorrentes. A remobilização ocorrida no segundo evento (Proterozóico) propiciou a concentração do minério nas zonas de charneiras e a remoção dos fluidos para as zonas de cisalhamento do segundo evento.

As zonas de alteração hidrotermal estão associadas às zonas de cisalhamento dúcteis, paralelas ao acamamento, relativas ao primeiro evento de deformação. Elas estão dispostas em torno dos corpos mineralizados e veios de quartzo formando um zoneamento concêntrico, representado pelas zonas de sericitização (zona interna), carbonatação (zona intermediária) e cloritização (zona externa). As rochas mais atingidas por essa alteração são as máficas e ultramáficas devido a sua composição extremamente reativa.

Segundo Vieira (1991), as zonas de alteração hidrotermal diferem do metamorfismo regional por terem recebido maior aporte de K, CO_2 e H_2O. Fora das zonas de alteração, a paragênese observada é típica de baixo grau metamórfico e caracterizada por tremolita/actinolita, clinozoisita/epidoto e clorita, nas rochas máficas, e serpentina e clorita magnesiana nas rochas ultramáficas. À medida que se adentra nas zonas de alteração, essas rochas se tornam intensamente cisalhadas e sofrem mudanças químicas e mineralógicas consideráveis.(Tabela 3).

A formação ferrífera bandada ocorre normalmente associada a derrames basálticos e metassedimentos carbonosos e é interpretada como sedimento químico (Ladeira, 1980, 1988, 1991). Esta rocha apresenta bandeamento centimétrico a milimétrico, com alternância de bandas quartzosas e bandas ricas em minerais de ferro. Fora das zonas mineralizadas os minerais de ferro são magnetita, siderita, e ankerita, enquanto nas zonas mineralizadas são sulfetos de ferro. Vieira (1991) interpreta as formações ferríferas do Grupo Nova Lima

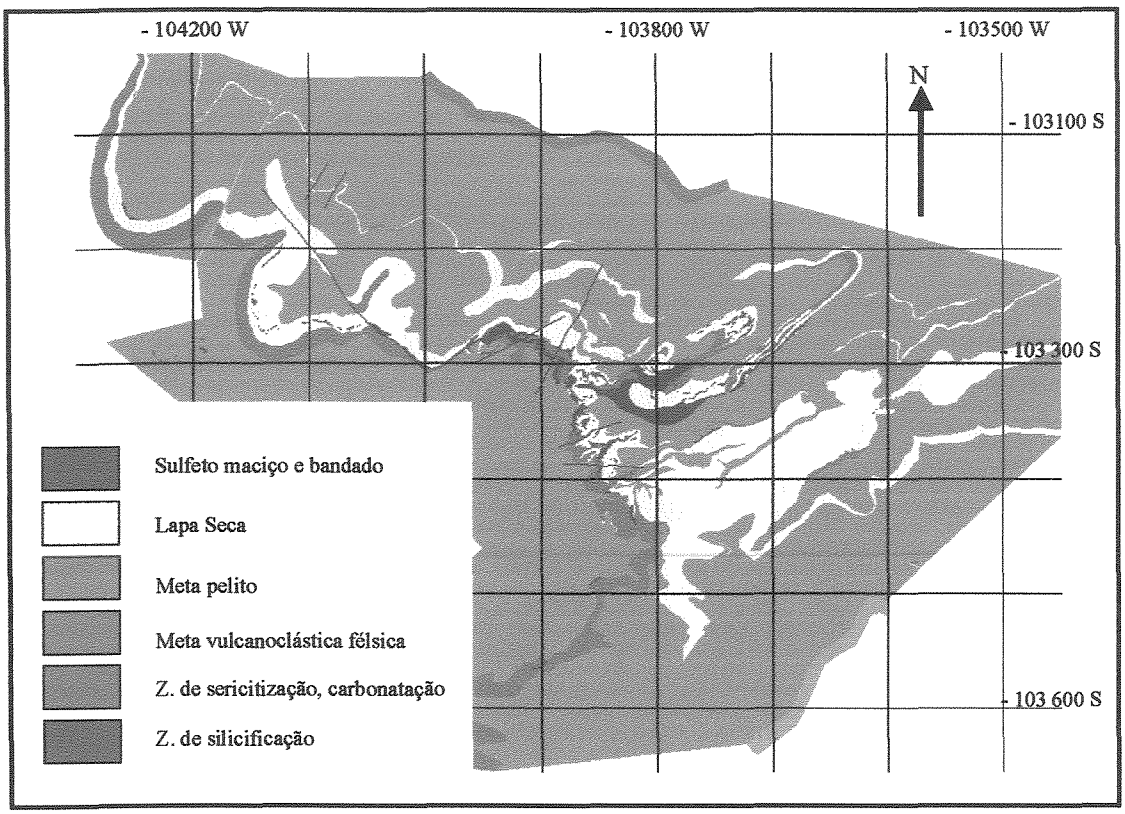


Figura 1.3. Mapa Geológico do Nível 10 da Mina de Morro Velho. Compilado de Vieira, 2000. (Este mapa, em escala apropriada para leitura, encontra-se em anexo).

como inicialmente da fácies oxido, sendo que as fácies carbonato e sulfetos, descritas por Ladeira (1980), seriam o resultado de processos epigenéticos de alteração.

Zonas de alteração hidrotermal	Rochas máficas e intermediárias	Rochas ultramáficas
Zona de cloritização	**Reação** clinozoisita/plagioclásio+tremolita/ actinolita+H_20+CO_2 = Clorita+ calcita+ quartzo+sericita+albita **Produto** Clorita-plagioclásio-quartzo-calcita filito	**Reação** Serpentina+tremolita+H_2O+CO_2 = Mg-clorita+talco+calcita+quartzo **Produto** Mg-clorita-talco-calcita-quartzo filito
Zonas de carbonatação	**Reação** Clorita+calcita+CO_2+K = Mg-clorita + ankerita+quartzo+sericita+H_2O **Produto** Ankerita/calcita-quartzo-Mg-clorita-sericita filito	**Reação** Talco+calcita+CO_2 = ankerita/calcita + quartzo + H_2O **Produto** Mg-clorita-ankerita/calcita-quartzo filito
Zona de sericitização	**Reação** Mg-clorita+ankerita/calcita+CO_2 +K = ankerita/calcita +sericita + quartzo+H_2O **Produto** Ankerita/calcita-sericita-quartzo filito	**Reação** Mg-clorita+ankerita/calcita+CO_2+K = fuchsita+ankerita/calcita+quartzo+H_2O **Produto** Ankerita/calcita-fuchsita-quartzo filito
Mobilidade dos elementos químicos	**Elementos introduzidos** K, S, CO_2, Au, As, B, Ba	**Elementos introduzidos** K, S, CO_2, Au, As, B, Ba, Ca, Mn, Sr, Sc **Elementos lixiviados** Mg, Cr, Ni, Co

Tabela 3. Tipos litológicos originados da alteração hidrotermal de rochas metavulcânicas e as prováveis reações diagnósticas para cada uma das zonas de alteração. Dados compilados de Vieira (1991a).

Diferentes modelos genéticos vem sendo propostos para as mineralizações auríferas do *greenstone belt* Rio das Velhas. Graton & Bjorge (1929) apresentam um modelo hidrotermal com fluídos derivados de corpos graníticos. Ladeira (1980) e Vial (1980a) propõem um modelo singenético exalativo. Guimarães (1931) e Vieira (1987a, 1988, 1991a, b) advogam um modelo epigenético, com fluídos relacionados ao metamorfismo regional e à deformação.

Para Ladeira (1980), o caráter estratiforme da mineralização, aliado à presença de grande quantidade de rochas vulcânicas, sugere que a atividade vulcânica teria promovido o desenvolvimento de um grande sistema hidrotermal

convectivo, responsável pela lixiviação de Au e outros metais das rochas adjacentes. O encontro dessas soluções, previamente aquecidas, com a água do mar provocaria a precipitação química, em fundo oceânico, da Lapa Seca, das formações ferríferas e de camadas ricas em sulfeto bandado e maciço portadoras de ouro.

Vieira (1988) defende o modelo epigenético e define as transcorrências verticais do primeiro evento como zonas de aporte anômalo de CO_2, durante o metamorfismo regional. O ouro seria transportado, através destas zonas, por tiocomplexos, que se desestabilizariam quando em presença de minerais de ferro, e em função de variações de pH e na fugacidade de oxigênio. O resultado deste processo seria a cristalização dos sulfetos e do ouro simultaneamente, a partir da substituição de minerais ricos em ferro presentes nas rochas hospedeiras. A pronunciada deformação do segundo evento teria remobilizado e recondicionado os sulfetos nas zonas de charneira.

Segundo o autor supracitado, o aumento crescente do teor de ouro à medida que se adentra nas zonas de alteração hidrotermal e o forte controle regional, dado pela interceptação das transcorrências do primeiro evento com rochas ricas em ferro, indicam que os principais controles da mineralização são químico – estruturais.

As propostas estratigráficas, citadas anteriormente neste capítulo, descrevem a predominância de rochas máficas e ultramáficas na base e um aumento de contribuição sedimentar em direção ao topo do *greenstone belt* Rio das Velhas. No entanto, é possível que este *greenstone belt* seja composto por várias seqüências distintas (não correlacionáveis) e que muitas das unidades anteriormente descritas sejam produto de empilhamento tectônico e não representem sua estratigrafia original. Desta forma, ainda são necessários trabalhos detalhados coadunando informações estruturais, estratigráficas e geocronológicas, para que se possa compreender com precisão a evolução estratigráfica do *greenstone belt* Rio das Velhas.

Capítulo III. MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO.

Para atingir os objetivos propostos neste estudo, o trabalho foi dividido em várias etapas, estabelecidas do seguinte modo:

Pesquisa bibliográfica

Foi iniciada com a análise da bibliografia disponível na biblioteca do IG/UNICAMP, com a finalidade de, através das principais obras existentes, adquirir os conhecimentos básicos referentes à estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero e às mineralizações auríferas contidas no *greenstone belt* Rio das Velhas, direcionando esta pesquisa para a obtenção de dados específicos sobre a geologia da mina de Morro Velho e resultando na elaboração do projeto de dissertação, com o planejamento das diferentes etapas de trabalho. Também foram utilizados relatórios internos da Mina de Morro Velho e artigos diversos relacionados com a metalogenia de ouro em seqüências turbidíticas.

Amostragens de furos de sonda e de galerias da mina

Para a execução deste trabalho foram feitas varias amostragens na Mina de Morro Velho, Mina Velha, tendo em conta, as condições de acessibilidade e seguridade nas galerias e tentando abranger, tanto os diferentes tipos litológicos, como as diversas formas de manifestação das alterações hidrotermais e as mineralizações metálicas. As amostragens realizaram-se em três níveis da mina: 10, 14 e 15.

No nível 10 (Figura A), conseguiu-se um maior detalhamento das amostragens devido à conservação de furos de sondagens horizontais, dos quais os seguintes foram amostrados: UM-926; UM-32; BMV-66; BMV-67; BMV-24; UM-902; UM-873; UM-891; UM-908. Na galeria foram coletadas 7 amostras das encaixantes e do corpo de minério.

O nível 14 subdividiu-se, para melhor compreensão em N-14 e N-14x (Figura B), sub-divisões nas quais coletaram-se 9 e 12 amostras respectivamente.

No nível 15 foram tomadas 12 amostras (Figura C).

Análise petrográfica

Foram confeccionadas, no Laboratório de laminação do IG/UNICAMP, 177 lâminas delgadas e delgadas-polidas das amostras coletadas a partir das amostragens realizadas nos níveis 10,14 e 15 da Mina de Morro Velho, Mina Velha.

As lâminas foram analisadas utilizando técnicas e critérios tradicionais de petrografia. O estudo foi realizado em microscópios óticos do próprio Instituto de Geociências, enfatizando principalmente a determinação da paragênese mineral das rochas encaixantes e hospedeiras das mineralizações, assim como dos minérios. Foram particularmente enfocadas as características micro-texturais, deformações micro-tectônicas e alterações hidrotermais.

Análises químicas.

As determinações químicas foram realizadas pela técnica de fluorescência de raios X, em pastilhas prensadas para elementos traços e em discos de vidro para elementos maiores e menores, utilizando-se o espectrômetro PW 2404, Philips do IG-Unicamp.

Foram utilizados dois programas analíticos, um deles para a determinação de elementos maiores e menores (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 e S) e outro para a determinação de 21 elementos traços (Ba, Ce, Cr, Cs, Cu, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn e Zr).

Concentrados minerais

Uma parte das amostras britadas, previamente selecionadas após a análise petrográfica, foi utilizada para a separação das diferentes frações minerais, segundo seu peso específico. Este trabalho foi executado no Laboratório de Concentração de minerais do Instituto de Geociências.

Deste trabalho, ainda em andamento, pretende-se estudar os zircões morfologicamente diferenciáveis, que podem servir para determinar idades da fração clástica que participaram no contexto estratigráfico da Mina de Morro Velho. As ripas de plagioclásio original ou levemente albitizados; quatro variedades de clorita, cada uma

delas relacionada a diferentes estados de intensidade das alterações hidrotermais e mineralizações metálicas.

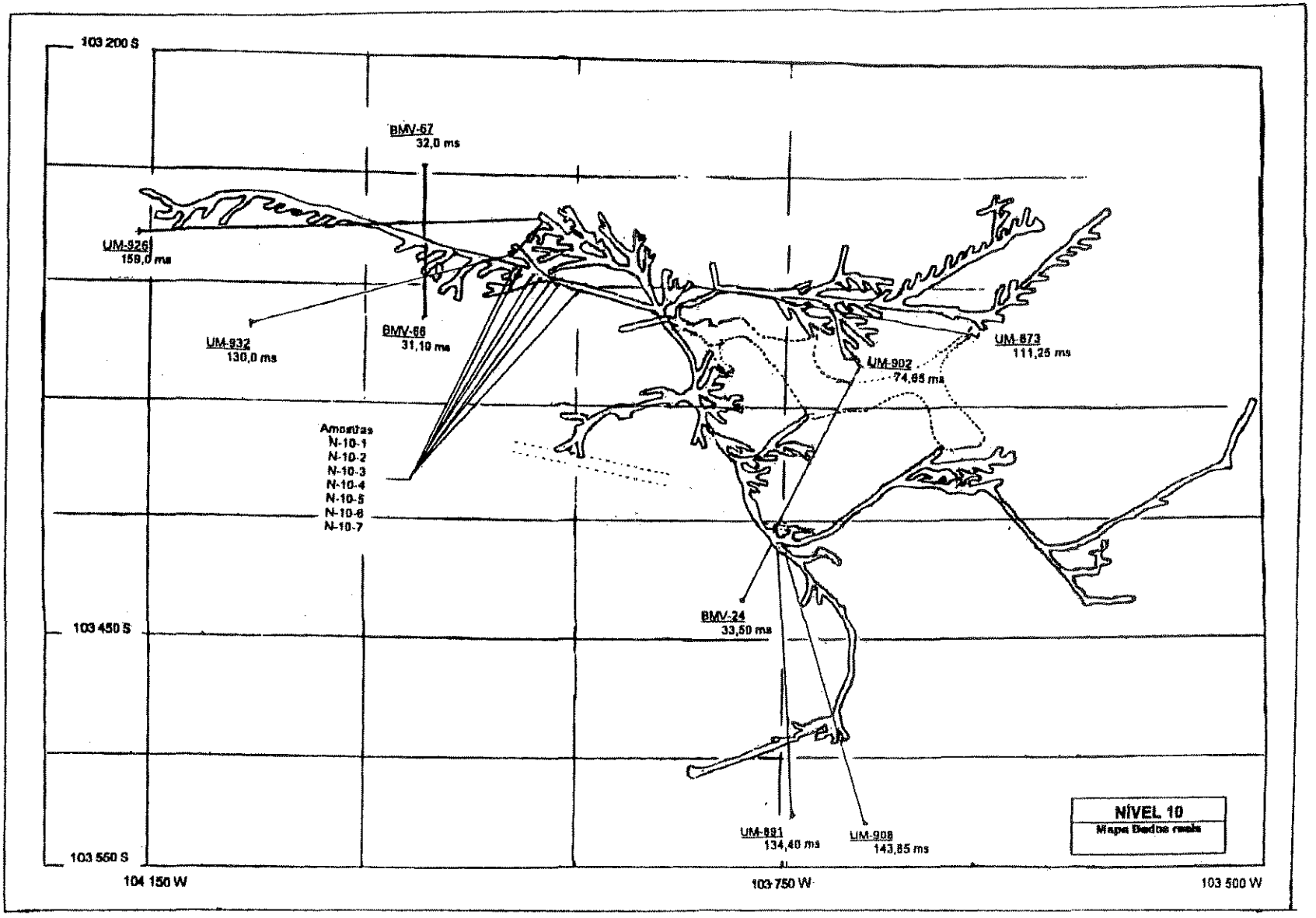


Figura A. Mapa de amostragem do Nível 10. N-10-X=Amostra Xdo Nível 10. Material Tecnico Mina de Morro Velho. Divisao de Disenho

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

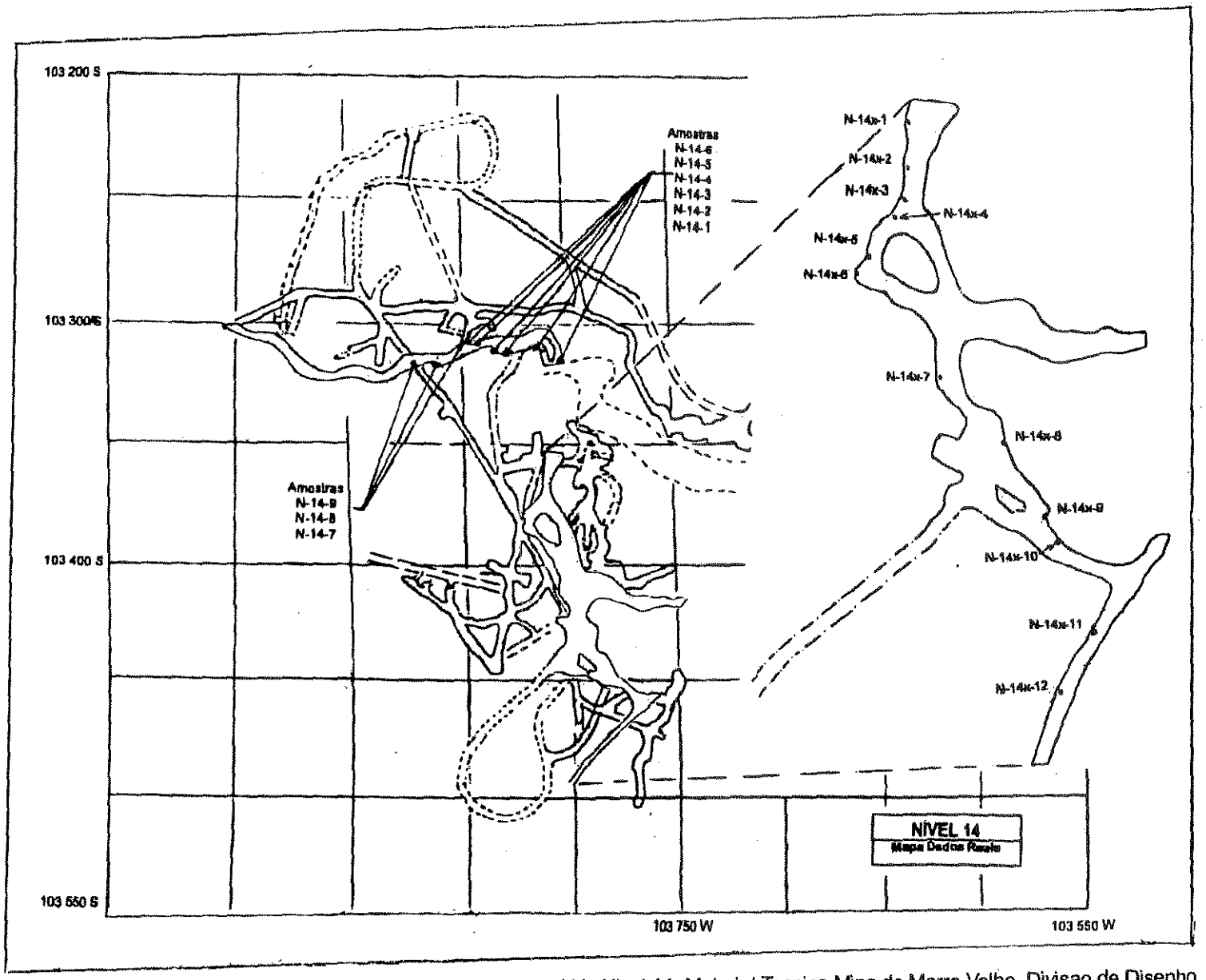


Figura B. Mapa de amostragem do Nivel 14. N-14-X=Amostra Xdo Nivel 14. Material Tecnico Mina de Morro Velho. Divisao de Disenho

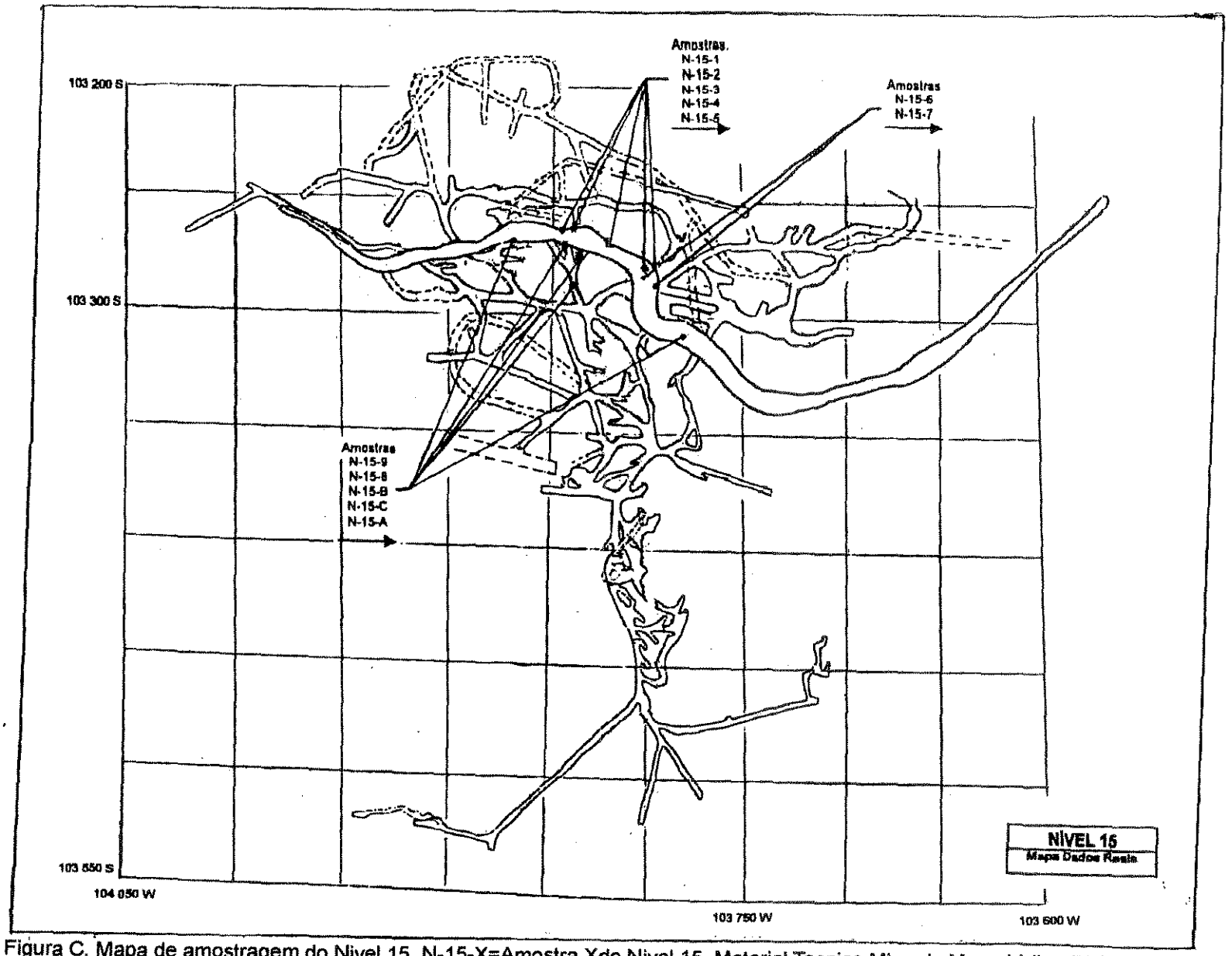


Figura C. Mapa de amostragem do Nivel 15. N-15-X=Amostra Xdo Nivel 15. Material Tecnico Mina de Morro Velho. Divisao de Disenho

Capítulo IV. PETROGRAFIA

Os tipos litológicos predominantes, identificados a partir deste estudo, consistem em produtos metamórficos de rochas sedimentares, contendo frações clásticas, de minerais e de rochas, de origem ígnea, obliterados pelas alterações e deformações a que foram submetidos no decorrer de sua evolução geológica.

O estudo petrográfico, principalmente em lâminas delgadas – polidas, permitiu identificar diferentes estágios da deformação tectônica que provocou mudanças parciais, e às vezes totais, das características texturais e composicionais primárias das rochas hospedeiras da mineralização aurífera na Mina de Morro Velho.

A deformação teve caráter heterogêneo e promoveu o desenvolvimento de fortes dobramentos e cisalhamentos em escalas macro e microscópicas. Essa deformação foi acompanhada de um incremento geotérmico que resultou na recristalização dos plagioclásios, poligonização do quartzo de origem hidrotermal e biotitização da clorita.

Todos os lito-tipos estudados na Mina de Morro Velho apresentam evidencias dos intensos processos tectônicos a que estiveram submetidos, sendo que nos filitos ditas evidencias são mais visíveis. Nos níveis micáceos, constituintes deste litotipo, as deformações se manifestam em forma de micro-dobramentos e desenvolvimento de clivagens de crenulação, caso no qual, observa-se a disseminação de finos arranjos de matéria carbonosa indicando a direção dessa clivagem e definindo orientações S_1 e S_2 (Fig. 4.1.1 a). Localmente, aparece uma terceira foliação S_3, impressa apenas nestes domínios filo-silicáticos (Fig. 4.1.1 b). Os domínios félsicos, que alternam com os anteriores são compostos majoritariamente por quartzo, plagioclásio e/ou carbonato e apresentam-se, geralmente afetados por fortes micro-cisalhamentos (Fig. 4.1.1 c, d).

Os meta-litoarenitos são os lito-tipos menos afetados pelos processos tectônicos, os quais manifestam-se através da formação de níveis micáceos e cálcio-silicáticos, à semelhança dos filitos. São, entretanto, caracterizados por uma espessura mínima dos níveis micáceos em comparação com os níveis cálcio-

silicáticos, compostos de abundantes frações cristalo-clásticas. O aparecimento de micro-dobramentos e micro-cisalhamentos neste lito-tipo são muito discretos.

No caso dos meta-conglomerados as evidencias das deformações encontram-se a partir do achatamento e estiramento dos lito-clastos de que são compostos. Freqüentemente, as espessuras desses litoclastos são da ordem de 1-2 mm, para comprimentos de 3-5 cm. Este achatamento, conjugado com o estado de laminação apresentado por estas rochas, impede, na maioria dos casos, de diferençar macro e microscopicamente, os limites entre fragmentos e matriz.

4.1.1. FILITOS.

A alternância de níveis de composição mineralógica distinta, filossilicáticos e cálcio–silicáticos (Fig. 4.1.1 e), assim como a granulação dos componentes minerais são chaves primordiais para definir estes tipos litológicos, que apresentam textura lepido-granoblástica e em raras ocasiões, lepidoblástica.

Domínios de filossilicatos.

O domínio de filossilicatos constituem-se de sericita, clorita raramente biotitizada, turmalina e matéria carbonosa, sendo preciso destacar que, o predomínio de um ou outro destes minerais define somente de forma local a nomenclatura da rocha, de modo que estes níveis podem ser sericíticos, sericita-cloríticos ou cloríticos e, mais raramente, turmaliníticos.

Sericita e cloritas apresentam-se como pequenas palhetas, dispostas em geral segundo uma ou duas direções.

O principal tipo de clorita encontrada neste lito-tipo é de cor verde tênue e birrefrigência verde amarronzada, sendo comum a disseminação abundante de minúsculos cristais de rutilo. Sobre as cloritas destaca-se, às vezes, a presença de diminutos grãos (e/ou cristais idiomórficos) de zircão, os quais são identificados pela formação de aureolas de radioatividade, de cor lilás, ao seu redor. Em algumas zonas, a presença abundante de zircão sobre as cloritas determina-se pela intensificação espacial de dita tonalidade lilás.

As turmalinas aparecem como pequenos cristais prismáticos, hexagonais, dispersos irregularmente em meio aos filo-silicatos. Eventualmente, o conteúdo deste

mineral aumenta de modo que a sua presença se destaca como predominante, mas sempre relacionada aos níveis micáceos. Neste caso, as turmalinas concentram-se de modo compacto compondo massas amareladas, onde as características óticas não reagem sob condições polarizadoras e nas quais somente nas bordas identificam-se alguns cristais que se individualizam do agregado turmalinítico. Estas massas aparecem, com freqüência, como finos filetes, que evidenciam e acentuam micro-dobramentos, mesmo quando, devido às alterações, os filo-silicatos desapareceram (Fig. 4.1.1 f). Nos casos em que estes agregados alcançam maior espessura, além de curvados e micro-dobrados, encontram-se cisalhados.

Mais raro é um tipo de filito constituído por alternância de níveis sericíticos e níveis cloríticos (muito finos), micro-dobrados intensamente e com rupturas por micro-cisalhamento dos domínios cloríticos.

Outros minerais que podem participar de forma subordinada nestas camadas, isolados ou entremeados, são os seguintes:

a- Agregados micro-cristalinos de quartzo-plagioclásio (recristalizados).
b- Agregados poligonizados de quartzo.
c- Grãos de quartzo, plagioclásio, carbonato e restos minerais (pseudomorfos) que poderiam ter sido fenocristais de minerais máficos totalmente cloritizados.
d- Entre os minerais opacos destacam-se grãos de pirrotita, achatados e orientados segundo o direcionamento dos minerais micáceos, às vezes mostrando traços de despigmentação amarelada, que sugere transição de pirrotita hexagonal a monoclínica. Fragmentos e cristais diminutos de arsenopirita e pequenos cristais de pirita ocorrem de forma localizada.

Domínios cálcio-silicáticos.

Os domínios cálcio–silicáticos, que se alternam com os anteriores, são constituídos de quartzo, plagioclásio e/ou calcita. Dependendo da quantidade e combinação dos minerais que compõem a rocha, esta pode receber diferentes nomenclaturas.

Quartzo e plagioclásio são os componentes mais característicos nestes domínios, não somente pelo conteúdo, mas também pela morfologia de ambos os minerais.

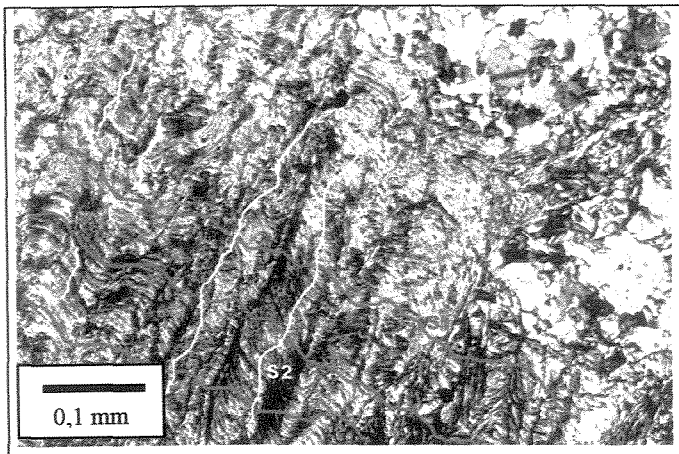
O plagioclásio pode aparecer como pequenas ripas irregulares, com as bordas corroídas, mas o modo mais comum de encontrá-lo é compondo uma matriz totalmente recristalizada de albita, entremeada com o quartzo na mesma faixa de granulação ou individualizada deste. Sobre esta massa aparecem diminutas palhetas de clorita e/ou sericita, dispostas orientada ou desordenadamente. Por vezes, o plagioclásio se encontra parcialmente recoberto por matéria carbonosa ou por minúsculos cristais de rutilo. O quartzo pode se apresentar formando agregados poligonizados de granulação média.

Nestes níveis, o conteúdo de carbonato, fundamentalmente calcita, pode variar de quase nulo a predominante, mas em geral evidencia uma origem tardia. O carbonato apresenta-se como pequenos cristais idioblásticos ou conformando agregados compactos destes cristais, entre os quais aparecem espaços intersticiais, irregulares, ocupados pela matriz quartzo – plagioclásio recristalizada.

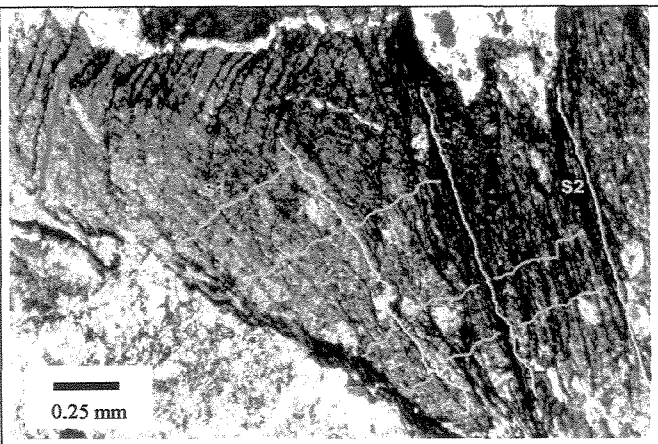
Em outras ocasiões, estes níveis compõem-se de agregados granulares de calcita e massas poligonizadas de quartzo, acompanhadas ou não por pequenos tabletes de oligoclásio.

A disseminação de finos arranjos de matéria carbonosa, às vezes contornando os grãos de carbonato, pode ser importante. Este material carbonoso, em geral, encontra-se delimitando os diferentes níveis. Localmente, e, fundamentalmente, nas proximidades do minério, aumenta a sua presença, definindo a nomenclatura destas rochas, como filitos carbonosos com tonalidades escuras.

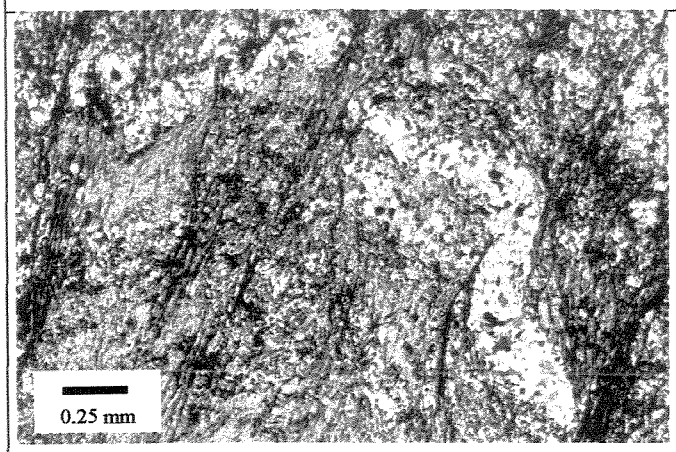
Os minerais opacos ocupam de 0,5 a 4% da massa total, aparecendo como pequenos grãos irregulares de pirrotita às vezes debilmente re-orientados, achatados e estirados. A calcopirita quase sempre acompanha a pirrotita, mas é escassa. Ocorrem ainda diminutos cristais de arsenopirita e/ou pirita. Localmente, os minerais opacos alcançam até 20% da massa dos filitos, representados por cristais idioblásticos de pirita.



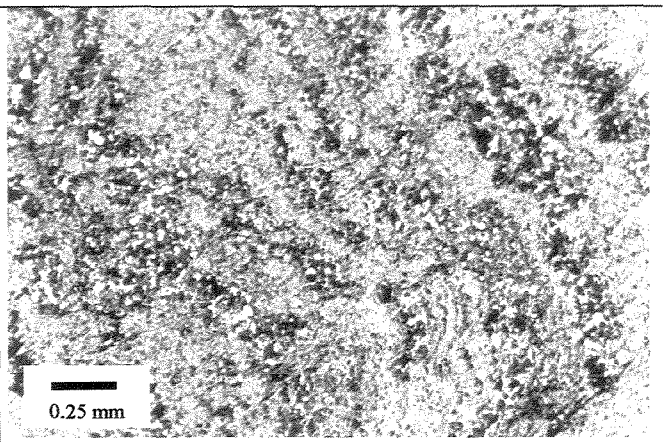
a) 66-6 (10x). Orientação S_1 e S_2 (crenulação) visível em níveis sericíticos e microcisalhamento em níveis félsicos



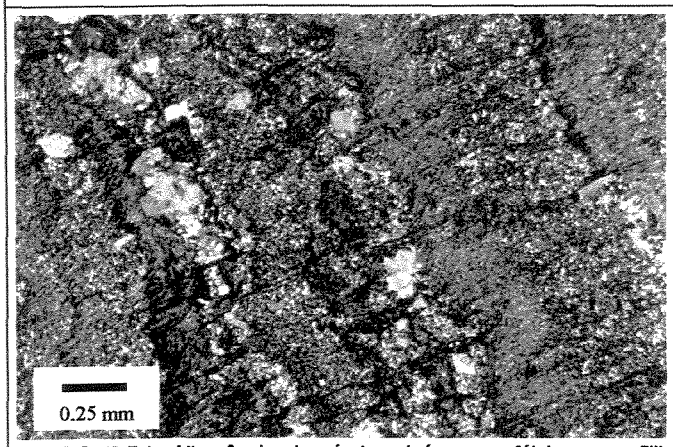
b) 908-8 (2,5x). Deformação de domínios micáceos, mostrando orientações S_1, S_2 e S_3 (orientação subvertical, parte superior esquerda na foto)



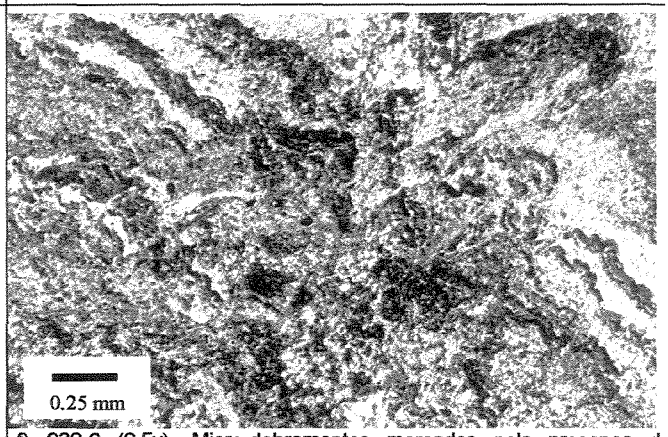
c) 932-8 (2,5x). Reordenamento e microcisalhamento de domínios félsicos e desenvolvimento de clivagem de crenulação em filito.



d) 24-1 (2,5x). Sericita – quartzo – albita filito, com micro-cisalhamento dos níveis félsicos.



e) 66-6 (2,5x). Alternância de níveis micáceos e félsicos em filito, mostrando débil micro-dobramento e clivagem de crenulação.



f) 932-6 (2,5x). Micro-dobramentos marcados pela presença d micro-cristais de turmalina e materia carbonosa em filito.

Figura 4.1.1. (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias dos diferentes tipos de filitos estudados em Morro Velho.

4.1.2. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS FILITOS

Diagramas de Elementos Maiores.

As rochas consideradas neste estudo como filitos apresentam grande variabilidade no conteúdo de minerais filossilicáticos e silicáticos, o que se reflete nos dados químicos mostrados nas Tabelas 4.1 e 4.1a, sendo que as características originais das rochas podem ser obliteradas pelas mudanças químicas provocadas pelos fluidos e alterações hidrotermais.

Os teores de Fe_2O_3 e MgO são relativamente altos para todos os lito-tipos estudados na área. No caso dos filitos os diagramas de Harker para elementos maiores mostram que enquanto o conteúdo de Fe não está condicionado pelos teores de SiO_2, o MgO mantém uma correlação negativa com este óxido (Fig 4.1.2 a, b). No caso do ferro, às vezes, o seu incremento é relacionado, principalmente com a presença de pirrotita. Há, também, uma correlação negativa do CaO com relação ao SiO_2 (Fig 4.1.2 c).

A percentagem de SiO_2 é relativamente constante, em limites inferiores a 60%. Tendo em conta que, na análise petrográfica destas rochas observou-se o desenvolvimento de finos veios de quartzo, o conteúdo de SiO_2 original deve ter sido parcialmente adulterado pelos processos hidrotermais. O Índice de Maturidade Sedimentar (IMAT), como registro do grau de transporte através do tamanho e esfericidade das partículas clásticas (Jost *et al,1996*; Fig. 4.1.2 d) reflete, no contexto da Mina de Morro Velho, valores crescentes segundo o aumento no conteúdo de SiO_2.

O conteúdo de óxidos de K e Na não manifestam boa correlação com o SiO_2 (Fig 4.1.2 e, f) e encontram-se condicionados pelo conteúdo das micas e dos processos de albitização. Neste último caso, a presença de albita compondo os níveis que se alternam com os domínios filo-silicáticos é constante.

Diagramas de Elementos Calcófilos e de Transição.

Cr, Ni e V atingem valores de 183 – 570 ppm, 65 – 332 ppm e 75 – 179 ppm, respectivamente, não evidenciando uma boa correlação com o SiO_2 e mesmo quando há correlação, manifesta-se de forma discreta e negativa para Cr e V (Fig. 4.1.3 a, b),

no caso do Ni não se evidencia uma relação direta com a sílica (Fig. 4.1.3 c) . Entretanto, existe proporcionalidade direta entre Cr e Ni (Fig. 4.1.3 d), com razoes Cr/Ni superiores de 1.5.

Cu e Zn, ao contrário, caracterizam-se por apresentarem teores muito baixos (<45 ppm, Tabela 4.1), compatíveis com áreas fontes de composição félsica, mas os teores altos de Cr, Ni e V, poderiam ser evidencias de contribuições máfico - ultramáficas, ainda quando deve-se ter em conta que, ocasionalmente, o Cr pode ser altamente móvel sob temperaturas baixas (Bathia & Crook, 1986).

Diagramas com Elementos de Grande Raio Iônico.

Sr e Rb apresentam teores geralmente baixos, embora o conteúdo destes elementos seja muito variável (Tabela 4.1).

A maioria dos valores de Sr encontram-se acima de 40 ppm, mas não superam o valor de 100 ppm, sendo independentes da afinidade existente entre Sr e Ca. De fato, a variação no conteúdo de CaO é discreta em relação ao conteúdo de Sr (Fig. 4.1.4 a). Não há relação manifesta dos teores deste elemento com a sílica (Fig. 4.1.4 b).

Observa-se a correlação positiva do Ba com relação ao K_2O e ao Rb (Fig. 4.1.4 c, d), mesmo com a amplitude de variação do Ba sendo muito maior. O comportamento do Rb em relação ao K_2O mostra uma proporcionalidade positiva mais acentuada (Fig. 4.1.4 e).

Diagramas HFSE.

O Zr aparece em concentrações relativamente constantes de 100 a 130 ppm, evidenciando a existência homogênea de minerais pesados, principalmente zircão, o qual foi encontrado como fase mineral no estudo petrográfico. Nota-se certa correlação positiva do Zr com o incremento de SiO_2 (Fig. 4.1.5 a), enquanto com o P_2O_5 e o $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO não há correlação clara (Fig. 4.1.5 b, c).

Y e Nb aparecem em concentrações reduzidas, mostrando, através dos diagramas envolvendo estes elementos com SiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO, a não existência de relação direta entre eles (Fig. 4.1.5 d, f, g, i). Já com o TiO_2 manifestam uma discreta correlação positiva (Fig. 4.1.5 e, h).

Amostra (%)	MBV-66-8	908-3	908-4	908-9	908-13
SiO_2	50,62	57,43	53,02	55,93	59,94
TiO_2	0,622	0,557	0,708	0,693	0,501
Al_2O_3	13,66	12,45	14,82	15,13	10,42
Fe_2O_3	6,88	8,26	10,26	8,77	8,61
MnO	0,109	0,239	0,141	0,084	0,151
MgO	7,70	3,67	6,53	7,77	6,25
CaO	4,92	5,69	2,77	1,73	3,31
Na_2O	4,28	1,61	1,85	2,22	2,30
K_2O	0,75	2,97	1,99	1,50	0,90
P_2O_5	0,101	0,144	0,110	0,111	0,098
S	0,17	0,50	0,19	0,12	0,63
Total	**99,59**	**98,71**	**99,34**	**99,51**	**98,61**
Ba	91	898	667	249	98
Ce	26	41	18	12,9	18
Cr	430	216	570	485	295
Cs	<11	<11	<11	<11	<11
Cu	43	12,7	18,4	34	41
Ga	18,1	15,7	18,2	17,7	17,9
La	13	23	14	7,9	8
Nb	8,4	4,9	8,8	9,2	5,8
Nd	8	28	11	<8	10
Ni	262	64	290	299	144
Pb	5,3	1,9	3,1	4,6	6,0
Rb	26,0	81	60	52	29
Sc	13	14	24	13,1	18
Sn	<3	5	4	<3	<3
Sr	97	96	61	41	39
Th	5,7	3,8	3,5	5,1	4,1
U	4,0	<2	4,0	4,0	<2
V	151	120	177	151	153
Y	20,5	10,2	19,6	22	13,5
Zn	31	15,5	42	91	23,7
Zr	114	132	118	120	78
IMAT	78.75	82.17	78.15	78.71	85.19
$SiO_2+Al_2O_3$	64.28	69.88	67.84	71.06	70.36

Tabela 4.1. Análises químicas novas, em rocha total, de elementos maiores (% em peso) e traços (ppm) de fácies filitos e IMAT (Indice de Maturidade Sedimentar, Jost *et al.*, 1996) para filitos. A cor dos símbolos (parte superior da tabela) são as "chaves" para o discernimento das amostras nos gráficos a seguir.

Amostra (%)	MBV-24-1	902-12	932-6	926-20	873- 7
SiO_2	61,10	52,37	55,07	45,03	56,38
TiO_2	0,681	0,678	0,773	0,620	0,715
Al_2O_3	14,81	14,98	16,02	13,25	14,80
Fe_2O_3	5,78	8,13	5,96	5,37	7,06
MnO	0,099	0,124	0,083	0,078	0,078
MgO	2,21	6,20	6,44	8,47	6,78
CaO	2,70	2,99	1,90	7,63	2,06
Na_2O	6,36	2,60	5,99	4,31	3,55
K_2O	1.14	2,56	0,77	0,92	1,37
P_2O_5	0,101	0,115	0,104	0,102	0,109
S	0,72	0,10	0,05	0,17	0,10
Soma	**98,52**	**99,54**	**99,74**	**99,66**	**99,37**
Ba	220	160	134	100	264
Ce	37	32	36	29	27
Cr	350	319	553	416	539
Cs	<11	<11	<11	<11	<11
Cu	15,7	22,0	10,3	43	34
Ga	17,5	20,2	18,7	18,1	20,5
La	20	11	15	13	16
Nb	7,7	9,1	9,7	7,5	9,2
Nd	10	17	<8	10	<8
Ni	107	167	313	194	332
Pb	5,8	3,9	5,1	6,3	6,8
Rb	33	70	24,1	28	40
Sc	11	16	8	11	11
Sn	4	<3	<3	<3	3
Sr	68	33	45	87	39
Th	5,3	6,3	6,5	5,4	4,7
U	3,1	3,3	4,7	<2	4,3
V	135	169	179	160	159
Y	18,2	21,1	21,3	14,0	19,3
Zn	6,8	13,9	18,5	7,9	21,3
Zr	131	126	132	102	131
IMAT	80.49	77.76	77.46	77.26	79.20
$SiO_2+Al_2O_3$	75.91	67.35	71.09	58.28	71.18

Continuação da tabela 4.1.

Amostra	Minerais Principais	Minerais Acessórios	Minerais Opacos
MBV-66-8	Q + Cl + Pl (Ab) + Cc	Rt + Zr + MC	Po
908-3	Ser + Q + Pl (Ol – Ab) + Cc	Rt + Zr	Asp
908-4	Ser + Cl + Q + Cc	Rt + Zr	Asp
908-9	Ser + Cl + Q	Rt + Zr	Po + Cp + Asp
908-13	Q + Cl + Pl (Ab) + Cc	Rt + Ap	Po
MBV-24-1	Ser + Q + Pl (Ab) + Cc	Rt + Zr + Ap + Tr	Po + Cp
902-12	Cl + Pl + Q + Ser	Rt + Tr + Zr	Asp
932-6	Cl + Q + Cc + Pl	Tr + Rt	Py + Po
926-20	Ser + Cl + Pl (Ab) + Q	Rt + Zr	Po + Asp
873-7	Ser + Pl (Ab) + Q + Cc	Rt + Zr + Tr	Po + Asp + Cp

Tabela 4.1a. Composição mineral dos filitos da Mina de Morro Velho. Q = Quartzo, Pl = Plagioclásio; Ol = Oligoclásio; Ab = Albita; Cc = Carbonato; Ser = Sericita; Cl = Clorita; Fs = Fuchsita; Rt = Rutilo; Zr = Zircão; Ap = Apatita; Tr = Turmalina; Ep = Epidoto; Py = Pirita; Po = Pirrotita; Asp = Arsenopirita; Cp = Calcopirita; MC = Matéria carbonosa.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

ELEMENTOS MAIORES

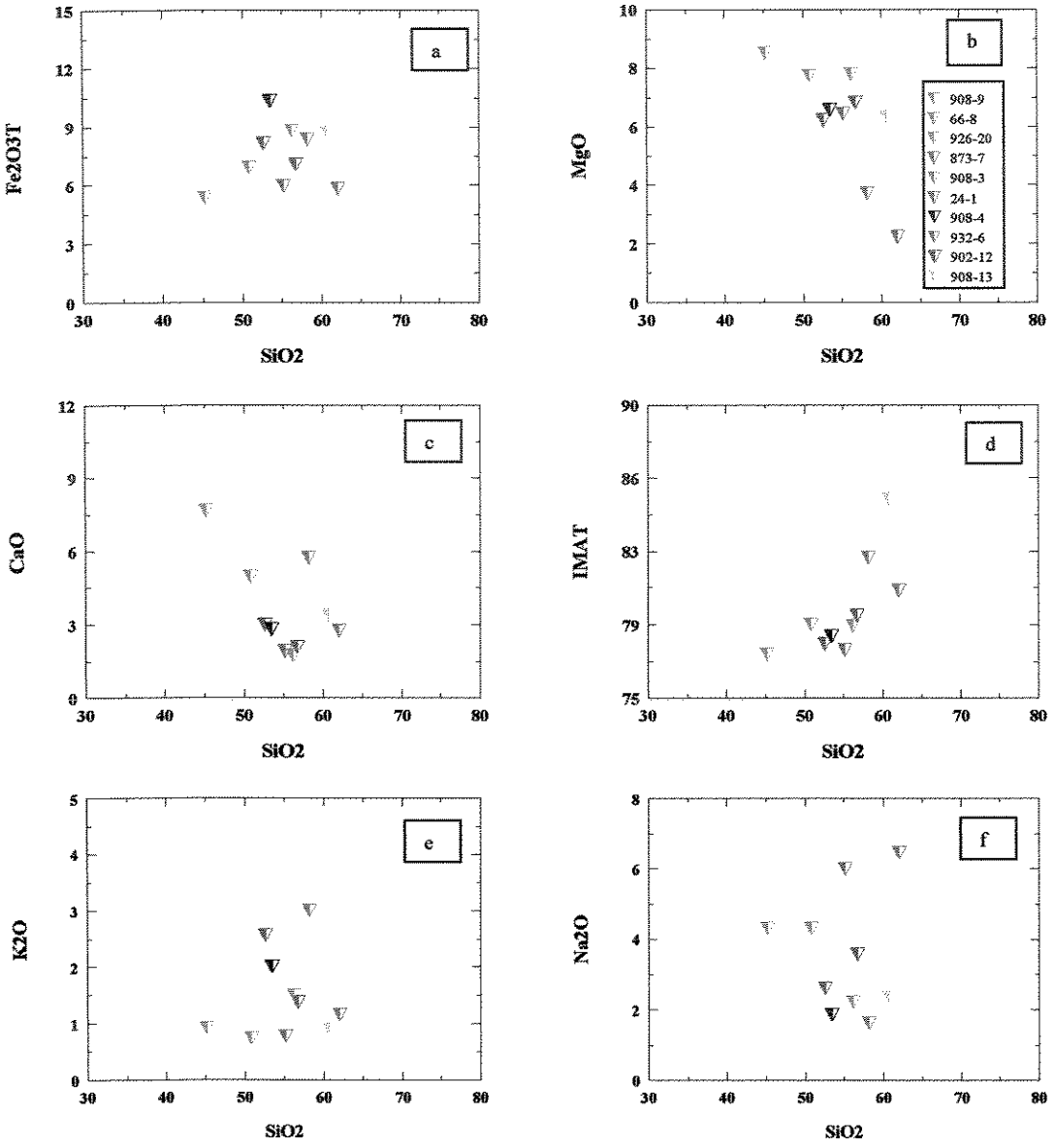


Figura 4.1.2. (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* alguns elementos maiores correspondendo às amostras de filitos.

ELEMENTOS CALCÓFILOS E DE TRANSIÇÃO.

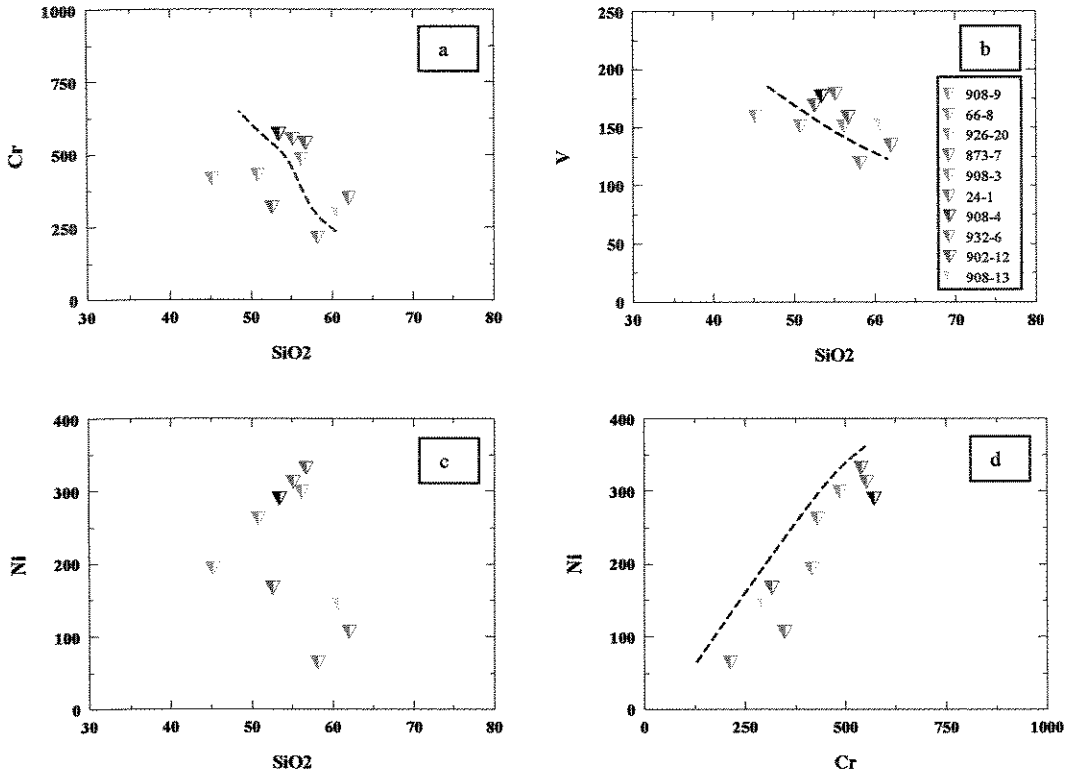


Figura 4.1.3. (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; $Fe_2O_{3\,(total)}$ *vs* Cr.

ELEMENTOS DE GRANDE RAIO IÔNICO (LILE –*Large Ion Lithofile Elements).*

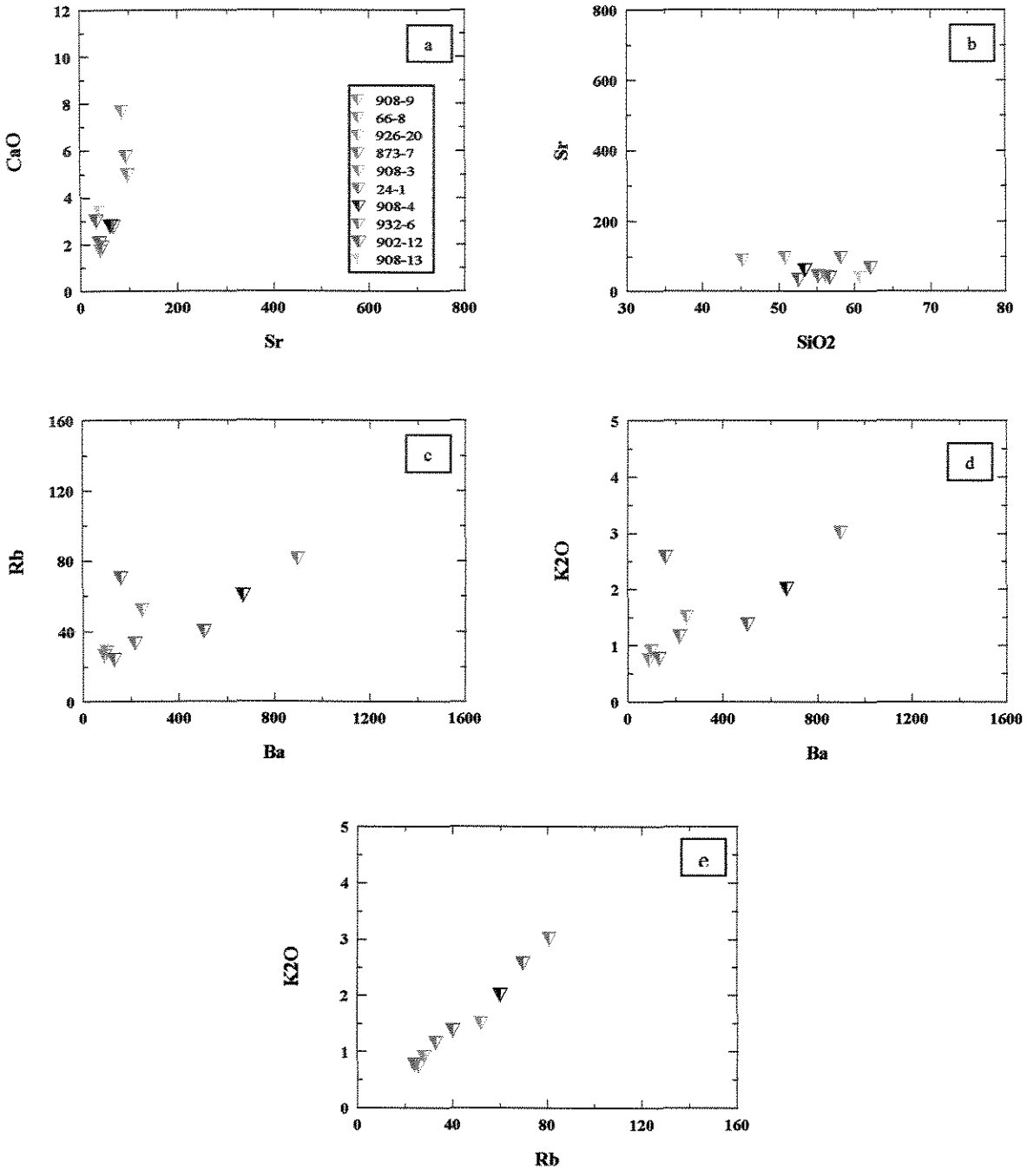


Figura 4.1.4. (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr.

HFSE – *High Field Strehgth Elements.*

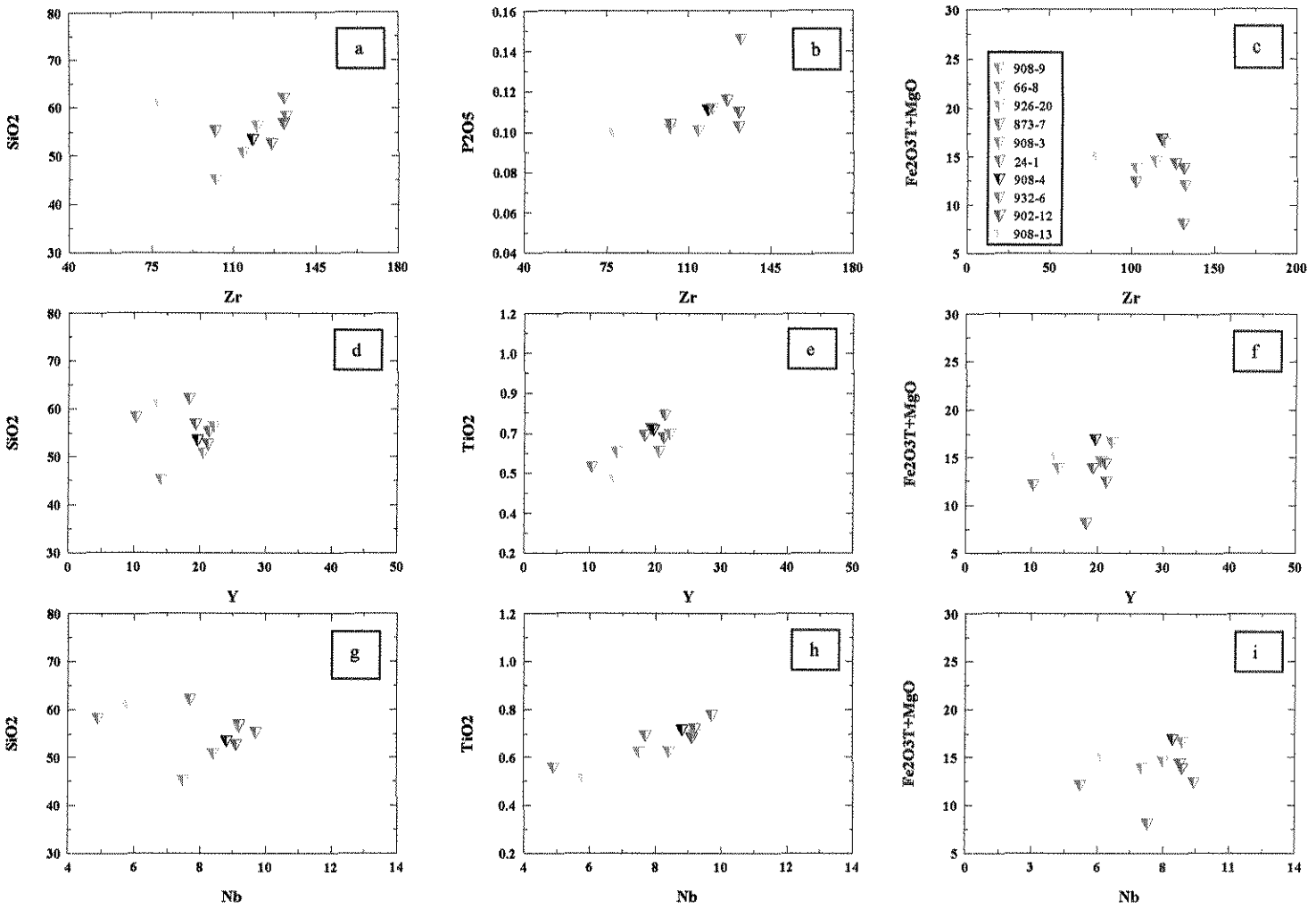


Figura 4.1.5. (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SIO2, TIO2 e Fe2O3(T) + MgO versus Zr, Y e Nb.

4.2.1. META-LITOARENITOS

Este tipo litológico está amplamente distribuído na área, indicando, em função das características de granulometria e composição modal, uma origem vulcano-clástica ácida, com texturas cristalo-clásticas finas.

Os fragmentos minerais estão representados por quartzo e plagioclásio, abarcando 10 e 5% respectivamente do conteúdo mineral, com tamanho de grão na faixa de 0,3-1,7 mm.

Estes cristalo-clástos encontram-se inclusos geralmente numa matriz de composição félsica, na qual podem aparecer amplos espaços ocupados por pequenas palhetas de sericita ou clorita, dispostas em geral com marcada orientação e, às vezes, mostrando débil micro-dobramento. As lamelas de clorita, tipo pennina, caracterizam-se por seu pleocroismo do amarelo pálido ao verde claro e cor de interferência azul Berlin. Nestes espaços, predominantemente filo-silicáticos, a ocorrência das partículas clásticas, principalmente de quartzo também pode ser abundante.

Os clastos de quartzo apresentam, com freqüência, formas angulosas ou arredondadas. Quando inclusos nas massas cloríticas possuem, como evidência de transporte, o arredondamento externo dos cantos dos grãos (Fig. 4.2.1 a), enquanto que quando dispersos nas sericitas, apresentam formas angulosas, com cantos agudos (Fig. 4.2.1 b). O significado encontrado para essa textura é de que os agregados com sericita representem grãos de pórfiros ácidos, enquanto as massas de clorita representem porções de matriz com clastos de quartzo.

Localmente se conservam formas cristalinas hipidiomórficas, próprias de pórfiros vulcânicos, às vezes, com embaiamentos ocupados por restos da matriz ígnea (Fig. 4.2.1 c), microcristalina, recristalizada. Em geral, os grãos de quartzo dos fragmentos pórfiros possuem granulação na faixa média de 0,6 mm, podendo localmente alcançar tamanho de até 1,7 mm.

O plagioclásio está representado por oligoclásio – andesina, afetado por processos de albitização, com conservação da geminação polissintética original. O mesmo encontra-se em forma de pequenas ripas irregulares, com tamanhos variáveis

na faixa de 0,3-0,9 mm. Geralmente aparece recristalizado, recobrindo-se às vezes por finos arranjos de sericita e carbonato e, raramente, por rutilo.

A matriz é composta por uma massa micro-cristalina de plagioclásio de granulação fina, recristalizado e albitizado, e quartzo, que pode estar ausente e cuja granulação varia na mesma faixa granulométrica do plagioclásio, até levemente mais grossa (Fig. 4.2.1 e, f). O arranjo desses minerais lembra a textura micro-granular de um chert, mas a diferença nos índices de refração permite definir o predomínio do plagioclásio albítico neoformado, nesta matriz.

Nesta mesma matriz podem ocorrer filossilicatos, fundamentalmente sericita, cloritas ou fuchsita, como diminutas palhetas, orientadas segundo a foliação tectônica ou, subordinadamente, dispostas em arranjo aleatório.

Os minerais acessórios aparecem como diminutos cristais de rutilo e zircão. Este último, às vezes, encontra-se fragmentado por processos deformacionais. Encontram-se pequenos grãos arredondados ou irregulares de apatita, superficialmente impregnada por óxidos de ferro, enquanto a presença de minúsculos cristais de turmalina é ocasional e associa-se geralmente às cloritas.

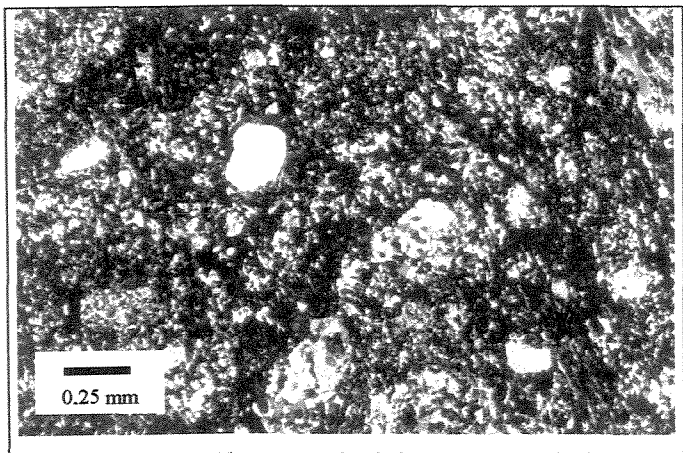
Alternando com os níveis descritos anteriormente, observam-se finos filmes compostos de pequenas palhetas orientadas de sericita e ou clorita, raras vezes por fucsita. As texturas, além de conservarem as características originais, incorporam feições lepidoblásticas típicas (Fig. 4.2.1 d).

Com freqüência, esta litologia, e principalmente os domínios félsicos recristalizados, encontra-se afetada por intenso processo de carbonatização, que provoca a substituição parcial desta massa mineral, por agregados sub-idiomórficos finos de calcita. Nas zonas menos afetadas, esta carbonatização aparece em forma de diminutos cristais romboédricos, disseminados pela rocha toda ou ocupando espaços intersticiais na mesma.

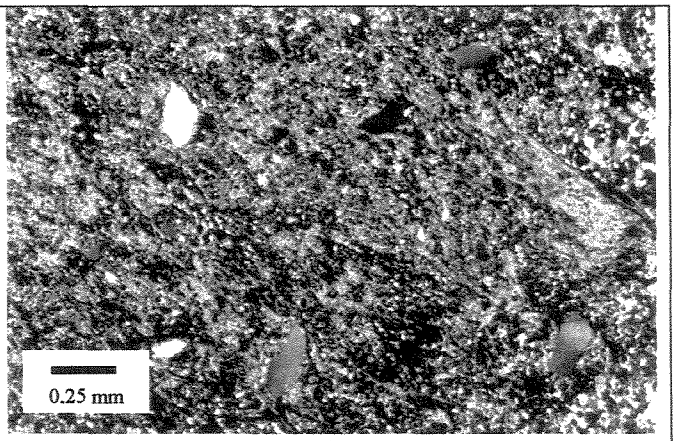
Geralmente a intensificação da carbonatização é acompanhada de fina disseminação de matéria carbonosa. Embora, outra interpretação possível, é de que as porções com conteúdo de matéria carbonosa originalmente maior são mais afetadas pela carbonatização.

Os opacos presentes neste lito-tipo estão representados por grãos irregulares, às vezes achatados, de pirrotita, principalmente quando aparecem entre filo-silicatos. A presença de pirita aumenta quase sempre com a intensificação do processo de carbonatização. Outros minerais metálicos ocasionalmente observados são arsenopirita e calcopirita.

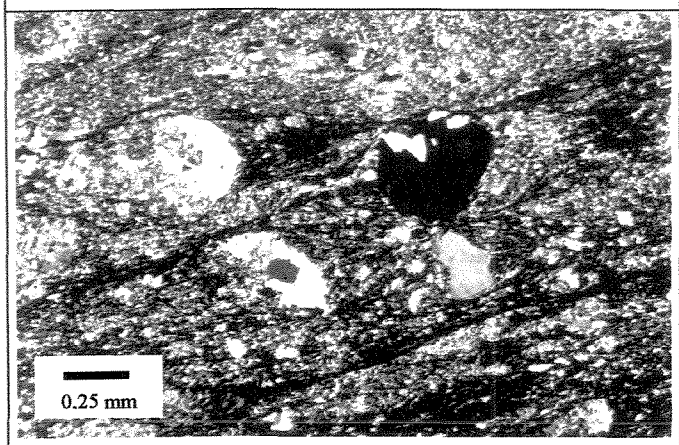
Localmente, observa-se o aparecimento de vênulas finas, ocupadas por agregados poligonizados de quartzo e/ou carbonato, com escassas palhetas de muscovita, podendo estar mineralizadas por grãos irregulares de pirrotita e cristais euhédricos de arsenopirita. O conteúdo de pirita é variável, enquanto a calcopirita é menos freqüente.



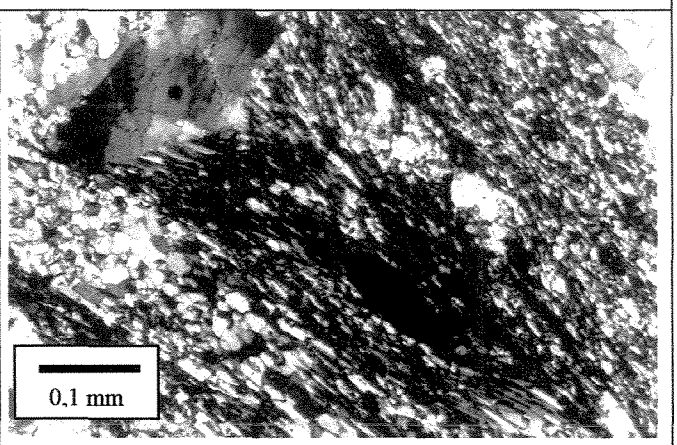
a) 926-12 (2,5x). Clastos arredondados de quartzo inclusos em clorita pennina.



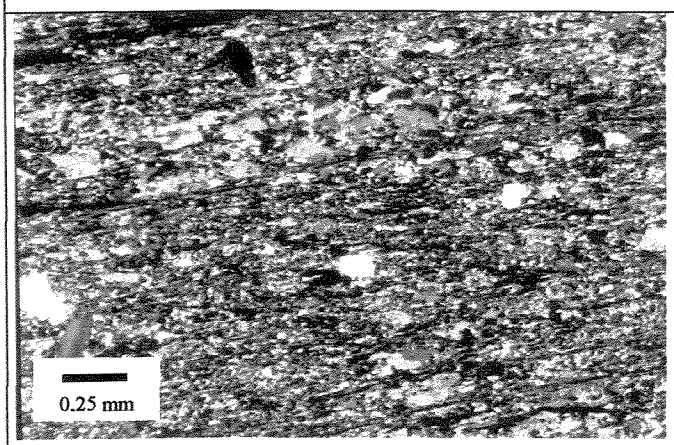
b) 926-12 (2,5x) Clastos angulosos de quartzo inclusos em sericita.



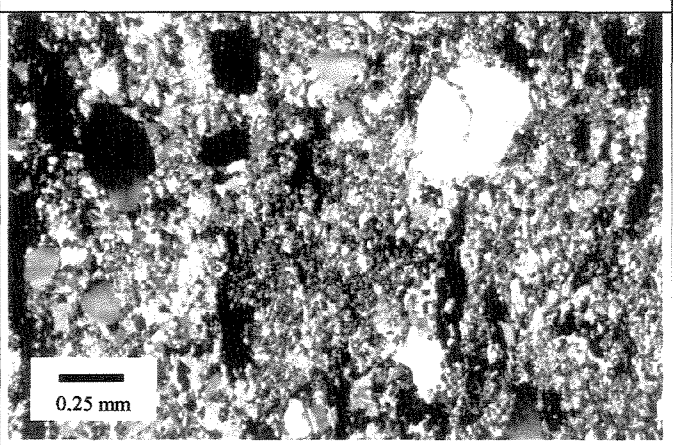
c) 926-16 (2,5x). Clastos de quartzo conservando parcialmente formas vulcânicas com entranças.



d) 926-12 (10x). Detalhe da foto anterior com clastos de quartzo e clorita pennina.



e) 926-13 (2,5x). Matriz quartzo – albítica, com reordenamento mineral devido às deformações tectônicas.



f) 66-4 (2,5x) Matriz quartzo – albítica, recristalizada, com clastos de quartzo e plagioclásio.

Figura 4.2.1 (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de meta-litoarenitos.

4.2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS META-META-LITOARENITOS.

A interpretação do comportamento químico deste lito-tipo é dificultado pela reduzida quantidade de amostras que foram submetidas a análise química, devido ao grau forte, e generalizado, dos processos de carbonatização, além da silicificação, a que se encontra submetida esta litologia.

Elementos Maiores.

Este lito-tipo caracteriza-se pelo maior conteúdo em SiO_2 em relação às outras litologias analisadas. (Tabela 4.2 e 4.2 a). Este incremento reflete-se também no índice de maturidade (IMAT), observando-se certa proporcionalidade positiva entre estes fatores (Fig. 4.2.2 a).

O comportamento dos óxidos de Fe, Na e K não apresentam variações acentuadas, que permitam uma interpretação precisa. O diagrama de Harker envolvendo SiO_2 *vs* $Fe_2O_{3(total)}$ (Fig. 4.2.2 b) mostra difusamente uma proporcionalidade positiva.

Os valores de CaO e MgO apresentam relativo decréscimo em comparação aos filitos, manifestando uma correlação negativa muito discreta com relação à sílica (Fig. 4.2.2 c, d).

A correlação com Na_2O manifesta-se negativamente (Fig 4.2.2 e), o que pode indicar baixos conteúdos de material feldspático, como já foi observado no estudo petrográfico, enquanto os teores do SiO_2 não refletem relação com os valores de K_2O (Fig. 4.2.2 f).

Elementos Calcófilos e de Transição.

Através da Tabela 4.2, nota-se como os teores destes elementos ou são baixos (< 41 ppm em Cu; < 11 ppm em Zn, à exceção de uma amostra com teor de 95 ppm que é anômala; < 145 ppm em V) ou mantém, relativamente, os mesmos valores dos filitos (Cr: 180 a 511; Ni: 81 a 253).

Os diagramas de Harker envolvendo estes elementos com o SiO_2, o MgO e o Fe_2O_3 não manifestam a existência de uma boa correlação entre eles (Fig. 4.2.3 a, b, c, e, f). No entanto se observa, como no caso dos filitos, uma relação positiva entre Ni e Cr (Fig. 4.2.3 d).

Elementos de Grande Raio Iônico.

Os teores de Sr são em geral baixos (16 – 46 ppm), exceto por um resultado de 110 ppm, anômalo. O Ba apresenta uma variabilidade que oscila entre 206 e 523 ppm, enquanto o Rb encontra-se dentro de limites relativamente constantes e baixos (36 – 54 ppm). As amplitudes de variação nestes elementos não trazem muita informação.

O baixo teor de Sr, que está em concordância com os valores baixos do CaO, pode estar relacionado ao baixo conteúdo em minerais carbonáticos, (observado para estas rochas durante o estudo petrográfico), assim como ao baixo conteúdo em plagioclásio, em comparação aos outros tipo litológicos analisados. A correlação positiva entre estes elementos é muito discreta (Fig. 4.2.4 f).

Os valores de Ba, Rb e K_2O são comparáveis aos apresentados pelos filitos, com variações similares nos conteúdos que, em geral, mantém proporcionalidade positiva (Fig. 4.2.4 a, b, c). Isto se explica através dos processos de filitização, com formação de micas, predominantemente sericitas e, de forma localizada, o desenvolvimento de discretos processos de biotitização nos domínios mais cloríticos.

HFSE – *High field Strength Elements.*

O baixo conteúdo dos diferentes elementos é claramente visível. O Zr apresenta valores menores de 135 ppm (com um valor anômalo de 173), o Y mostra teores inferiores de 20.4 ppm, enquanto Nb se mantém em limites máximos de 9.2 ppm.

Uma leve correlação negativa entre Zr e SiO_2 é observada (Fig. 4.2.5 a), não se manifestando claramente nos diagramas Zr *vs* P_2O_5 e Zr *vs* $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO (Fig. 4.2.5 b, c). Para o Zr, que normalmente é parte do mineral zircão, e é freqüente em lito-tipos félsicos, os teores baixos parecem anômalos.

Y e Nb manifestam maior afinidade com termos máficos e tendo em conta os teores baixos destes elementos, repete-se o caso do Zr, ou seja, um certo

Uma leve correlação negativa entre Zr e SiO_2 é observada (Fig. 4.2.5 a), não se manifestando claramente nos diagramas Zr *vs* P_2O_5 e Zr *vs* $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO (Fig. 4.2.5 b, c). Para o Zr, que normalmente é parte do mineral zircão, e é freqüente em lito-tipos félsicos, os teores baixos parecem anômalos.

Y e Nb manifestam maior afinidade com termos máficos e tendo em conta os teores baixos destes elementos, repete-se o caso do Zr, ou seja, um certo comportamento anômalo, principalmente considerando os teores relativamente altos de Cr, MgO e Ni. Estes valores podem ser uma evidencia da contribuição de minerais ou fragmentos melanocráticos.

Observa-se certa correlação positiva do Y e Nb com SiO_2 e com TiO_2 (Fig. 4.2.5 d, e, g, h), e menos clara destes elementos com relação ao $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO (Fig. 4.2.5 f, i).

Amostra (%)	MBV-66-5	MBV-66-6	932-7	932-10	926-12
SiO_2	55,6	44,37	60,70	62,71	67,68
TiO_2	0,68	0,5	0,577	0,677	0,511
Al_2O_3	14,8	11,64	12,49	14,95	11,35
Fe_2O_3	11,2	3,60	5,48	6,47	7,84
MnO	0,11	0,200	0,111	0,079	0,131
MgO	4,5	6,22	4,58	5,90	3,16
CaO	0,5	10,84	2,82	1,60	1,57
Na_2O	2,7	3,95	4,04	3,40	1,16
K_2O	2,1	1,61	1,25	1,53	1,71
P_2O_5	0,09	0,130	0,124	0.111	0,112
S	1,7	0,026	0,18	0,08	0,1
Total	**98,11**	**99,96**	**98,96**	**99,02**	**99,31**
Ba	403	827	206	523	259
Ce	5	59	52	17	16
Cr	402	202	417	511	180
Cs	<11	<11	<11	<11	<11
Cu	27,6	8,4	35	41	16,6
Ga	19,4	15,1	18,2	16,7	15,1
La	5	18	17	14	8
Nb	6,6	6,3	7,9	9,2	5,1
Nd	9	28	13	<8	14
Ni	81	71	182	253	88
Pb	3,6	6,0	4,0	11,4	2,2
Rb	47	41	36	54	43
Sc	19	9	11	8	13
Sn	5	5	5	<3	<3
Sr	16,2	68	46	110	26
Th	3,1	4,9	5,5	6,1	3,8
U	3,9	<2	3,5	3,2	<2
V	121	110	145	120	103
Y	13,7	10,9	15,9	20,4	13,0
Zn	11,2	7,3	10,6	95	8,9
Zr	173	139	133	135	96
IMAT	78.98	79.22	82.93	80.74	85.64
$Si_2O_3+Al_2O_3$	70.4	56.01	73.19	77.76	79.03

Tabela 4.2. Análises químicas novas em rocha total, dos elementos maiores (% em peso) e traços (ppm) de meta-litoarenitos. IMAT = Índice de Maturidade Sedimentar. (Jost *et al.,* 1996). A cor dos símbolos (parte superior da tabela) são as "chaves" para o discernimento das amostras nos gráficos a seguir.

Amostra	Minerais Principais	Minerais Acessórios	Minerais Opacos
MBV-66-5	Q + Pl (Ol – Ab) + Cc + Cl (Pn)	Rt + Zr	Py
MBV-66-6	Pl (Ol – Ab) + Q + Ser + Cc + Cl	Rt + Zr + Tr	
932-7	Pl (Ab) + Q + Ser + Cl + Fs + Cc	Rt + Zr + Ap	Py + Po
932-10	Pl (Ab) + Q + Ser + Cl + Fs + Cc	Rt + Zr + Ap	Py + Po
926-12	Q + Pl (Ol – Ab) + Cl + Ser + Cc	Rt + Zr	

Tabela 4.2.a Composição mineral dos meta-litoarenitos da Mina de Morro Velho. Q = Quartzo; Pl = Plagioclásio; Ol = Oligoclásio; Ab = Albita; Cc = Carbonato; Ser = Sericita; Cl = Clorita; Pn = Pennina; Fs = Fucsita; Rt = Rutilo; Zr = Zircão; Ap = Apatita; Tr = Turmalina; Ep = Epidoto; Py = Pirita; Po = Pirrotita; Asp = Arsenopirita; Cp = Calcopirita.

ELEMENTOS MAIORES.

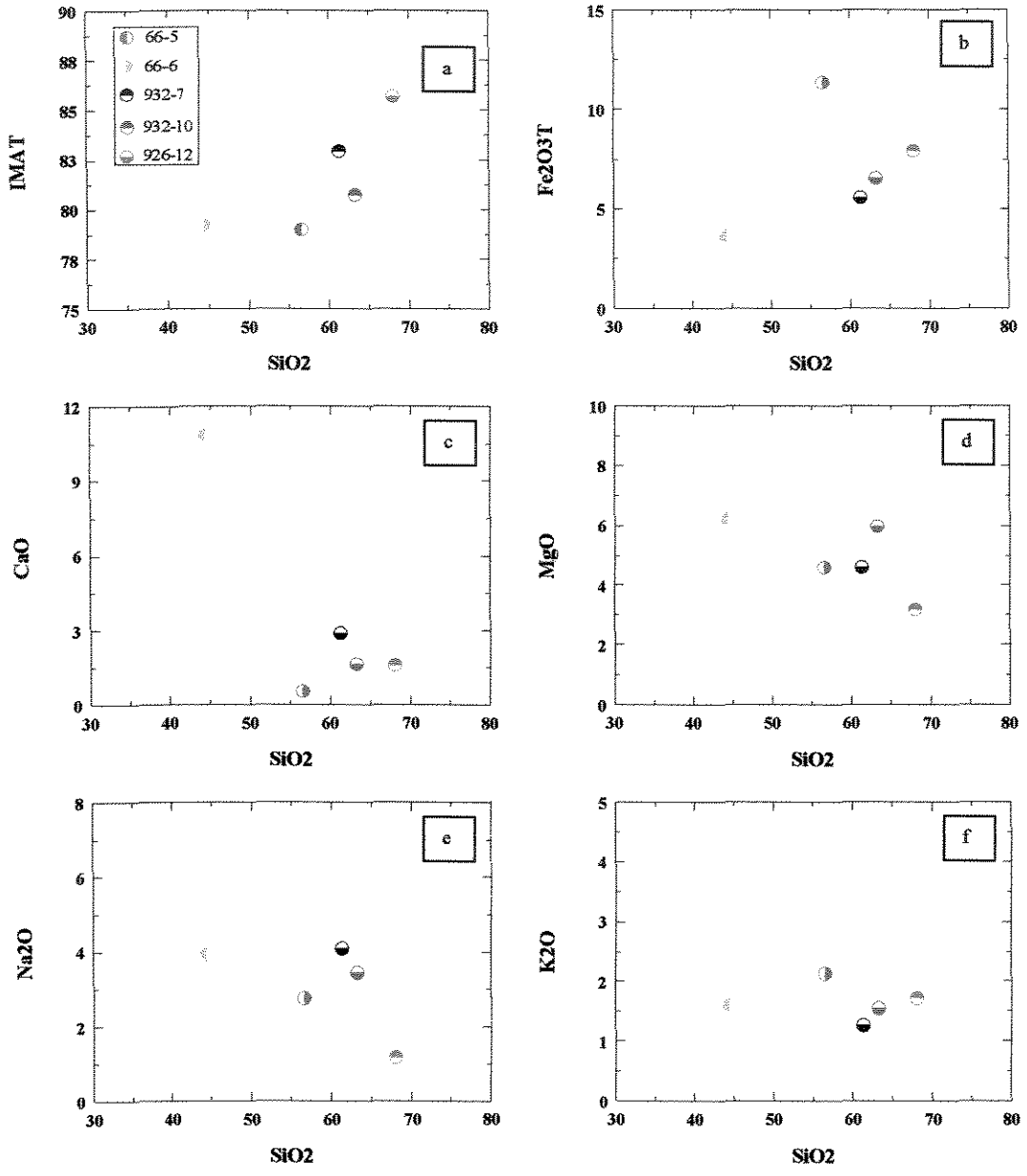


Figura 4.2.2 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* alguns elementos maiores das amostras de meta-litoarenitos.

ELEMENTOS CALCÓFILOS E DE TRANSIÇÃO.

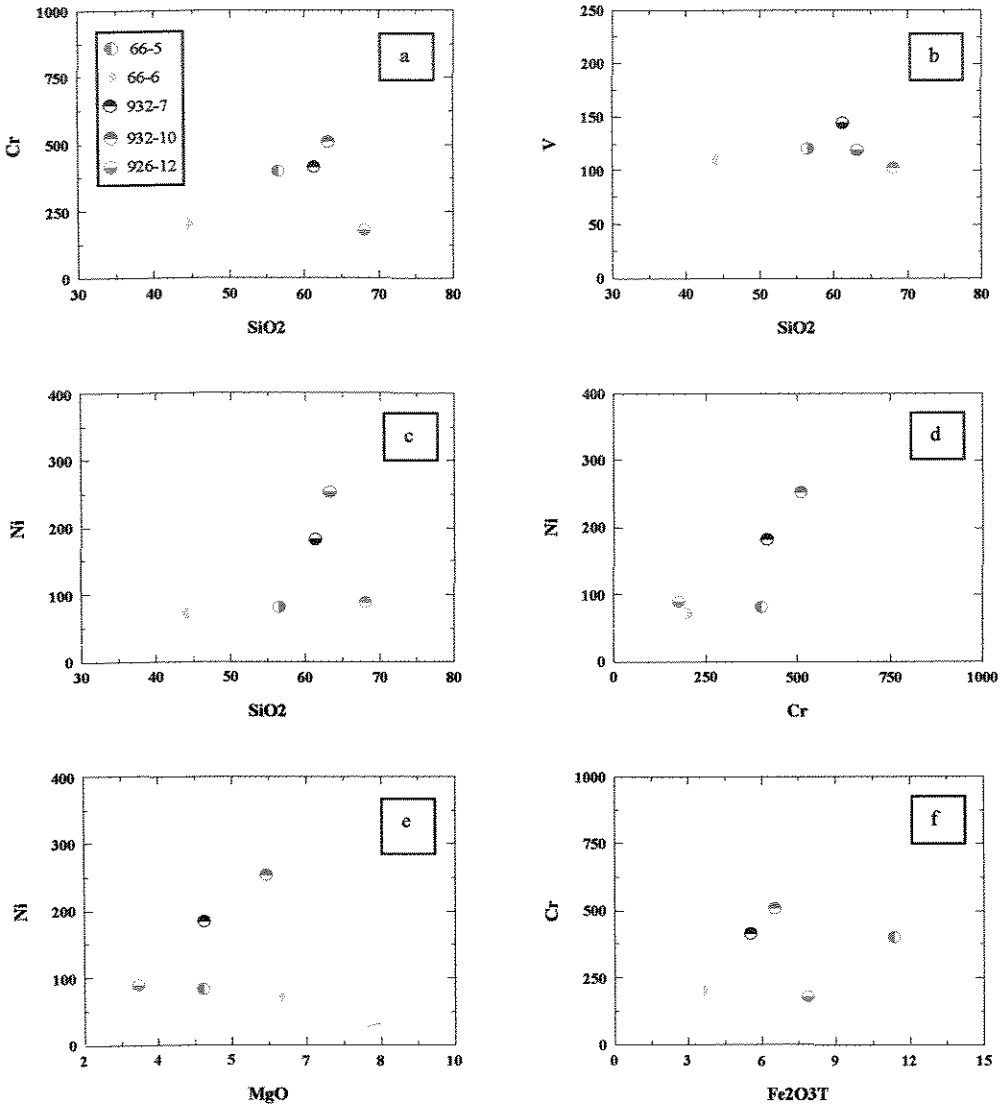


Figura 4.2.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; MgO *vs* Ni; Fe_2O_3 *vs* Cr.

ELEMENTOS DE GRANDE RAIO IÔNICO (LILE – *Large Ion Lithofile Elements*).

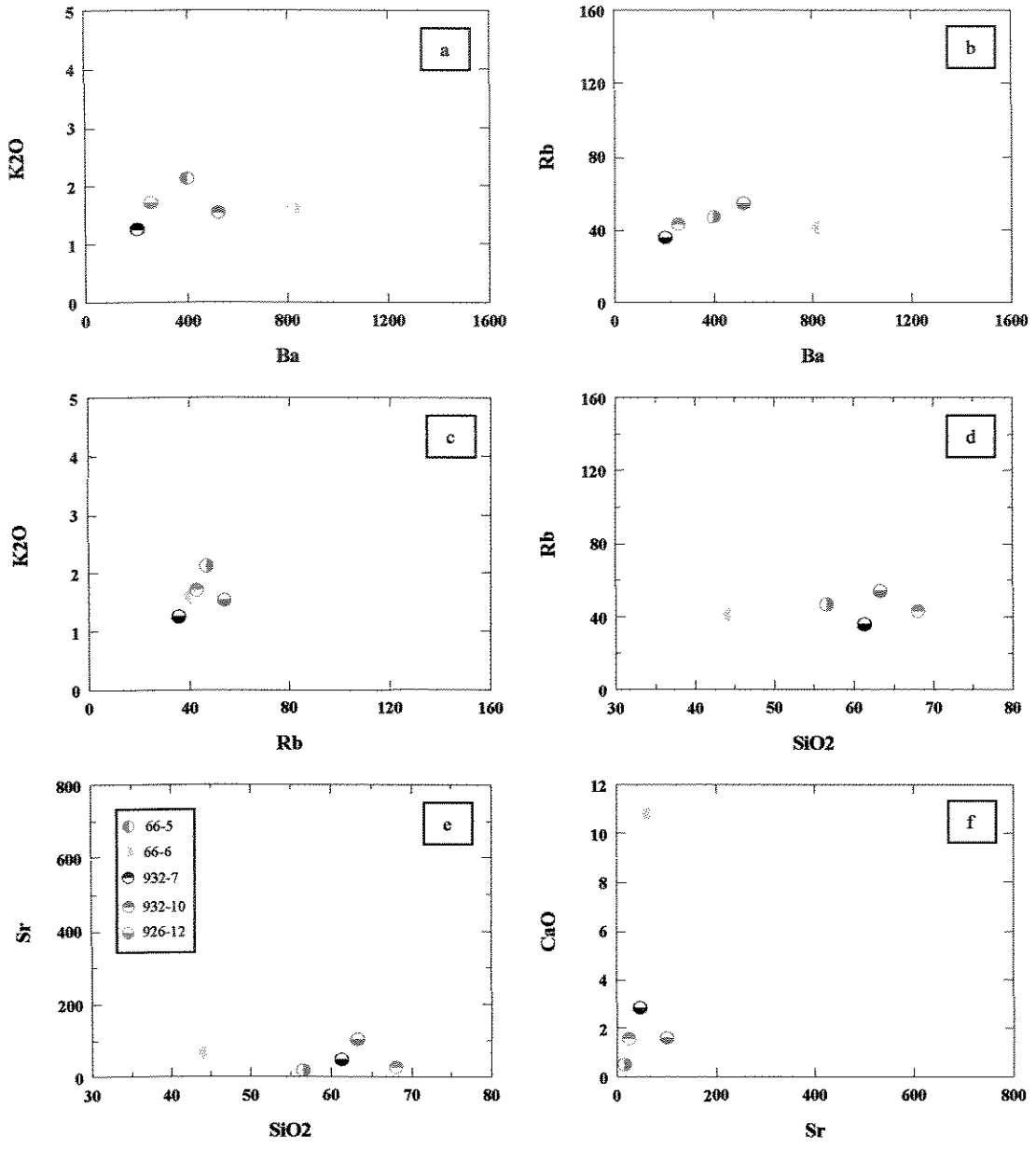


Figura 4.2.4 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr.

HFSE – *High Field Strength Elements.*

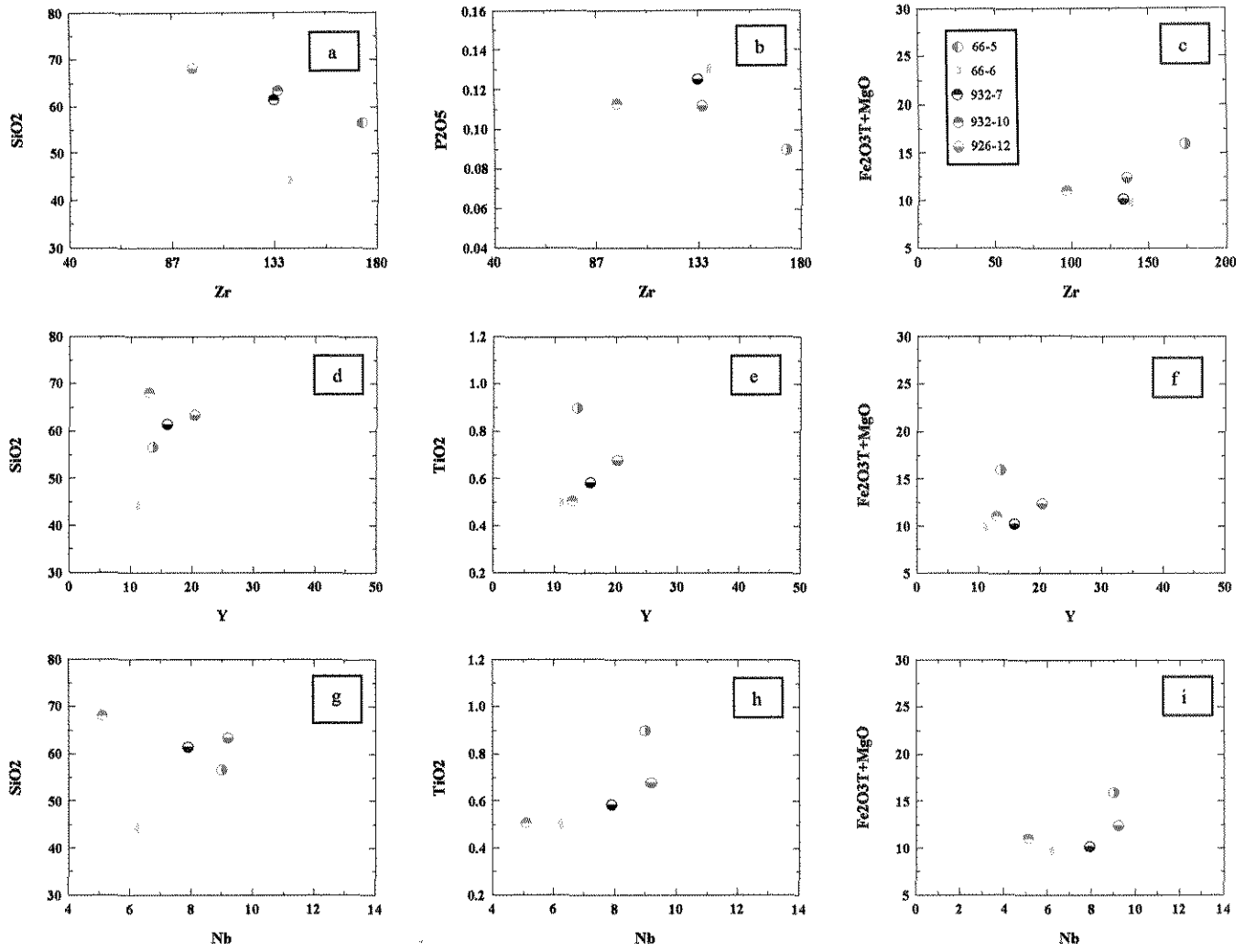


Figura 4.2.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO2, TiO2 e Fe2O3 versus Zr, Y e Nb.

4.3.1. META-CONGLOMERADOS.

Este lito-tipo, nomeado genericamente como Lapa Seca carbonática (Lsca) na Mina de Morro Velho, é uma rocha comum na zona de trabalho, mas devido às deformações tectônicas a que foi submetido, o reconhecimento das características primárias pode ser muito dificultado. Além disso, os processos de recristalização, principalmente do plagioclásio, impossibilita definir com precisão a origem dos fragmentos, se vulcânicos, intrusivos ou metamórficos, assim como as suas composições.

O estudo em lâminas delgadas-polidas permitiu esclarecer parcialmente estas incógnitas, mesmo quando, devido ao tamanho, estiramento e achatamento dos fragmentos, além de sua distribuição paralela, eles são confundidos com alternâncias de níveis ou de acamamentos, entre filossilicatos e rochas félsicas.

Estas rochas caracterizam-se pelo conteúdo abundante, às vezes predominante, de tabletes de plagioclásio, podendo perfazer 15 - 70% da massa mineral (Fig 4.3.1 a, b, k). A composição é de An_{14-18}, tipo oligoclásio – andesina, afetada por processos de albitização. Os cristais aparecem com formas tabulares ou quase isométricas e granulação na faixa de 0.9 – 1.9 mm. A ação dos processos de recristalização pode ter intensidade variável (Fig. 4.3.1 c), o que se evidencia pela desintegração parcial ou total deste mineral, em agregados micro-cristalinos muito finos.

Localmente os tabletes do plagioclásio são dispersos, mas, em geral, aparecem agrupados caoticamente, definindo características texturais próprias de rochas plutônicas (hipidiogranulares, Fig. 4.3.1 b, d, e). Observa-se que há setores afetados por processos de recristalização e, neles, as ripas de plagioclásio desintegram-se, compondo agregados micro-cristalinos, com impurezas (ou inclusões) presentes no interior do plagioclásio aglomerando-se nos restos do mineral ainda não recristalizado. Em geral, tais inclusões estão representadas por rutilo, em forma de cristais aciculares muito finos, formando mechas de fios (Fig. 4.1.3 f, g).

O quartzo aparece ocupando espaços entre os tabletes de plagioclásio, como grãos intersticiais ou como agregados poligonizados.

O carbonato é secundário, representado por calcita, em forma de cristais sub-idiomórficos ou formando massas granulares de contorno externo irregular. O conteúdo deste mineral aumenta nas zonas recristalizadas, onde parece estar substituindo parte dos agregados micro-cristalinos de plagioclásio.

Os acessórios são escassos, aparecendo como diminutos cristais de rutilo e zircão e, ocasionalmente, turmalina.

As alterações hidrotermais e às deformações não permitem definir com certeza a composição dos fragmentos envolvidos nesta seqüência, os quais são constituídos de forma predominante por plagioclásio original das áreas fontes, afetados por processos de albitização. As texturas de alguns deles, no entanto, sugerem rochas intermediárias, como tonalitos, andesitos/ basaltos originais.

A possível presença de outras litologias, participando como litoclastos dentro destes setores, não se identifica com clareza. Normalmente, nas zonas menos deformadas observam-se grandes fragmentos constituídos de grânulos irregulares de carbonato (ankerita), debilmente pigmentados por óxidos de ferro, contendo arranjos de inclusões fluídas e dispostos de modo caótico. Às vezes, os grãos possuem as bordas límpidas, devido à alteração para calcita, ou aparecem atravessados por finas vênulas de calcita de granulação fina. Com freqüência, encontram-se recobertos por rosários finos de matéria carbonosa.

Localmente, a matriz ou massa cimentante que empasta as frações clásticas apresenta mudanças na sua composição. Com freqüência, compõe-se de finas palhetas de clorita, tipo pennina, com cores de birrefrigência azul Berlin típicas, às vezes, afetadas por processos de biotitização, de intensidade variável (Fig. 4.3.1 h, i). Estas aparecem agrupadas de modo compacto, ou compondo finos filmes, que contornam os fragmentos, mesmo quando as bordas destes não são claramente definidas. É comum as cloritas se encontrarem recobertas por arranjos de matéria carbonosa e diminutos cristais de turmalina, além da disseminação de minúsculos cristais de rutilo com conteúdo variável. De forma local, pode-se observar sobre as cloritas a disseminação abundante de diminutos cristais de zircão. A presença de sericita é subordinada, encontrando-se disposta entre as escamas de clorita ou

individualizando-se desta e aparecendo em alguns setores como matriz. Em geral, ambos os filo-silicatos se dispõem com marcada orientação entre os fragmentos de rocha e ocasionalmente apresentam evidências de micro-dobramentos.

A mudança principal, observada na matriz, relaciona-se com o desenvolvimento do processo de carbonatização, que substitui as zonas micáceas por agregados granulares de carbonato, freqüentemente acompanhado por massas poligonizadas de quartzo, ambos com granulação média. O carbonato presente nestas zonas é geralmente a calcita.

De maneira isolada, aparecem nesta massa carbonato – quartzosa espaços intersticiais de formas irregulares, ocupados por agregados plagioclásio – quartzosos ou plagioclásicos de granulação muito fina, devido aos processos de recristalização.

Os minerais metálicos compõem cerca de 5-10% da rocha, quando relacionados a estas zonas carbonatizadas e aparecem representados por cristais euhédricos de pirita (Fig. 4.3.1 e), ocasionalmente com pequenas inclusões de calcopirita e ouro (escasso). A presença de pirrotita e arsenopirita pode ser subordinada ou predominante sobre a pirita.

É característico, nestas zonas, o aparecimento de finos "veios", com terminações truncadas, às vezes micro-dobrados (Fig. 4.3.1 j), atravessando irregularmente toda massa mineral e ocupados por ripas de plagioclásio com morfologia e composição similar à dos fragmentos. Isto sugere a não existência de "veios" e sim de fragmentos muito achatados e micro-dobrados, resultado da manifestação do estado plástico alcançado pelos minerais, conseqüência do aquecimento e tensões durante as deformações tectônicas.

Em geral, estes domínios se alternam por meio de contatos lineares, com níveis filo-silicáticos ou quartzo – carbonáticos. Esta alternância geralmente sugere a presença de acamamento e induz a erros graves de interpretação, o que possivelmente pode se evitar a partir dos seguintes fatores, caso seja possivel:

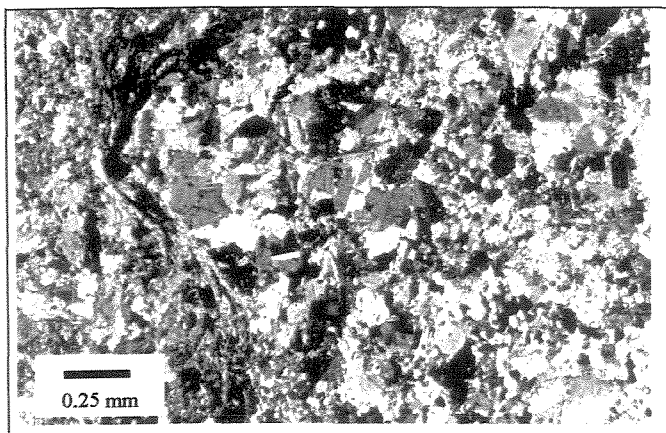
1- Existência de agregados albíticos, apresentando granulação muito fina, na faixa de 0,07-0,3 mm, devido ao intenso processo de recristalização a que estiveram submetidas as rochas e com participação geralmente subordinada de quartzo.

2- A presença esporádica no interior destes agregados e nas zonas menos afetadas pelas deformações tectônicas, de restos irregulares de tabletes de plagioclásio, parcial ou quase totalmente desintegrados pela recristalização, conservando traços da geminação polissintética.

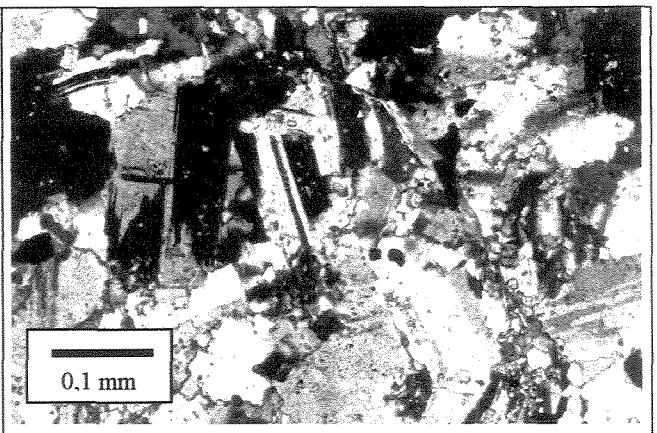
3- O contato relativamente linear entre as zonas albito – quartzosas e filo-silicáticas ou quartzo – carbonáticas, com ausência de matéria carbonosa delimitando o contato entre elas.

4- O fato de não serem observados cisalhamentos das zonas félsicas e clivagem de crenulação nas micáceas.

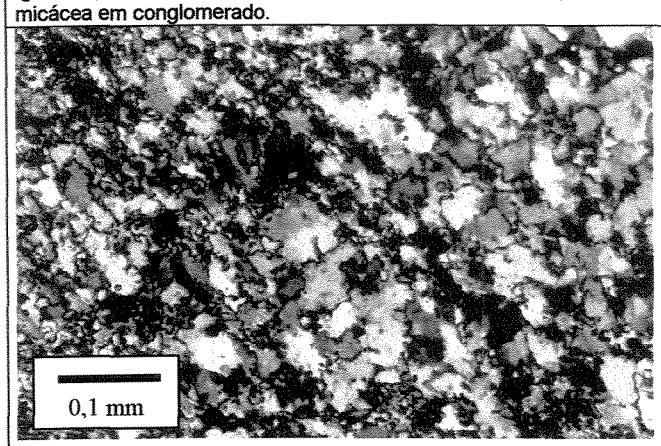
Estes fatores podem às vezes servir como guias para identificar, tanto os lito-tipos, como a possível presença de fragmentos de rochas e minerais nos mesmos.



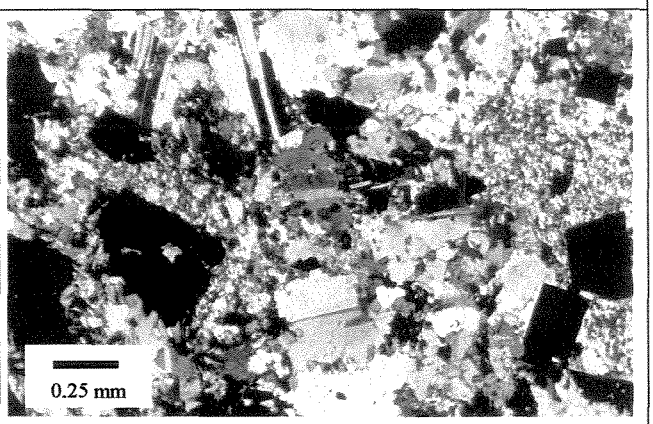
a) 873-11 (2,5x). Fragmentos de rochas apresentado texturas ígneas parcialmente recristalizadas e contorneadas por matriz micácea em conglomerado.



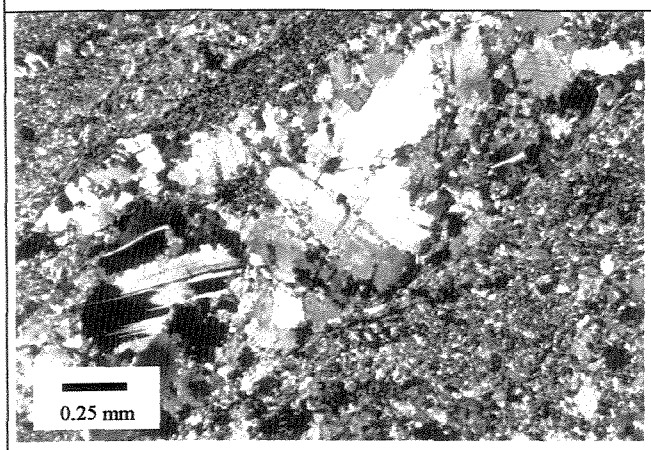
b) 873-11 (10x). Detalhe da foto anterior mostrando disposição caótica de tabletes de oligoclasio.



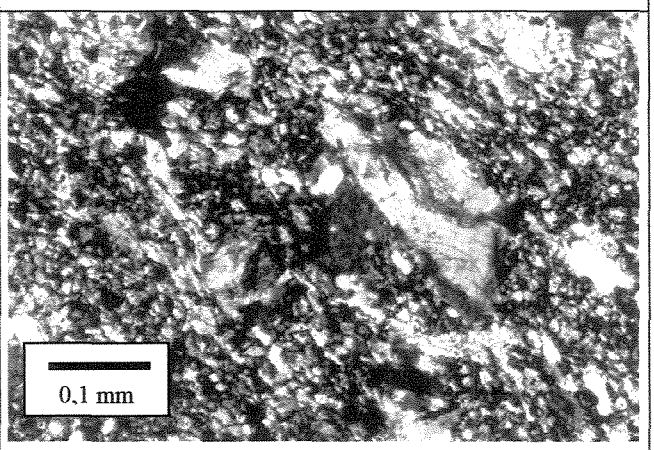
c) 902-5 (10x). Diferentes estados de recristalização de plagioclásio, evidenciando o processo de formação de uma matriz quartzo – albítica.



d) 908-13 (2,5x). Recristalização parcial de plagioclásio em fragmentos ígneos e mineralização piríto - pirrotítica.



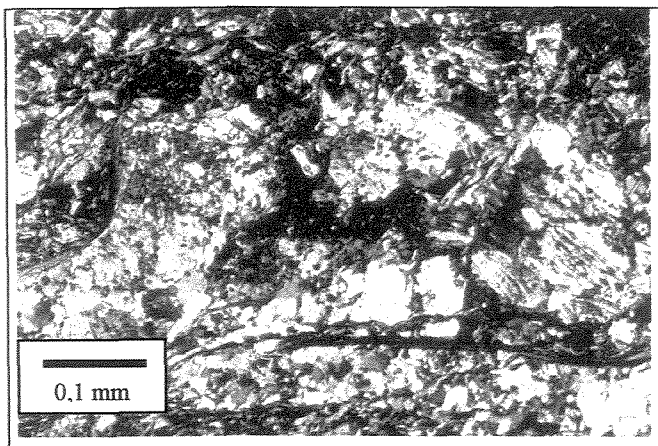
e) 902-2 (2,5x). Litoclastos ígneos fragmentados e carbonatizados, envoltos por uma matriz quartzo- albítica recristalizada e fillitizada.



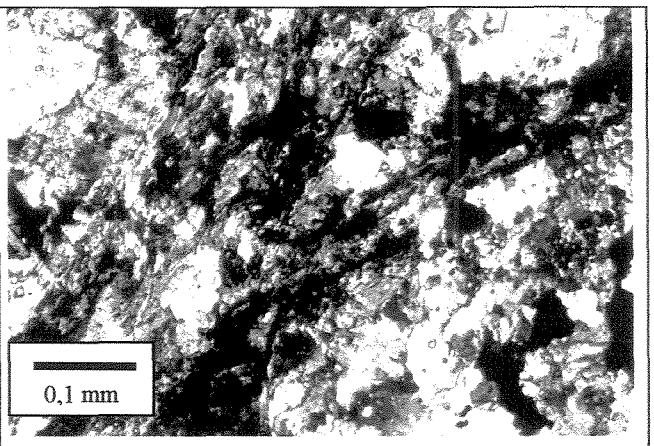
f) 902-2 (10x). Detalhe da matriz com recristalização inconclusa, conservando restos de plagioclásio com inclusões aciculares de rutilo.

Figura 4.3.1 (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de conglomerados na Mina de Morro Velho.

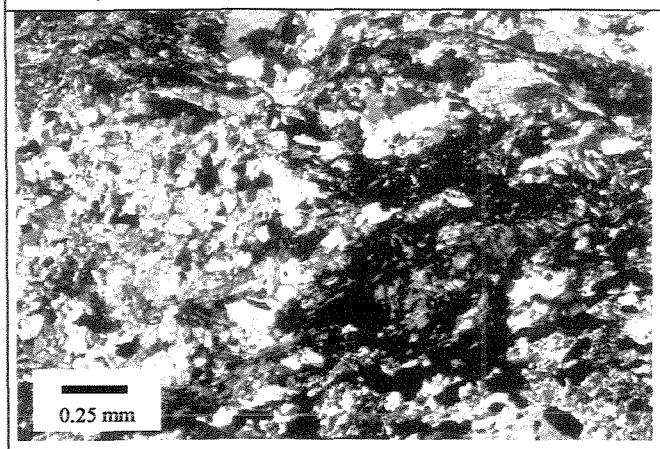
UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE



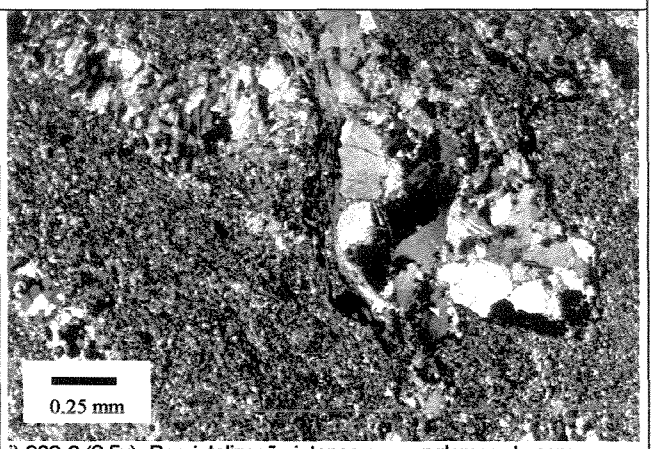
g) 902-12 (10x). Fragmentos de rochas igneas com débil recristalização e fina disseminação rutílica sobre plagioclásio, envoltos por uma matriz clorítica.



h) 873-11 (10x). Biotitização parcial da clorita pennina envolta de fragmentos ígneos.



i) 873-12 (2,5x). Fragmentos de rochas ígneas pouco deformados e afetados por processos de carbonatização e débil recristalização.



j) 902-6 (2,5x). Recristalização intensa em conglomerado com formação de microvénulas ocupadas de plagioclásio.

Continuação da figura 4.3.1 (g, h, i, j)

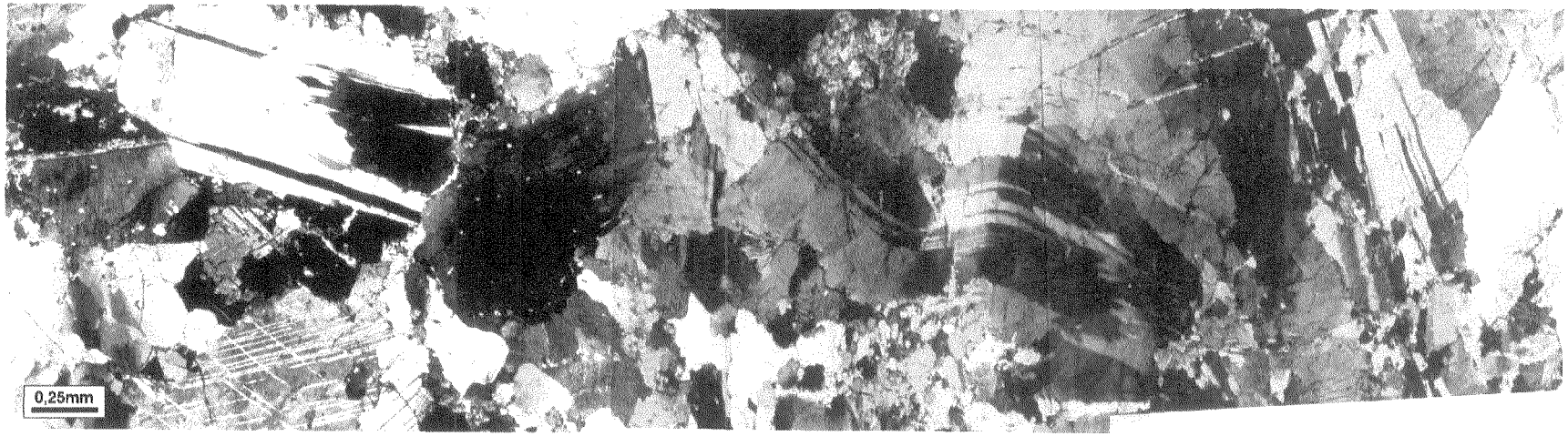


Figura 4.3.1 k. Montagem de microfotografias mostrando parte de um fragmento de rocha plutonica, deformado e carbonatizado

4.3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS CONGLOMERADOS

De modo semelhante aos meta-litoarenitos, a quantidade de amostras representativas dos meta-conglomerados submetidas a análise química, é reduzida. Isto porque, embora este lito-tipo esteja amplamente distribuído na área, representando principalmente as zonas hospedeiras das mineralizações auríferas ou a chamada Lapa Seca, encontra-se afetado de forma intensa, tanto pelas alterações hidrotermais, como pelas mudanças químicas provocadas pelos fluidos mineralizantes. Isto invalida a possibilidade de uso de grande parte das amostras com fins geoquímicos.

Elementos Maiores.

A análise comparativa deste lito-tipo com relação aos filitos e meta-meta-litoarenitos antes descritos, mostra mudanças nas respostas geoquímicas dos diferentes elementos, tanto maiores como traços.

Assim, é claro o menor conteúdo em SiO_2, em geral, inferior a 45%. Os teores de K_2O e P_2O_5 reduzem-se até <0,6 e <0.01% respectivamente, enquanto o MgO é incrementado em até 9.40% (Tabela 4.3 e 4.3 a). Estas mudanças químicas refletem uma tendência máfica predominante na deposição deste tipo litológico, mas deve ter-se em conta uma contribuição félsica, identificada no estudo petrográfico.

Através dos diagramas de Harker, se observa de forma muito difusa a correlação entre os diferentes óxidos. Neste sentido nota-se como os teores da sílica não refletem relação com os valores do CaO, enquanto se observa uma discreta proporcionalidade negativa do MgO com o incremento de SiO_2 (Fig.4.3.2 a, b). Os diagramas envolvendo SiO_2 com Na_2O e K_2O (Fig. 4.3.2 c, d) mostram que, enquanto existe uma proporcionalidade positiva com o Na, as variações nos teores da sílica não manifestam relação com o conteúdo de K_2O, que apresenta valores inferiores a 1%.

Elementos calcófilos e de transição.

Nestes diagramas não existem relações notáveis no comportamento dos elementos V, Zn, Cu e Ni. Observa-se somente uma leve diminuição no conteúdo de Cr em comparação aos filitos.

Elementos de Grande Raio Iônico.

Observa-se, a partir dos diagramas para estes elementos, o decréscimo geral no conteúdo dos mesmos, com relação aos filitos.

Os valores de Ba e Rb mostram uma redução acentuada para valores inferiores a 95 e 17 ppm respectivamente. De forma difusa, observa-se, uma proporcionalidade direta entre Ba e K_2O (Fig. 4.3.4 a), enquanto entre Ba e Rb, assim como entre Rb e K_2O esta proporcionalidade acentua-se levemente (Fig. 4.3.4 b, c).

Em relação ao SiO_2, não se observa proporcionalidade direta de Rb e Sr (Fig. 4.3.4 d, e).

Os teores de Sr diminuem até menos de 30 ppm, com exceção de uma amostra que apresenta o valor anômalo de 141 ppm, concordante com um valor também mais elevado de CaO (Fig. 4.3.4 f). Estes elementos relacionam-se diretamente ao plagioclásio, cujo conteúdo é com freqüência abundante neste lito-tipo.

HFSE – *High Field Strength Element.*

Zr, Y e Nb são caracterizados por teores muito baixos (Tabela 4.3.) com relação aos filitos. Não obstante, observa-se que o comportamento destes elementos em relação a SiO_2, P_2O_5, TiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO é muito semelhante, mantendo uma correlação levemente positiva (Fig. 4.3.5 a, b, c, d, e, f, g, h, i).

O conteúdo baixo nestes elementos, tendo em conta o caráter relativamente mais imóvel dos mesmos, pode ser evidência da maior contribuição máfica. Como antes, devem formar parte das frações acessórias, que seriam mais abundantes nas litologias de composição mais ácida.

Amostra (%)	MBV-67-2	902-2	902.4	902-6
SiO_2	38.39	43.32	37.90	54.25
TiO_2	0.290	0.547	0.478	0.718
Al_2O_3	6.98	12.04	10.53	12.61
Fe_2O_3	4.59	11.42	9.53	8.19
MnO	0.123	0.256	0.223	0.143
MgO	9.34	9.40	8.22	6.35
CaO	13.51	2.29	2.00	1.36
Na_2O	3.78	5.71	4.99	6.37
K_2O	0.07	0.66	0.58	0.5
P_2O_5	0.067	0.046	0.040	0.095
S	0.06	0.23	0.44	0.38
Total	**99.58**	**99.79**	**98.36**	**98.49**
Ba	7	95	29	66
Ce	33	<3	<3	7
Cr	208	267	197	305
Cs	<11	<11	<11	<11
Cu	28.3	16.0	38	19
Ga	10.2	20	13.2	18.1
La	10	<4	<4	<4
Nb	3.7	6.9	5.2	7.4
Nd	19	10	9	<8
Ni	51	160	122	108
Pb	5.7	3.2	3.7	4.7
Rb	2.6	17.9	7.6	11.2
Sc	15	24	23	12
Sn	<3	<3	<3	<3
Sr	141	32	30	20
Th	3.2	5.1	<1.5	5.8
U	<2	3.0	3.4	4
V	99	152	92	145
Y	7.8	14.6	10	19.7
Zn	5.3	14.7	13	8.1
Zr	51	73	56	92
IMAT	84.62	78.25	78.26	81.13
$Si_2O_3+Al_2O_3$	45.37	55.36	48.43	66.86

Tabela 4.3. Análises químicas novas em rocha total, dos elementos maiores (% em peso) e traços (ppm) de meta-conglomerados. IMAT = Índice de Maturidade Sedimentar (Jost *et al.*,1996). A cor dos símbolos (parte superior da tabela) são as chaves para discernimento das amostras nos gráficos a seguir.

Amostra	Minerais Principais	Minerais Acessórios	Minerais Opacos
MBV-67-2	Cc + Pl (Ol – Ab) + Q, >Cl + Ms	Rt	Po + Asp
902-2	Q + Pl (Ab) + Ser + Cc	Rt + Tr	Pó + Asp + Cp
902-4	Cc + Pl (Ol –Ab) + Q + Ser	Rt + Zr	Asp + Po + Cp
902-6	Q + Pl (Ol – Ab) + Cc, >Ser + Cl +Bi	Rt + Tr + Zr + Ep	Asp + Po + Cp

Tabela 4.3. Composição mineral dos meta-conglomerados da Mina de Morro Velho. Q= Quartzo; Pl = Plagioclásio; Ol = Oligoclásio; Ab = Albita; Cc = Carbonato; Ser = Sericita; Cl = Clorita; Fs = Fucsita; Bi = Biotita; Rt Rutilo; Zr = Zircão; Ap = Apatita; Tr = Turmalina; Ep = Epidoto; Py = Pirita; Po = Pirrotita; Asp = Arsenopirita; Cp = Calcopirita.

ELEMENTOS MAIORES.

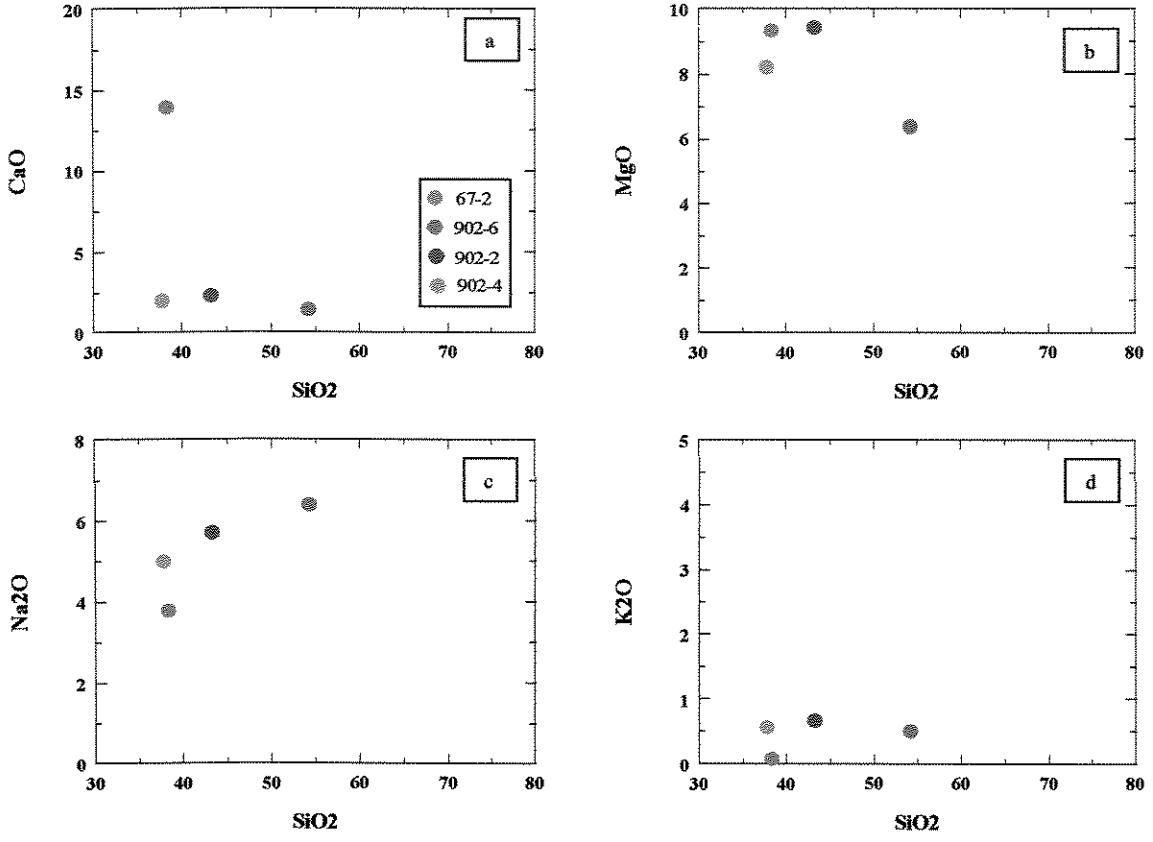


Figura 4.3.2 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO2 vs alguns elementos maiores correspondentes às amostras de conglomerados.

ELEMENTOS CALCÓFILOS E DE TRANSIÇÃO.

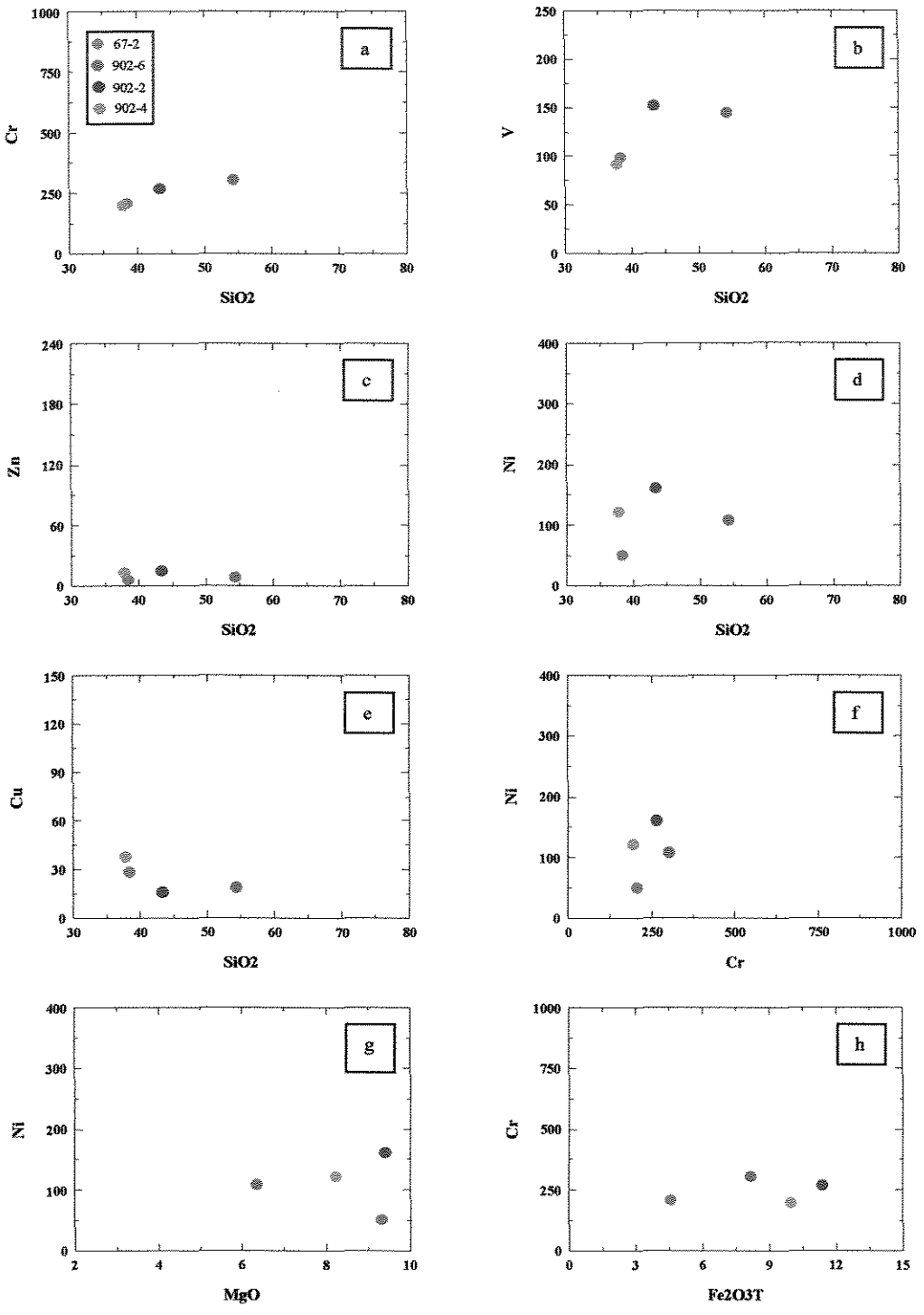


Figura 4.3.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2 vs Cr, V, Zn, Ni, Cu; Cr vs Ni; MgO vs Ni; Fe_2O_3 vs Cr.

ELEMENTOS DE GRANDE RAIO IÔNICO (LILE –*Large Ion lithofile elements*).

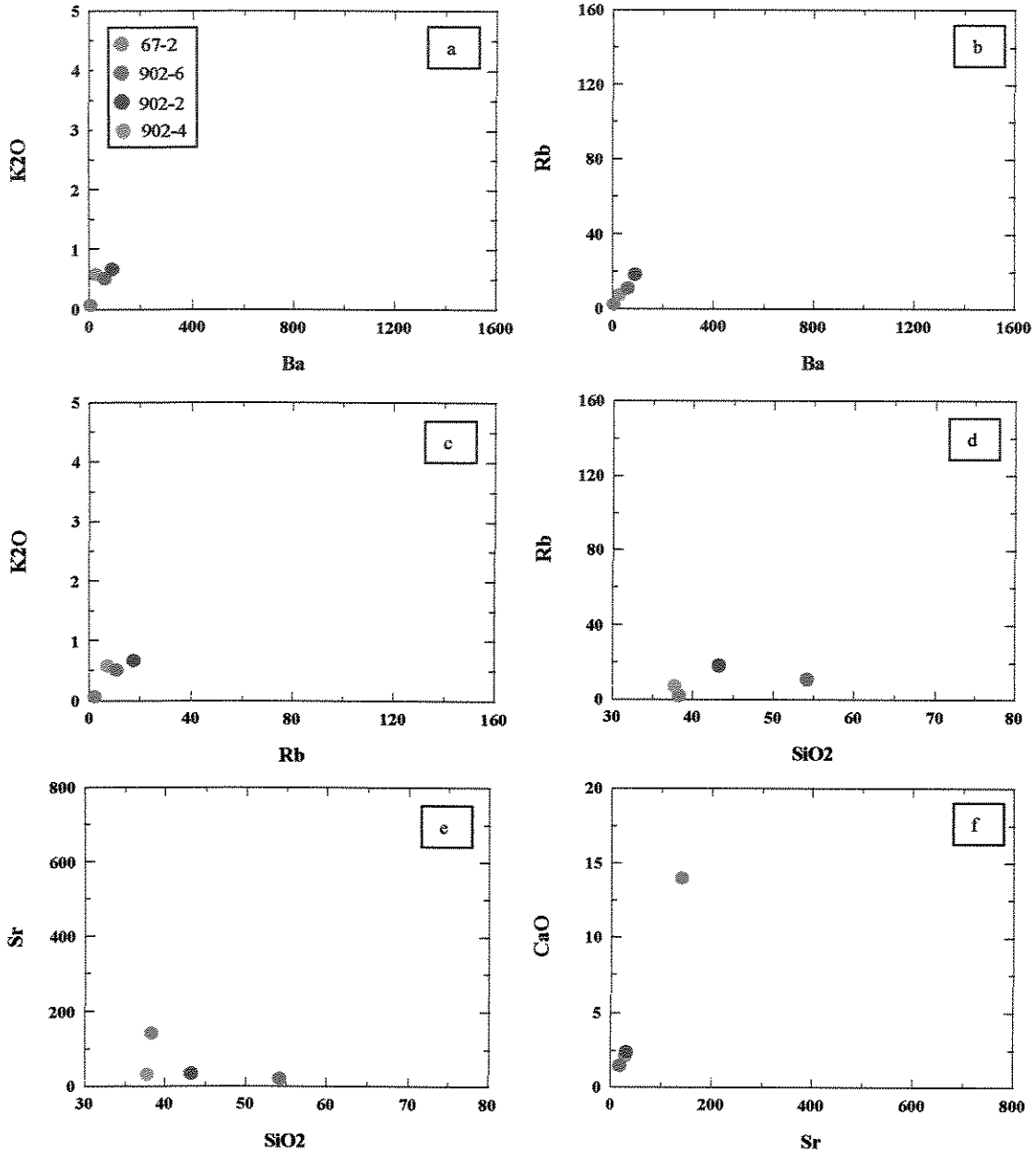


Figura 4.3.4 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo SiO2 vs Ba, Rb e Sr.

UNICAMP

HFSE –*High Field Strength Elements.*

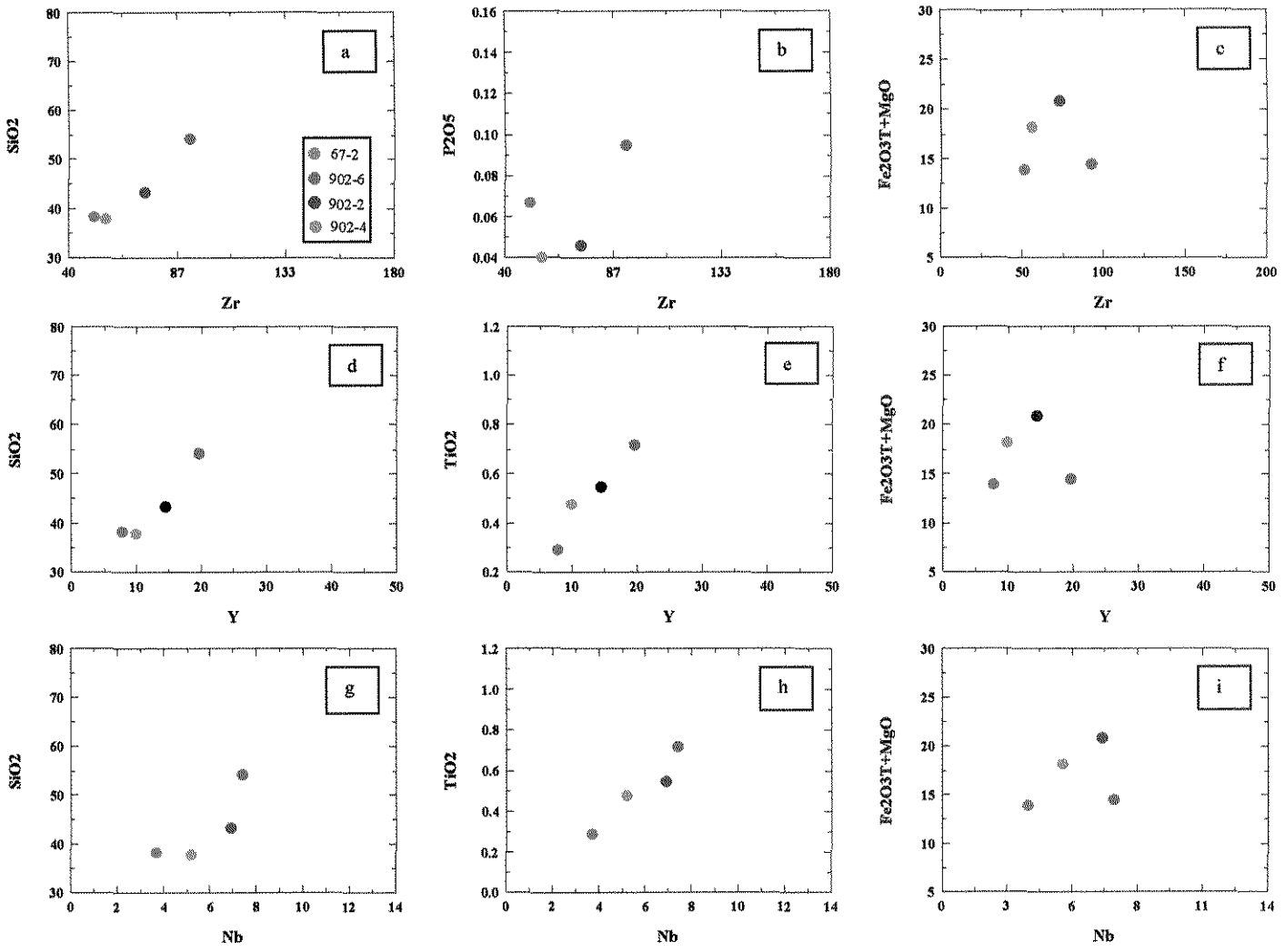


Figura 4.3.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO2, TiO2 e Fe2O3(T) + MgO versus Zr, Y e

Capítulo V. ESTUDO GEOQUÍMICO.

5.1. ELEMENTOS MAIORES.

O estudo em detalhe da composição química e mineralógica de rochas sedimentares, assim como das características texturais das mesmas estão sendo executadas na atualidade através de novas técnicas petrográficas e geoquímicas. Isto faz da petrografia e da geoquímica duas ferramentas muito importantes na análise de procedência de sedimentos (Bathia & Crook,1986).

Estudos geoquímicos de rochas clásticas sedimentares usando elementos maiores, traços e terras raras, fornecem informações importantes para o entendimento da composição química da crosta superior.

A interpretação geoquímica das mineralizações metálicas, e principalmente a mineralização de ouro, nas seqüências turbidíticas arqueanas do Quadrilátero Ferrífero servem para: i) esclarecer as condições de deposição do minério, ii) identificar as características químicas das litologias e dos fluídos envolvidos neste processo, que foram responsáveis pelo enriquecimento em ouro gerando os diversos depósitos.

As Unidades Sedimentares do Grupo Nova Lima apresentam uma variabilidade muito ampla nas concentrações de elementos maiores e traços, como resultado dos diferentes processos a que estiveram submetidas. Estes processos obliteraram parcial, ou totalmente, as características petroquímicas dos lito-tipos envolvidos. A Mina de Morro Velho (Mina Velha) é o exemplo destas variabilidades.

Mediante o estudo petrográfico foram distinguidos os principais lito-tipos presentes na área, enquanto o estudo geoquímico permitiu observar como: i) as assinaturas químicas dos processos atuantes se refletem de forma acentuada nas características composicionais de cada grupo de rochas; ii) dentro de cada grupo as características químicas às vezes manifestam alguma variação.

É comum encontrar em cada grupo ou lito-tipo estudado alguma amostra que apresenta características petrográficas que definem sua pertinência a um tipo litológico e, no entanto, quimicamente, aparece isolada devido ao teor anômalo em algum elemento. É o caso da amostra 67-2 (círculo azul), da Fig. 5.1 a, a qual apresenta um índice de maturidade anômalo com relação a outras amostras do mesmo lito-tipo (meta-conglomerados). Da mesma forma, na Fig. 5.1 c, a amostra 66-6 (círculo

semipreenchido, cor cinza) mostra um valor baixo de SiO_2, com teor elevado de CaO, sendo definida a partir do estudo petrográfico como um meta-litoarenito.

Tendo como base os dados de Guitarrari, 1999 (Tabela 5.1) e para efeito de comparação com os resultados geoquímicos obtidos através deste estudo (Tabela 5.2), observa-se que não há uma boa correlação química entre os elementos maiores e traços.

Embora os limites de variação dos elementos maiores e dos elementos traços, apresentados neste trabalho, mostrem visíveis diferenças com os apresentados pelo autor supracitado, os mesmos permitem posicionar os diferentes lito-tipos da Mina de Morro Velho como pertencentes às meta-grauvacas tipo II do Grupo Nova Lima (Guitarrari, 1999).

Assim, enquanto os valores de SiO_2 nas meta-grauvacas Tipo II do Grupo Nova Lima e nos lito-tipos analisados em Morro Velho encontram-se em limites inferiores a 67,68%, para o Tipo I, do Grupo Nova Lima e o Grupo Sabará (GS), os valores variam entre 67,0 - 85,5%.

Outro oxido que permite fazer este tipo de discriminação é o MgO. Enquanto o Tipo I e o GS situam-se em limites de 0,21-2,45%, o Tipo II do Grupo Nova Lima, conjuntamente com as amostras estudadas em Morro Velho apresentam valores limites de 2,24 ate 9,40%.

O comportamento de outros óxidos de elementos maiores e elementos traços, que podem servir como indicadores para esta distinção constam da Tabela 5.3.

	TIPO I	TIPO II	GS
SiO_2	67,0-85,5	63,4-66,4	71,4-85,1
TiO_2	0,30-0,71	0,74-0,98	0,52-0,80
Al_2O_3	7,44-15,30	11,88-17,80	6,60-11,79
Fe_2O_3	2,43-5,97	1,17-10,66	5,24-6,02
MgO	0,97-2,37	4,00-6,07	0,21-2,45
CaO	0,10-2,28	0,03-2,59	0.08-2,92
Na_2O	0,04-5,94	1,00-2,50	0,02-3,82
K_2O	1,20-3,21	0,80-4,85	0,39-2,26
P_2O_5	0,03-0,25	0,04-0,13	0,02-0,09
Cr	90-189	474-936	115-207
Ni	26-76	237-370	24-550
V	41-113	144-189	84-117
Co	4-22	35-57	13-42
Sc	5,8-10,8	18,6-28,0	Cte
Ba	356-1514	152-1053	156-913
Rb	33-73	23-159	11-34
Sr	17-523	26-114	17-175
Y	12-17	20-144	15-21
Nb	5-7	6-8	5-11
Zr	100-154	89-135	106-174
Ta	0,31-0,77	0,30-0,60	Cte
Hf	2,36-3,15	3,37-3,90	Cte
Cu	10-45	56-92	8-26
Zn	35-118	130-229	12-91
Th	3,70-8,20	3,28-6,80	n.d
U	1,46-3,11	1,00-2,11	n.d

Tabela 5.1. Variação da composição química dos elementos maiores (%) e traços (ppm) das meta-grauvacas dos tipos I e II do Grupo Nova Lima e Grupo Sabará (GS), sendo que os elementos maiores foram recalculados a sêco. n.d. – não determinado e Cte – constante. Dissertação de mestrado, Guitarrari, 1999.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

	FILITOS	LITOARENITOS	META-CONGLOMERADOS
SiO2	45.18 – 62.14	44.37 – 67.68	37.90 – 54.25
TiO2	0.510 – 0.775	0.50 – 0.68	0.290 – 0.718
Al2O3	10.57 – 16.30	11.35 – 14.95	6.98 – 12.61
Fe2O3	5.39 – 10.33	3.60 – 11.2	4.59 – 11.42
MnO	0.078 – 0.24	0.08 – 0.20	0.123 – 0.256
MgO	2.24 – 8.50	4.5 – 6.22	6.35 – 9.40
Cao	1.74 – 7.76	0.5 – 10.84	1.36 – 13.51
Na2O	1.63 – 6.46	1.16 – 4.04	3.78 – 6.37
K2O	0.77 – 3.01	1.25 – 2.1	0.07 – 0.66
P2O5	0.099 – 146	0.09 – 0.130	0.04 – 0.1
S	0.05 – 0.72	0.02 – 0.18	0.06 – 0.44
Cr	216 – 570	180 – 511	197 – 305
Ni	64 – 332	71 – 253	51 – 160
V	120 – 179	103 – 145	92 – 152
Sc	8 – 24	8 – 19	12 – 24
Ba	91 – 898	206 – 827	7 – 95
Rb	24.1 – 70	36 – 54	2.6 – 17.2
Sr	33 – 96	16.2 – 110	20 – 141
Y	10.2 – 22	10.9 – 20.4	7.8 – 19.7
Nb	4.9 – 9.7	5.1 – 9.2	3.7 – 7.4
Zr	78 – 132	96 – 173	51 – 92
Cu	10.3 – 43	8.4 – 41	16 – 38
Zn	6.8 – 91	7.3 – 95	5.3 – 14.7
Th	3.5 – 6.5	3.1 – 6.1	<1.5 – 5.8
U	<2 – 4.7	<2 – 3.9	<2 – 4
Ce	12.9 – 41	5 – 59	<3 – 33
Cs	<11	<11	<11
Ga	15.7 – 20.5	15.1 – 19.4	10.2 – 20
La	7.9 – 23	5.0 – 18	<4 – 10
Nd	<8 – 28	<8 – 28	<8 – 19
Pb	1.9 – 6.8	2.2 – 11.4	3.2 – 5.7
Sn	<3 – 10	<3 – 5	<3
IAQ	49.38 – 73.51	41.51 – 73.63	28.67 – 60.51
IMAT	77.26 – 85.19	78.98 – 85.64	78.25 – 84.62
SiO2 + Al2O3	58.28 – 75.91	56.01 – 79.03	45.37 – 66.86
Na2O/K2O	0.93 – 7.79	0.68 – 3.24	5.4 – 12.74
Al2O3/Na2O	2.32 – 8.02	2.94 – 9.77	1.84 – 2.11
SiO2/MgO	5.31 – 27.7	7.14 – 21.43	4.22 – 8.54
Cr/Ni	1.62 – 3.38	2.01 – 4.96	1.61 – 4.08
Cu/Zn	0.37 – 5.44	0.43 – 3.3	1.09 – 5.34
Zr/Cr	0.21 – 0.39	0.26 – 0.69	0.25 – 0.30
Zr/Y	5.45 – 12.9	6.62 – 12.75	4.67 – 6.53

Tabela 5.2. Variação da composição química dos diferentes tipos litológicos estudados na Mina de Morro Velho através deste trabalho, para Elementos Maiores; Elementos Traços; IAQ (Índice de Alteração Química; = 100x[$Al_2O_3/Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O$], Nesbitt & Young, 1982) ; IMAT – Indice de Maturidade Sedimentar = 100x[$SiO_2/(SiO_2+Al_2O_3)$], Jost *et al.*, 1996). A tabela também apresenta razões entre alguns elementos maiores e traços usados nos diferentes diagramas.

	Limite de Variação de Óxidos de alguns Elementos Maiores e Elementos Traços		
	Tipo I Gr.N.Lima- Gr. Sabará	Tipo II Gr. N. Lima	A. M. Velho
SiO_2 (%)	67,0 - 85,5	63,4 - 66,4	37,90 - 67,68
MgO (%)	0,21 - 2,45	2,24 - 9,40	4,00 - 6,07
$Fe_2O_{3\,(total)}$ (%)	2,43 - 6,02	3,60 - 11,42	1,17 - 10,66
Cr (ppm)	90,0 - 207	474 - 936	180 - 570
Ni (ppm)	24 - 550	237 - 370	51 - 332
V (ppm)	41 - 117	144 - 189	92 - 179

Tabela **5.3.** Dados comparativos da composição química de alguns elementos maiores (%) e traços (ppm) das rochas meta-sedimentares segundo Guitarrari, 1999 (Tipo I Grupo Nova Lima, Grupo Sabará e Tipo II Grupo Nova Lima) e das amostras estudadas neste trabalho (Amostras de Morro Velho).

Observa-se uma correlação levemente positiva entre o índice de maturidade e o conteúdo de SiO_2 (Fig. 5.1 a). Este parâmetro permitiu confirmar parcialmente a distinção dos três lito-tipos estudados mediante a análise petrográfica na Mina de Morro Velho, principalmente entre meta-litoarenitos e meta-conglomerados. Neste caso, os meta-litoarenitos, enriquecidos principalmente em quartzo, apresentam os maiores valores deste indicador, enquanto os meta-conglomerados, com comportamento mais básico, mostram valores inferiores. Os filitos mantém uma posição intermediária, geralmente mais próxima dos meta-conglomerados com maior IMAT.

O comportamento dos tipos litológico, em relação ao Fe2O3, não manifesta dependência alguma do conteúdo em SiO_2 (Fig. 5.1 b). Esta escassa relação se evidencia também com o CaO (Fig. 5.1 c).

Os valores de MgO e Na_2O são mais elevados no caso dos meta-conglomerados, em relação dos outros lito-tipos presentes na área. Mostram uma proporcionalidade negativa, que se reflete através dos diagramas envolvendo SiO_2 com MgO e Na_2O (Fig. 5.1 d, e).

Nos meta-conglomerados, os teores altos de Mg, em conjunto com os valores altos de Fe, se explicam a partir da contribuição de áreas - fonte de composição intermediaria a básica provendo minerais ferro – magnesianos, enquanto os teores altos em Na_2O seriam resposta aos intensos processos de

albitização do plagioclásio, que se constitui na principal fração litoclástica deste tipo litológico.

Os meta-litoarenitos apresentam, relativamente, os maiores valores de SiO_2 e os menores teores de MgO. Isto se justifica pela contribuição félsica, vulcânica principalmente, em quartzo detrítico, observada no estudo petrográfico. Não obstante, a contribuição máfica foi também importante, indicada pelos teores de MgO e Fe_2O_3.

Observa-se, ainda, uma certa proporcionalidade positiva entre SiO_2 e K_2O (Fig. 5.1 f), sendo que nos meta-conglomerados os teores deste último óxido são notavelmente baixos (<0.7 %).

A distinção entre os tipos de rochas encontrados na Mina de Morro Velho pode ser estabelecida pelo conteúdo de material silicoso e de maneira bem definida através dos teores de MgO e K_2O. Na tabela 5.2 se observa que enquanto o valor máximo de MgO para litoarenitos não ultrapassa 6.22%, para meta-conglomerados o valor mínimo é de 6,35%. Da mesma forma, o teor máximo de K_2O para meta-conglomerados é de 0.66%, enquanto para meta-litoarenitos o valor mínimo é de 1.25%. Os filitos em geral ocupam uma posição intermediaria entre ambos os tipos.

Desta forma, através dos elementos maiores pode-se concluir que na deposição dos lito-tipos presentes no contexto de Nova Lima houve a participação de áreas fontes mistas de composição principalmente máfica, além de uma contribuição importante de rochas vulcânicas ácidas nos meta-litoarenitos.

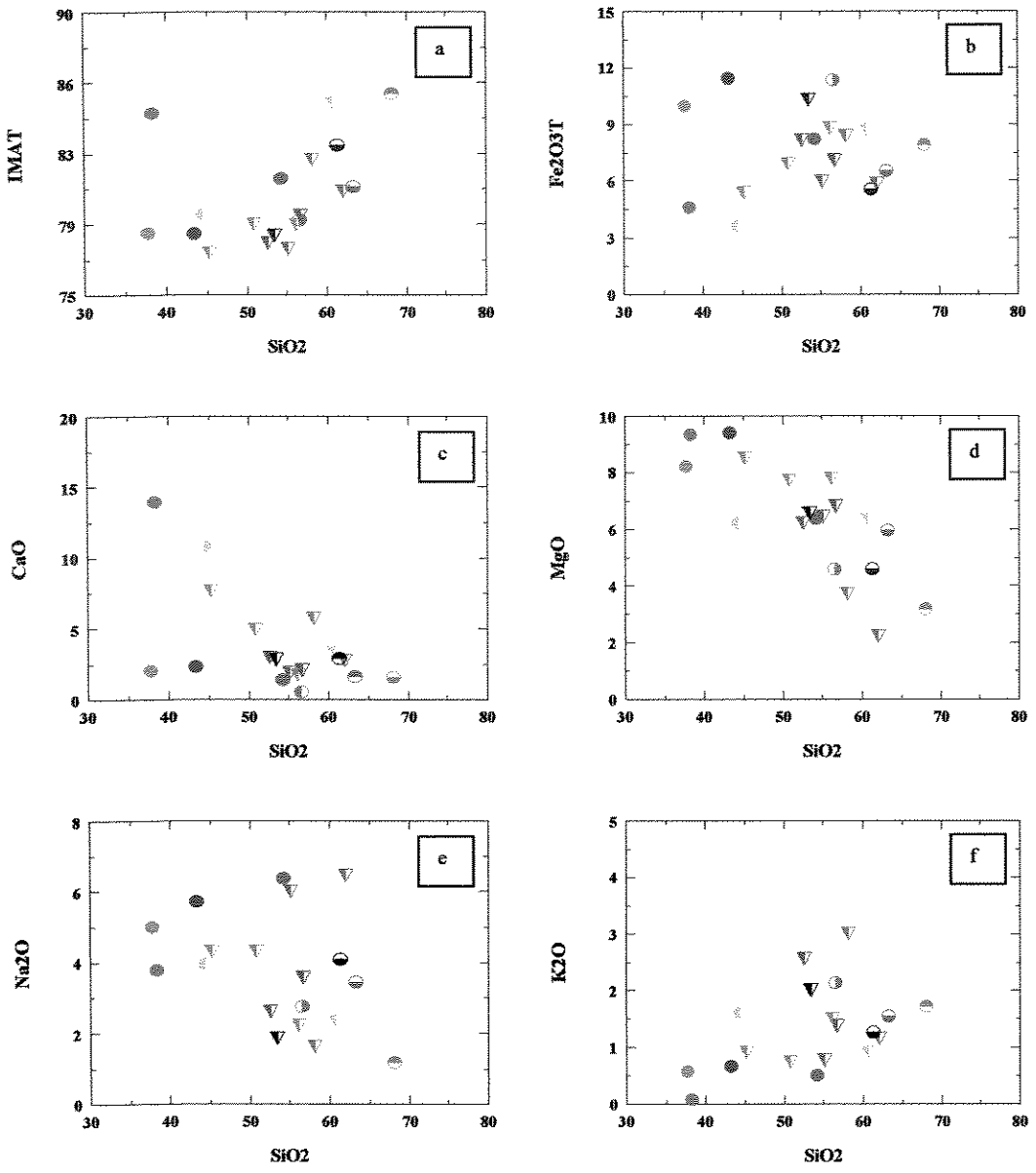


Figura 5.1 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker de SiO_2 versus alguns elementos maiores (adaptado de Blatt *et al.*, 1980) correspondendo aos diferentes lito-tipos estudados neste trabalho para a Mina de Morro Velho, Grupo Nova Lima. ▼ - Filitos; ◓ - Litoarenitos; ● - Metaconglomerados.

5.2. Elementos calcófilos e de transição.

Estas rochas, independentemente do lito-tipo, são abundantes em Cr (180 – 570 ppm), Ni (51 – 332 ppm) e V (92 – 179 ppm) e se caracterizam por teores muito baixos de Cu (<43 ppm) e de Zn em limites de 5.3 a 31 ppm (com valores anômalos de ate 95 em amostras de filitos e meta-litoarenitos).

Analisando os diagramas de Harker relacionando SiO_2 com Cr e Ni (Fig. 5.2 a, b) nota-se que os campos de posicionamento dos meta-conglomerados e meta-litoarenitos não apresentam uma distinção bem definida, mesmo sendo os teores de Cr dos últimos relativamente superiores, o que reforça a idéia do aporte máfico para ambos os lito-tipos.

A correlação entre Cr e Ni (Fig. 5.2 c) é positiva, mesmo existindo uma superposição dos campos de todos os grupos litológicos analisados neste trabalho.

A separação em campos se manifesta mais claramente através do diagrama MgO *vs* Ni, mediante o qual o teor limite entre meta-conglomerados e litoarenitos está marcado pelo valor de 6% de MgO, sendo que os filitos com conteúdos de Ni superiores superpõem-se do ponto de vista do magnésio aos campos das outras litologias (Fig. 5.2 d).

Os diagramas de Haker, relacionando Fe_2O_3 *vs* Cr, e SiO_2 *vs* V, Zn e Cu (Fig. 5.2 e, f, g, h), não mostram uma relação direta entre elementos, o que não permite uma interpretação conseqüente dos dados.

Observa-se que, em geral, os teores dos elementos de transição e calcófilos, principalmente V, Zn, Cu (incluindo o Ni), nos diferentes lito-tipos não se encontram condicionados pelo conteúdo de SiO_2, mesmo que os filitos apresentem discretos incrementos em Ni e V em algumas amostras.

Os valores relativamente altos de Cr, Ni e V evidenciam a contribuição de minerais ferro – magnesianos em quantidades importantes para todos os tipos litológicos, mas deve-se salientar que no caso dos meta-conglomerados, tendo em conta os teores baixos de SiO_2 (38.39 – 54.25) e máximos de MgO e Fe_2O_3, os conteúdos de Cr, Ni e V deveriam ter valores mais elevados com relação a litoarenitos e filitos, o que não ocorre. Uma interpretação poderia ser dada com base no estudo petrográfico, mediante o qual observou-se a participação de material litoclástico com texturas ígneas (plutônicas) e composição mineral com plagioclásio (cálcico) predominantemente, afetado por intensos processos de albitização. Nesta fração clástica, a presença de minerais máficos é nula, pois foram substituídos durante os processos de alteração.

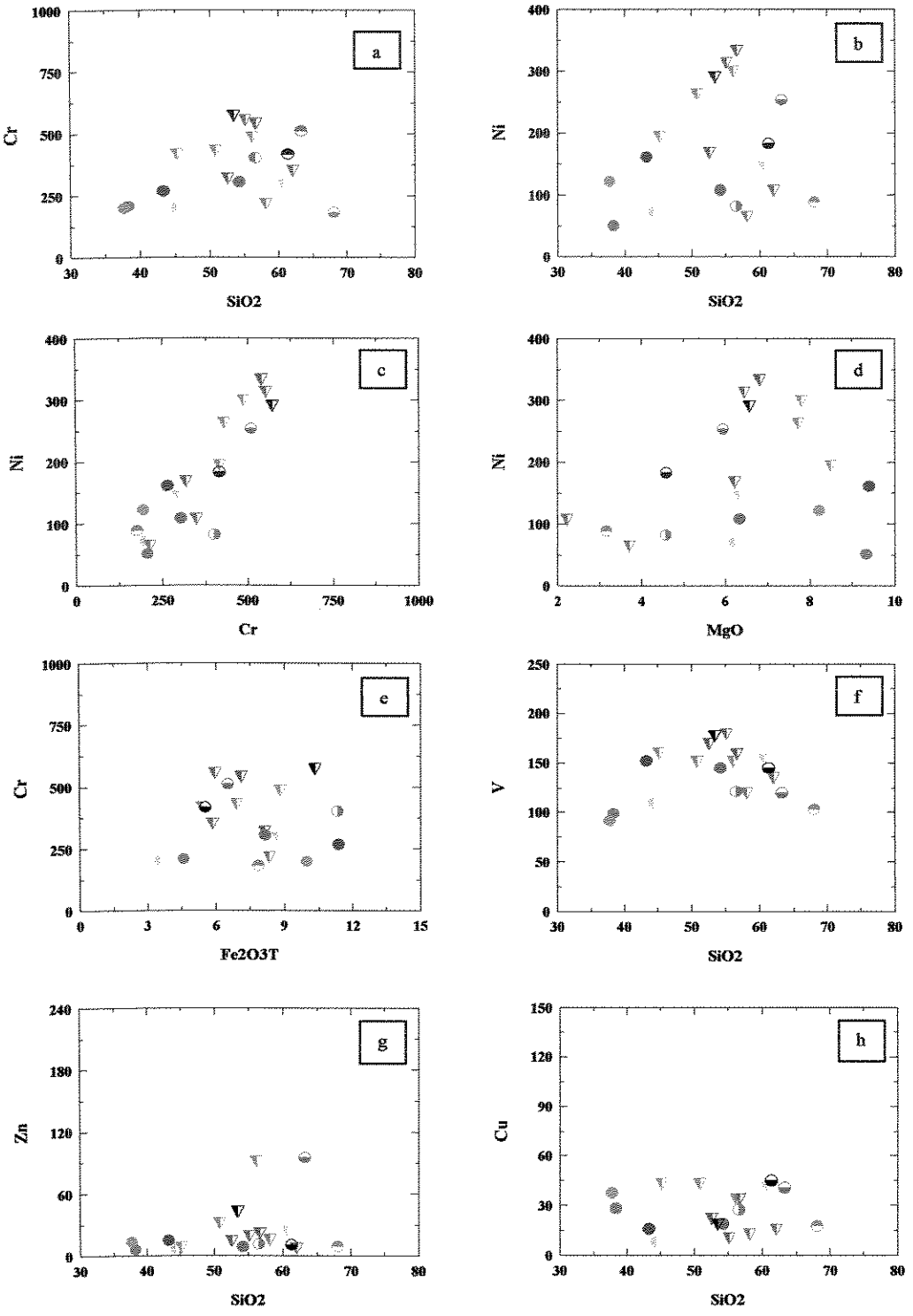


Figura 5.2, (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker para SiO_2 vs Cr, V, Zn, Cu; MgO vs Ni; Fe_2O_3 vs Cr. ▼ - Filitos; ◓ - Litoarenitos; ● - Meta-conglomerados.

Analisando os diagramas de Harker de Cr+Ni *vs* Al_2O_3 e Cr+Ni *vs* Fe_2O_3+MgO (Fig. 5.3 a, b) observa-se que enquanto os meta-conglomerados, em termos de Cr+Ni, apresentam valores inferiores de 450 ppm, o campo de variação dos litoarenitos encontra-se entre valores mais amplos, de 260-780 ppm.

A soma dos óxidos de Al_2O_3 e K_2O (Fig. 5.3, a), provocam o agrupamento dos meta-conglomerados na extremidade esquerda inferior deste diagrama. Os litoarenitos devido aos teores similares de alumina, mas com valores maiores de K, posicionam-se acima dos meta-conglomerados.

A soma dos óxidos de Fe e Mg (Fig. 5.3, b) evidencia uma correlação menos acentuada. Não obstante observa-se uma leve tendência (e de forma inversa ao caso anterior) do grupo dos litoarenitos a se situar na parte inferior do diagrama.

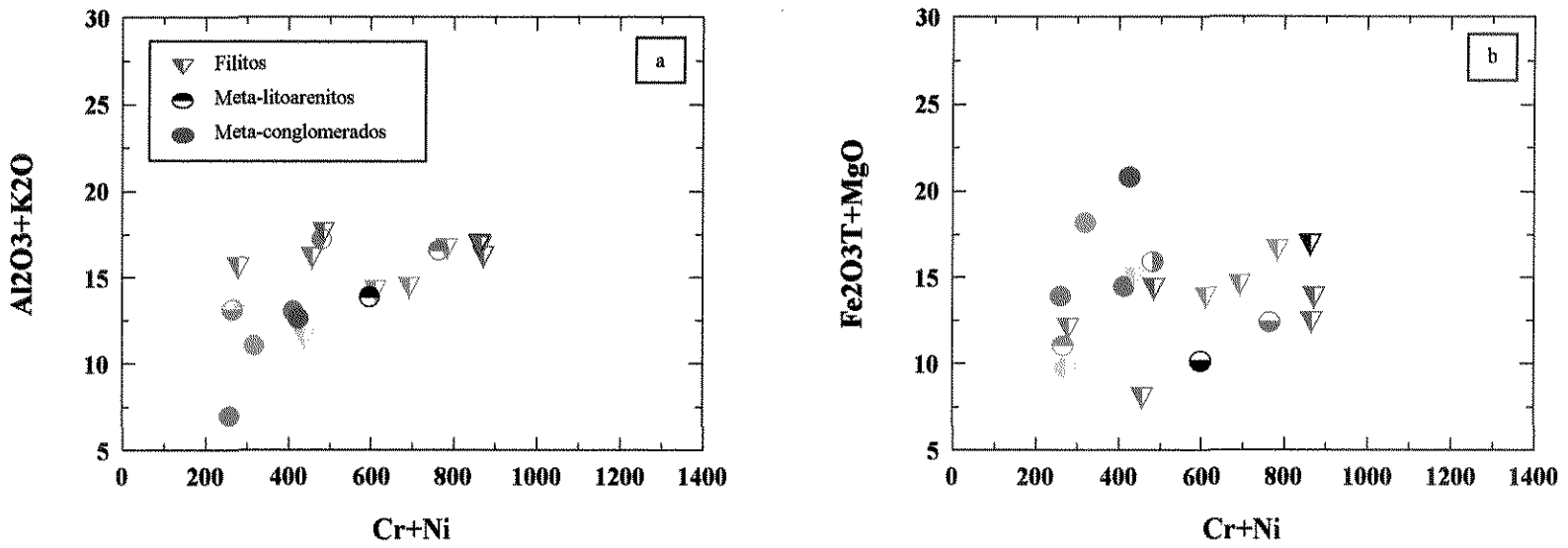


Figura 5.3 (a, b). Digramas de Harker envolvendo Cr + Ni *versus* Al_2O_3 + K_2O e Fe_2O_3 + MgO.

5.3. ELEMENTOS DE GRANDE RAIO IÓNICO – *Large Ion Lithofile elements.*

Os elementos de grande raio iônico nos diferentes lito-tipos estudados apresentam teores muito baixos (Tabela 5.2). Desta forma, observa-se que enquanto as variações em Sr para filitos oscilam em limites de 33 a 97 ppm, para meta-litoarenitos e meta-conglomerados tais variações são de 16.2 a 68 ppm e de 20 a 32 ppm respectivamente (com valores anômalos de 110 e 141 ppm no caso das amostras 932-10 e 67-2).

Os teores, muito baixos, de Ba (<95 ppm) distinguem os meta-conglomerados dos outros lito-tipos, que apresentam geralmente valores superiores a 100 ppm e até 898 ppm.

Esta mesma relação se observa em relação ao Rb. Enquanto o conteúdo neste elemento nos meta-conglomerados não ultrapassa 17.9 ppm, em filitos os valores de Rb oscilam entre 24 e 81 ppm e em meta-litoarenitos, entre 36 a 54 ppm.

Nos diagramas de Harker nota-se que o comportamento de Rb e Ba em relação ao K_2O é muito característico (Fig. 5.4 a, b), evidenciando de forma acentuada uma correlação positiva destes elementos para todos os tipos litológicos, mas mostrando os valores mínimos para meta-conglomerados.

Embora observe-se certa proporcionalidade positiva dos elementos no diagrama Ba *vs* Rb (Fig. 5.4 c), esta se manifesta de forma acentuada no caso dos conglomerados, entanto para os lito-tipos restantes os campos de delimitação se encontram levemente superpostos.

Desta forma, os conteúdos relativamente altos de K_2O, Rb e Ba indicam a contribuição de material de natureza félsica, principalmente para os meta-litoarenitos e possivelmente para filitos, os quais, devido à sua composição mais rica em minerais aluminosos (K- mica e clorita), podem ainda ter assimilado contribuições químicas através das alterações hidrotermais.

Segundo o diagrama envolvendo SiO_2 e Rb (Fig. 5.4 d) nota-se que os campos que delimitam os meta-conglomerados dos meta-litoarenitos se definem

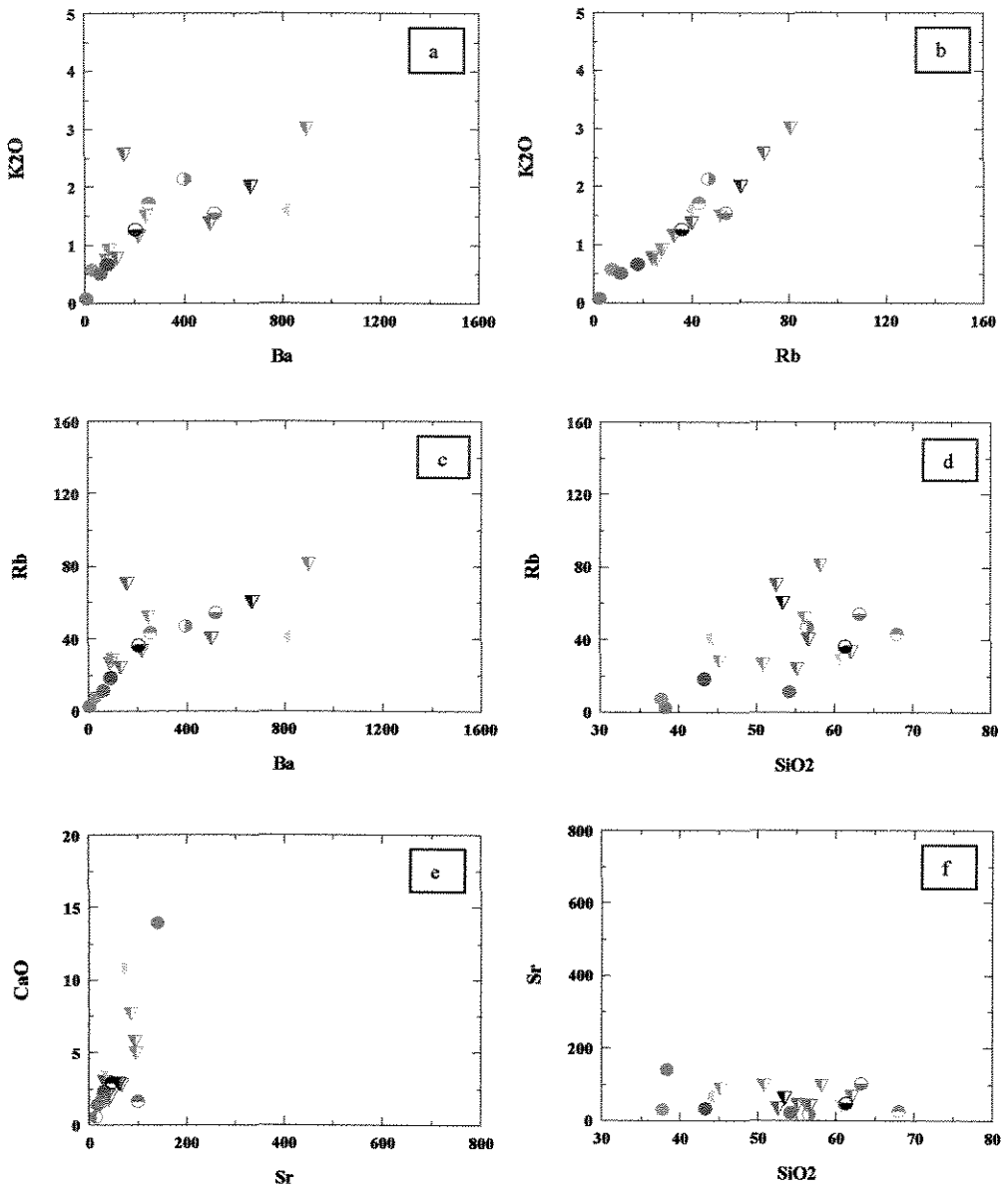


Figura 5.4, a, b, c, d, e, f. Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr. ▼ - Filitos; ◓ - Litoarenitos; ● - Meta-conglomerados

5.4. HFSE – *High Field Strength Elements*

A característica principal dos elementos HFSE são os teores baixos. É possível verificar, no caso do Zr e do Nb, que existem certas distinções que permitem a identificação dos lito-tipos presentes no depósito de Morro Velho.

Enquanto para os meta-conglomerados os valores de Zr não ultrapassam 92 ppm, filitos e meta-litoarenitos apresentam conteúdos que oscilam entre 100 e 173 ppm (Tabela 5.2). Isto indica o aumento, tanto do zircão, como da contribuição clástica de composição félsica nestes últimos lito-tipos.

Os diagramas de Harker mostram que, enquanto os meta-conglomerados posicionam-se na parte inferior esquerda dos mesmos, salientando uma proporcionalidade direta do Zr com SiO_2 e discretamente positiva com o P_2O_5, os campos de filitos e de meta-litoarenitos superpõem-se (Fig. 5.5 a, b). Não há correlação visível, dos diferentes lito-tipos no caso do diagrama envolvendo Zr com $Fe_2O_{3(total)}$+ MgO (Fig. 5.5 c).

Não obstante os conteúdos reduzidos de Y, a valores inferiores a 21.3 ppm para todas as amostras, observa-se uma correlação positiva muito discreta através do diagrama Y *vs* TiO_2 (Fig. 5.5 e), que se manifesta de forma mais clara a partir dos dados na tabela 5.2. Os diagramas envolvendo Y *versus* SiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO (Fig. 5.5 d, f) não permitem estabelecer correlações com precisão.

Existe uma discreta semelhança quanto aos comportamentos de Nb, SiO_2, TiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$+MgO com relação ao comportamento apresentado pelo Zr nos diagramas de Harker (Fig. 5.5 g, h, i). Em relação ao Nb, observa-se uma proporcionalidade positiva, para todas as amostras, a medida que aumentam os conteúdos em TiO_2 (Fig. 5.5 h).

Pode-se concluir, tendo em conta a imobilidade característica, assim como o conteúdo reduzido destes elementos, que os mesmos estariam associados aos minerais acessórios, cuja proporção é majoritária em rochas de composição félsica.

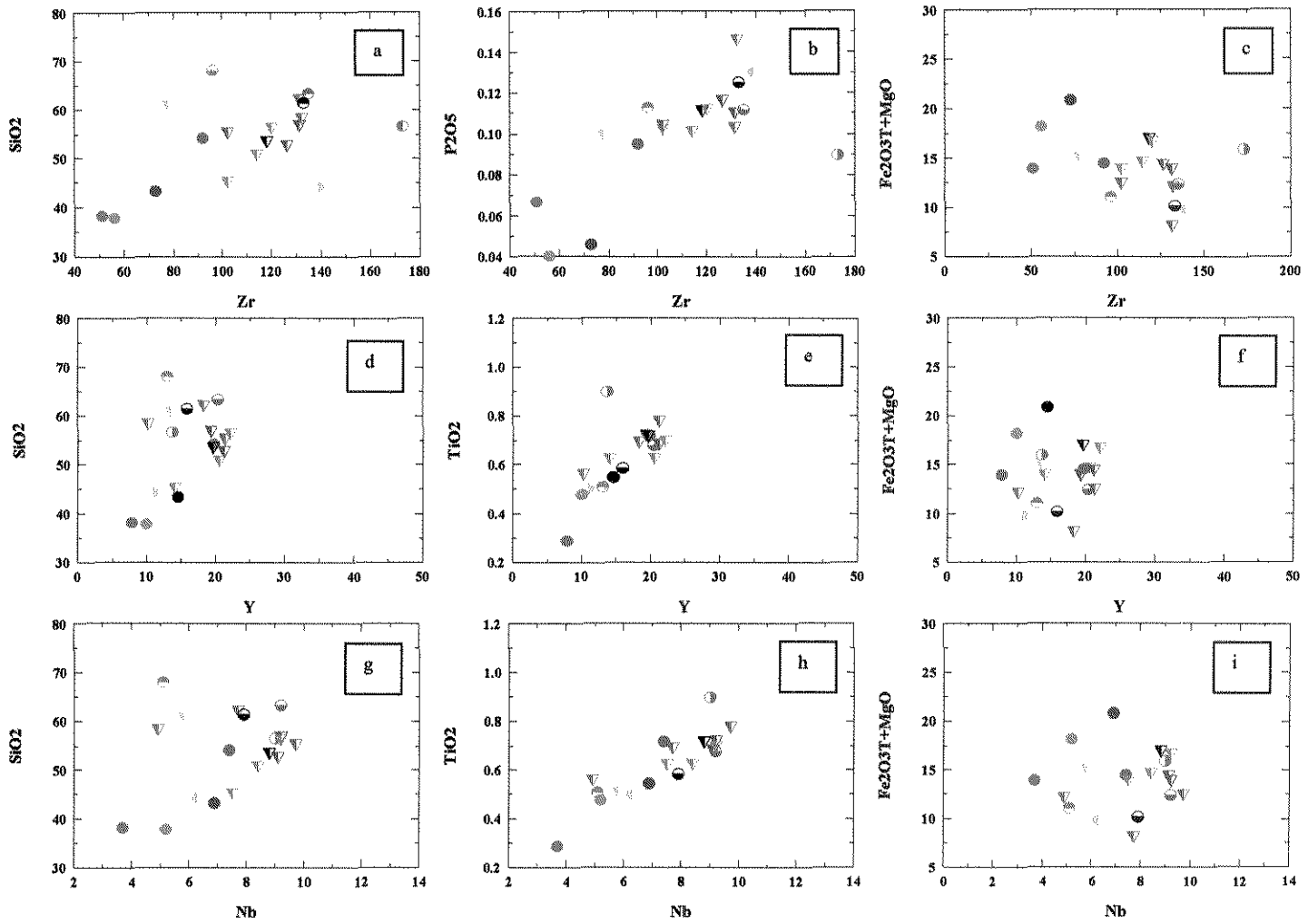


Figura 5.5 (a, b, c, d, e, f, g, h, i). Diagramas de Harker para SiO_2, TiO_2 e $Fe_2O_{3\,(total)}$ + MgO *vs* Zr, Y e Nb.
▼ - Filitos; ◓ - Litoarenitos; ● - Meta-conglomerados.

5.5. COMPORTAMENTO QUÍMICO DOS DIFERENTES LITO-TIPOS ESTUDADOS ATRAVÉS DE DIAGRAMAS RELACIONANDO SiO_2 COM IMAT E $Fe_2O_{3(total)}$

Os diagramas de Harker relacionando SiO_2 com o Índice de Maturidade (Fig. 5.6 a), assim como com Fe_2O_3 (Fig. 5.6 b), respectivamente, permitem observar que não existem valores absolutos dos diferentes óxidos que permitam delimitar com clareza os campos de posicionamento dos lito-tipos estudados.

Entende-se por maturidade o grau de abrasão e/ou de transporte que reflete-se nos sedimentos através da esfericidade alcançada pelas partículas clásticas segundo são trasladadas por maiores distâncias. No caso do presente trabalho se observa que o comportamento das amostras, evidencia os maiores parâmetros de maturidade correspondendo, em geral, aos teores máximos de SiO_2 (Fig. 5.6 a), apresentado principalmente pelos litoarenitos, nos quais a presença clástica de quartzo é importante. Neste sentido, os meta-conglomerados aparecem como os lito-tipos menos maturos.

Através do diagrama SiO_2 *vs* Fe_2O_3 (Fig. 5.6 b) nota-se a não existência de correlação dos óxidos envolvidos que permita uma interpretação sustentável do comportamento dos lito-tipos estudados, ainda quando de forma discreta observa-se a tendência dos metaconglomerados e dos litoarenitos a delimitar os campos de posicionamento.

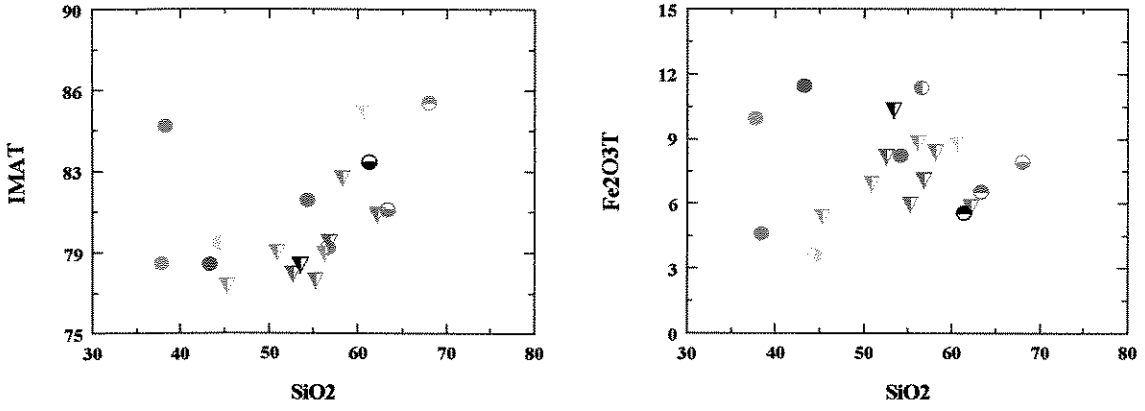


Figura 5.6 (a, b, c, d) Diagramas de Harker de SiO_2 *vs* Fe_2O_3, IMAT e Al_2O_3 *vs* K_2O, IMAT. ▼ - Filitos; ◓ - Litoarenitos; ● - Meta-conglomerados.

5.6. DIAGRAMA TERNÁRIO DA NATUREZA DE CLASSIFICAÇÃO DE ARENITOS (a) E DE DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DE ALTERAÇÃO QUÍMICA (b).

Mediante o diagrama ternário Fe_2O_3+MgO - Na_2O - K_2O (Fig 5.7 a) define-se claramente uma natureza ferromagnesiano - sódica para os lito-tipos estudados, com exceção de algumas amostras que apresentam tendência ferro-magnesiano - potássica. Este comportamento é determinado, principalmente, pelos altos conteúdos de Fe_2O_3 e MgO como reflexo da presença abundante de clorita oriunda de rochas ricas nesses elementos (rochas básicas e ultrabásicas), assim como pelo incremento concordante dos teores de K_2O, nalguns casos, com o predomínio da sericita sobre outros minerais e levando a que algumas amostras situem-se no campo ferro-magnesiano - potássico. Os altos valores de Na_2O definem a dominância do plagioclásio albítico.

Segundo o diagrama Al_2O_3 - CaO+Na_2O - K_2O (Fig. 5.7 b) os diferentes lito-tipos, posicionam-se entre as retas plagioclásio - K-feldspato e esmectita – illita, com uma tendência geral a se situar próximos à aresta do (Pl) plagioclásio – (Es) esmectita.

Os meta-conglomerados, menos afetados pelas alterações químicas, tendem a se situar mais perto do limite do plagioclásio, à exceção da amostra MBV-67-2 (circulo azul) que, afetada por processo de carbonatação, posiciona-se próxima ao vértice Cc (carbonato). Os meta-litoarenitos e, de forma similar, os filitos, apresentam certa tendência à reta esmectita - illita, mas sempre com afinidade maior à primeira (esmectita). Esta diferencia é motivada pelo fato de que os maiores conteúdos em minerais aluminosos, (sericita e clorita), e matéria carbonosa, mais sensíveis às alterações químicas, encontram-se precisamente em filitos e litoarenitos.

De modo semelhante aos meta-conglomerados, uma amostra de litoarenitos (amostra MBV-66-6, circulo semi-preenchido cinza), está deslocada para o vértice do carbonato.

5.7. DIGRAMAS TERNÁRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DO ARCABOUÇO TECTÔNICO.

A caracterização do arcabouço tectônico e deposicional dos lito-tipos estudados, através de diagramas ternários envolvendo La - Th - Sc e Th - Sc - Zr/10 (Fig 5.8 a, b), permitiu determinar uma transição geral, de filitos e meta-litoarenitos, de contexto continental para arco de ilhas oceânico.

Os meta-conglomerados não definem a pertinência a um campo específico. Este comportamento pode ser motivado pelo conteúdo mínimo (<4) de La, (à exceção de um valor de 10 ppm, que seria anômalo para este lito-tipo) e de Zr, que em relação às outras rochas aparece com teores muito baixos.

A interpretação dos diferentes dados geoquímicos apóia então as observações microscópicas quanto às contribuições de áreas-fonte mistas, nas quais a presença vulcânica ácida teve um valor importante no caso dos meta-litoarenitos, enquanto a contribuição clastica em meta-conglomerados foi principalmente de rochas de composição intermediária, máfica a ultramáfica.

Embora seja admissível que os processos de alteração hidrotermal possam contribuir com a variabilidade de teores de Ni, Cr, MgO e FeO, as razoes relativamente constantes de Ni:Cr de 1,5, parecem indicar a presença de minerais máficos (piroxênios, olivina), agora alterados a clorita e fuchsita

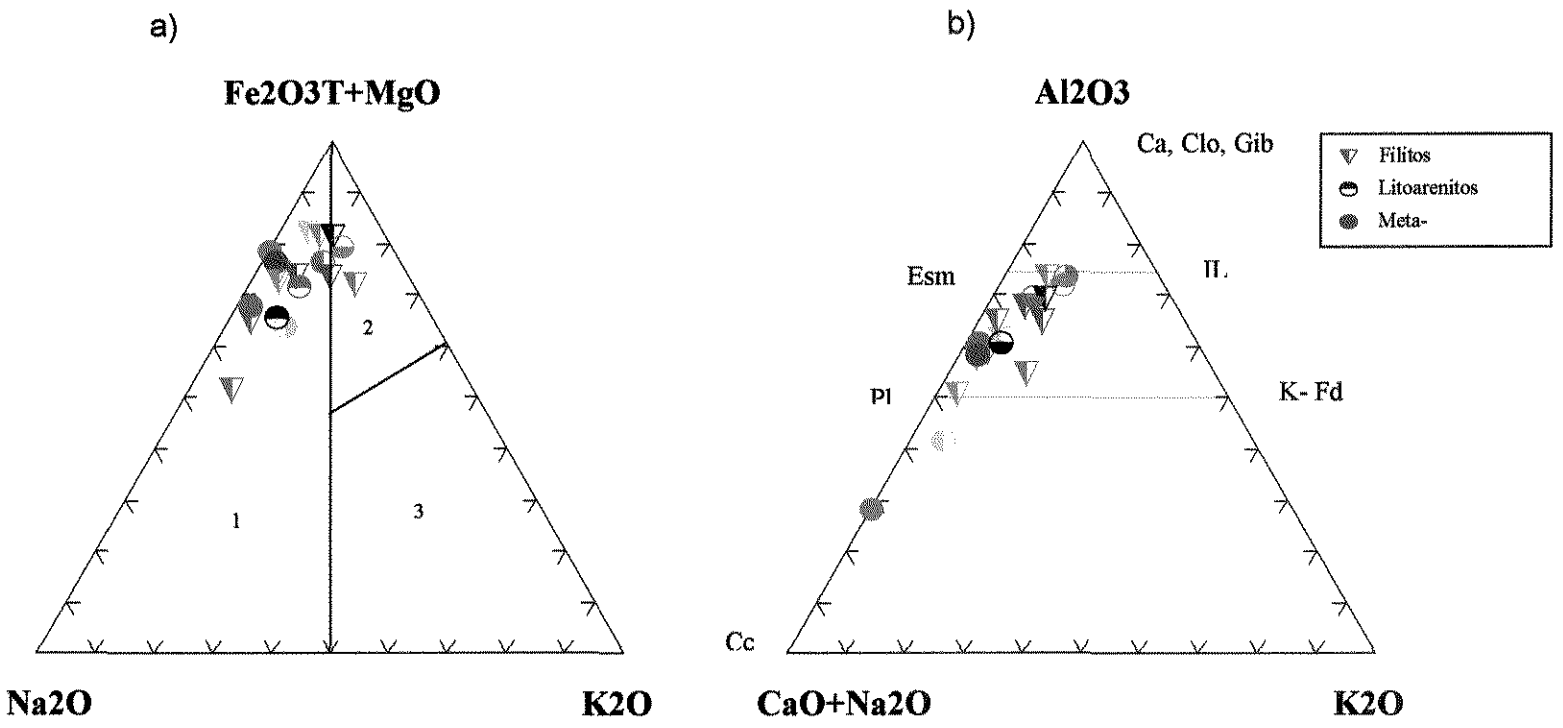


Figura 5.7 a) Diagrama ternário de natureza de classificação de rochas sedimentares de Blatt *et al.* (1980), no caso para os lito-tipos estudados em Morro Velho, Grupo Nova Lima. 1- Arenito sódico; 2- Arenito ferro-magnesiano potássico; Arenito potássico.
b) Diagrama Al_2O_3 – CaO + Na_2O – K_2O (mostrando o *trend* de alteração química) dos lito-tipos da Unidade Sedimentar do Grupo Nova Lima, Morro Velho. Es – Esmectita; Pl – Plagioclásio; Ca – Caolinita; Cl – Clorita; IL – Ilita; K-Fd – Feldspato Potassico; Cc – Calcita.

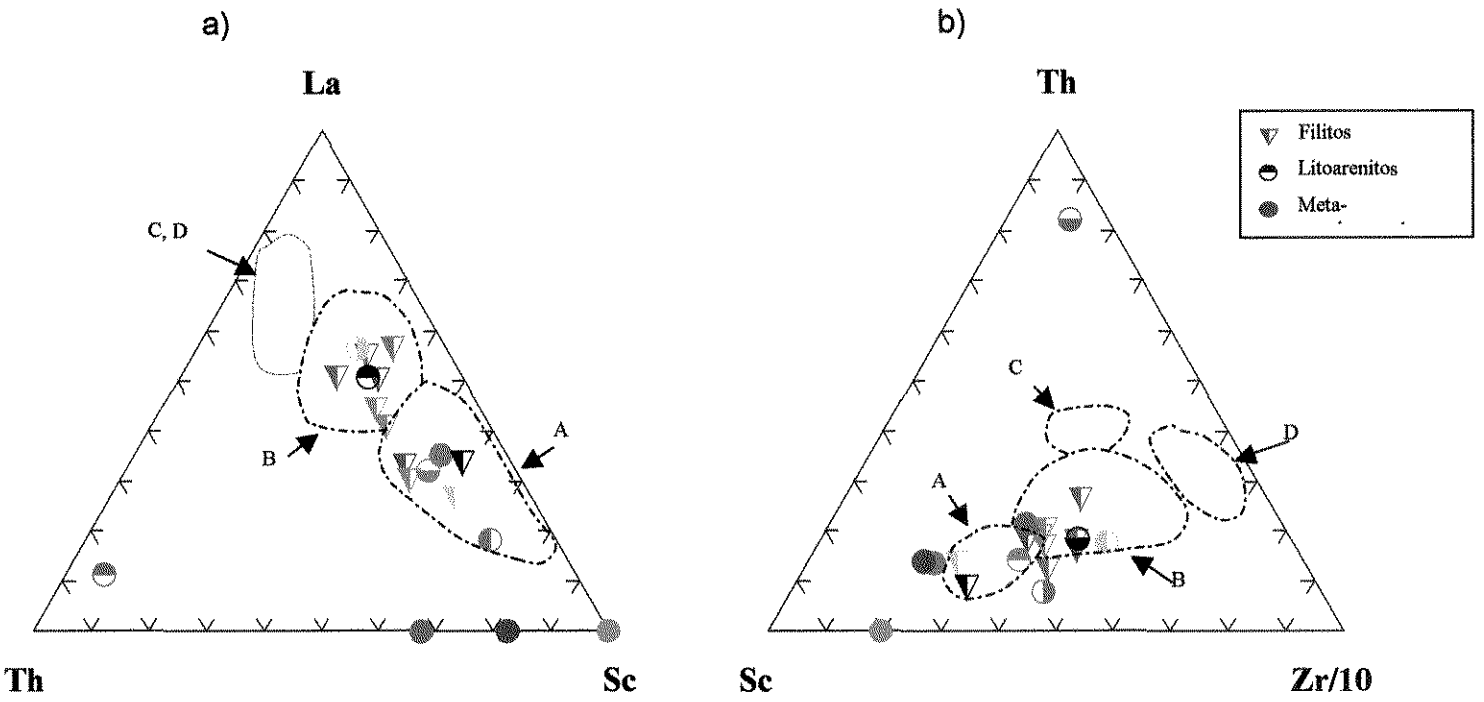


Figura 5.8. a) Diagrama discriminante La -Th - Sc para grauvacas.
b) Diagrama discriminante Th- Sc - Zr/10 para grauvacas.
A - arco de ilha oceânico; B – arco magmático continental; C – margem continental ativa;
D – margem passiva. Modificados de Rollinson, 1993.

Capítulo VI. ESTUDO PETROGRÁFICO E CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA LAPA SECA NA MINA DE MORRO VELHO

6.1. COMPOSIÇÃO MINERAL DAS ZONAS HIDROTERMALISADAS.

No contexto da Mineração de Morro Velho define-se como Lapa seca (Vial, 1980) passagens de rochas quartzo - carbonáticas que ora aparecem laminadas (macroscopicamente tem aspecto maciço) com contribuição reduzida de micas, ora apresentam-se xistosas, com elevada contribuição de micas, e ora possuem alta percentagem de sulfetos, sendo classificadas em quatro fácies diferenciáveis: lapa seca carbonática laminada (Lsca), quartzito (LSqz), quartzito carbonático micáceo (LSmc) e sulfeto (S), sendo que qualquer uma delas pode predominar localmente.

Mediante a análise petrográfico – minerográfica das amostras coletadas, tanto do corpo de minério, como das rochas encaixantes em quatro níveis da Mina Velha (N-10; N-13; N-14; N-15), assim como a amostragem de testemunhos de sondagem, foi possível definir algumas características da chamada Lapa Seca. Tais características relacionam este lito-tipo a seqüências vulcânicas e vulcano – sedimentares de composição variável, metamorfisadas e alteradas hidrotermalmente, apresentando texturas que variam de granoblásticas a granolepidoblásticas.

Carbonatos (ankerita – calcita), quartzo e, de maneira subordinada, clorita de cores verde claro e rosa (N-14^{x}), são os constituintes principais que na qualidade de ganga aparecem associados às mineralizações metálicas. De forma esporádica e intersticial aparecem restos da rocha original.

Carbonato.

O carbonato é o mineral "ganga" predominante, podendo abarcar nas zonas mineralizadas 20-80% da massa total.

Quando representado por ankerita, aparece como grãos irregulares, xenoblásticos, com pigmentação por óxidos de ferro e abundantes arranjos de diminutas inclusões fluídas sobre o mineral. A calcita, límpida de impurezas, ocorre nas bordas dos grãos de ankerita como produto da recristalização desta. Às vezes, finos

agregados granulares de calcita ocupam fraturas que atravessam os grãos de ankerita ou aparecem cimentando os mesmos.

Em zonas de menor conteúdo de opacos a calcita desenvolve massas de cristais hipidiomórficos, de granulação variável, sendo que nestas zonas a ocorrência de restos da rocha original é relativamente maior, os quais, às vezes, conservam as características texturais (Fig. 6.1 a, b).

A presença de matéria carbonosa recobrindo o carbonato parece estar condicionada a situações locais. Assim, aparecem setores onde este material pode se apresentar como um cimento entre os grãos de ankerita principalmente, entremeando-se com os agregados de calcita, e zonas em que o seu conteúdo é quase nulo, mas o aumento está relacionado com a intensificação das mineralizações metálicas.

Quartzo.

O quartzo aparece como bolsões de formas irregulares e poligonizados que geralmente, se incluem, de modo intersticial, nas massas carbonáticas e sulfetadas (Fig. 6.1 c), aparecendo com freqüência como grãos dispersos na mesma.

Em ocasiões se individualiza do carbonato, ocupando amplos espaços, quase monominerálicos. Estes espaços são compostos de grandes grãos com evidências de recristalização parcial, através da formação de finas pseudo-vênulas ocupadas por grãos poligonizados do mesmo quartzo (Fig. 6.1 d). Esta é uma das formas características quando formam parte de veios.

Com freqüência quartzo e calcita ocupam finos veios que atravessam os diferentes litotipos, podendo ser acompanhados de sericita e/ou clorita.

Cloritas.

Associadas às zonas mineralizadas e alteradas hidrotermalmente encontram-se dois tipos de clorita. A mais comum é do tipo magnésiano, de cor verde muito claro. A clorita, quando em contato com os opacos, geralmente apresenta bordas de despigmentação, de tonalidades amareladas até o azul Berlim pálido. A presença desta clorita nas porções a quartzo, calcita e sulfetos indica que a mesma se formou às custas do magnésio liberado durante a recristalização da ankerita (F. W. R. Vieira,

1987). Em ocasiões, se associa com quartzo e/ou carbonato, desenvolvendo sombras de pressão nas bordas dos sulfetos (Fig. 6.1 e).

No nível 14, encontra-se uma variedade de clorita, a kemmererita, que apresenta coloração rosa típica e tem composição cromífera. A presença da mesma é de distribuição local e associa-se às zonas de alto conteúdo aurífero.

Aparece como finas palhetas, conformando bolsões, onde se dispõem desordenadamente, ou como finos filmes que contornam o carbonato. Quando aparece inclusa no interior dos grãos de carbonato, ou intercalada entre os grãos deste mineral, acentua-se a coloração rosa.

Nas proximidades dos setores onde ocorre esta clorita ocorre também a fuchsita, de fato não muito comum nestas zonas mineralizadas. É possível, em ocasiões, observar a formação da clorita a partir da mica, o que permite com certeza definir a sua composição cromífera (e não manganífera, elemento que também proporciona coloração rosa nas cloritas).

Plagioclásio.

O plagioclásio, em quantidade variável, é um componente comumente distribuído nas zonas mineralizadas, ainda que localmente possa estar ausente. Às vezes aparece como ripas irregulares ou grãos hipidiomórficos, tipo oligoclásio - andesina, afetados por processos de recristalização ou não e albitizados, conservando parcial ou totalmente as geminações polissintéticas. Encontram-se dispersos de modo individual e cimentados em geral pelo carbonato, ou se agrupam de forma caótica definindo características próprias de texturas plutônicas.

Às vezes, o plagioclásio ocorre como agregados muito finos, recristalizados, compostos de albita e quartzo, similares aos mencionados anteriormente no caso dos metaconglomerados afetados por processos de recristalização. Mas, deve-se salientar que na maioria das vezes, e devido às deformações tectônicas, não se consegue definir claramente se estes setores constituem fragmentos ou formaram parte de uma matriz de rocha vulcanoclástica.

Outros minerais.

Nas zonas carbonatizadas e/ou silicificadas, às vezes, aparecem grãos de apatita, de formas sub-arredondadas e contornos irregulares(Fig. 6.1 f), sendo evidente a origem hidrotermal deste mineral. É comum no interior dos grãos, a presença de abundantes arranjos de inclusões fluidas.

Outros minerais que podem estar presentes ou não nestas zonas alteradas e mineralizadas estão representados por palhetas de sericita, disseminadas de modo aleatório ou formando filmes junto à clorita. A presença de rutilo, zircão e turmalina, e ocasionalmente clinozoisita, associados aos filo-silicatos é muito escassa.

6.2. MINERAIS OPACOS.

Os minerais metálicos estão representados por arsenopirita, pirita, pirrotita, calcopirita e ouro. Ocasionalmente aparece algum grão minúsculo de calcosita, mas não é comum.

Arsenopirita.

Apresenta-se principalmente com formas hipidioblásticas em duas faixas de granulação. Com freqüência encontra-se como cristais de 150-200 μm, podendo ou não ser acompanhada por cristais de pirita, com grau de idiomorfismo e granulação similares. Quando estes minerais aparecem juntos, distribuem-se desordenadamente e, localmente, concentram-se de maneira individualizada, conformando bandas enriquecidas em um ou outro deles.

Nesta faixa de granulação a arsenopirita pode apresentar fraturas ocupadas por pirrotita, com calcopirita ou não (Fig. 6.2 a, b), e raras vezes por pequenos grãos de ouro. Localmente os cristais aparecem quebrados, em forma de diminutos fragmentos angulosos, cimentados in situ pela pirrotita.

O fato destes minerais, arsenopirita e pirita, por vezes apresentarem características morfológicas e de granulação similares pode sugerir uma cristalização relativamente síncrona, mas a ocorrência de fraturas e fragmentação da arsenopirita, assim como sua inclusão na pirita, indicam uma ordem na qual arsenopirita se

precipitou antes (Fig. 6.2 c, d). Das considerações anteriores pode-se salientar que a pirita começou a se cristalizar após a diminuição do conteúdo de arsênio e o conseqüente incremento na fugacidade de enxofre dos fluídos hidrotermais.

Outra interpretação é que as texturas observadas podem refletir processos de recristalização de populações de granulação fina e mais antigas, recristalizadas durante a sulfetação.

A outra forma de ocorrência da arsenopirita é como pequenos cristais hipidiomórficos, menores de 45 µm e até 10 µm. Às vezes estes cristais aparecem inclusos na pirita.

Com freqüência esta arsenopirita de menor granulação concentra-se em níveis com alta densidade ou aparece ocupando finas fraturas que atravessam localmente alguns setores (Fig. 6.2 e).

Estas diferentes formas de ocorrência, assim como as variações granulométricas e de morfologia da arsenopirita e da pirita, sustentam a idéia de vários pulsos de cristalização, os quais estiveram em dependência do enriquecimento dos fluídos em um ou outro elemento, As e Fe, segundo a cristalização de cada um destes minerais.

Pirita.

A pirita aparece principalmente como cristais hipidioblásticos, ocasionalmente quebrados, apresentando granulação numa faixa de variabilidade ampla, entre 15 e 220 µm. Quando o tamanho é menor, os grãos podem apresentar formas irregulares, aparecendo por vezes em aglomerados cimentados por pirita, associados a arsenopirita de hábito similar.

A presença de pirita em fraturas indica que parte dela foi recristalizada in situ e parte foi remobilizada.

Em torno da pirita ocorrem orlas de pressão compostas de lamelas de quartzo, carbonato e clorita.

A freqüente presença de inclusões de arsenopirita, da ganga e, em menor proporção, de pirrotita e calcopirita, indica ter sido este o último sulfeto a se cristalizar.

Pirrotita.

É comum este mineral apresentar formas xenoblásticas ou conformar agregados irregulares de grãos poligonizados com granulação relativamente homogênea, sendo o sulfeto mais amplamente distribuído na área e acompanhante de todos os componentes metálicos.

Observa-se, com freqüência, a presença de pequenos cristais de arsenopirita inclusos na pirrotita, sendo característico encontrar esta última envolvendo parcialmente os cristais de maior granulação de pirita e/ou arsenopirita. Os produtos angulosos resultantes da fragmentação da arsenopirita, geralmente aparecem cimentados por pirrotita (Fig. 6.2 a, b).

Às vezes, em zonas em que o conteúdo de pirrotita é predominante, observa-se que esta aparece como matriz, cimentando grãos e cristais tabulares de calcita. A ausência de ankerita pode ser evidencia da formação da pirrotita a partir da interação de soluções de enxofre com o ferro segregado deste carbonato.

A pirrotita aparece, localmente, depositada nos traços da clivagem do carbonato, evidenciando a sua deposição posterior à carbonatação (Fig. 6.2 f).

Afetada pelas deformações tectônicas, é freqüente observar o estiramento dos grãos de pirrotita segundo a foliação (Fig. 6.2 g), sendo possível encontrar, às vezes, o reordenamento e acumulação deste mineral nos eixos de dobras (Fig. 6.3).

Evidências também dos processos de deformação encontram-se quando a pirrotita está intercrescida com quartzo e calcita, aparecendo como lamelas nas bordas de cristais de arsenopirita e pirita, constituindo orlas de pressão. Estes fatos indicam a deposição do mineral antes dos processos deformacionais.

Observa-se, com freqüência, que os grãos de pirrotita apresentam finas lamelas de despigmentação amarelada, que sugere a passagem da pirrotita hexagonal para monoclínica (ou para pirita). É característico que este processo manifesta-se nas zonas em que o conteúdo deste mineral não é predominante, principalmente em zonas em que os grãos encontram-se dispersos pela matriz.

Calcopirita.

A calcopirita aparece como pequenos grãos xenoblásticos, com grande afinidade pela pirrotita, tendo o menor conteúdo entre todos os opacos. Geralmente aparece na interface pirrotita / ganga e também na interface da pirrotita/ outros opacos. Localmente encontra-se inclusa nos cristais de pirita, o que sugere contemporaneidade com a pirrotita. Raras vezes se individualiza da pirrotita, aparecendo dispersa em meio à ganga.

Ouro.

Ocorre principalmente como grãos xenomórficos, apresentando às vezes algumas arestas cristalinas. O tamanho varia entre 10-150 μm, sendo que o ouro de granulação mais fina está associado à arsenopirita e à ganga (Fig. 6.2 h, i), o de granulação intermediaria à pirita (Fig. 6.2 j) e o mais grosso à pirrotita (Fig. 6.2 k, l).

Nos níveis superiores da mina, a maior quantidade de ouro é associado fundamentalmente à pirita e aparece como inclusões dentro dos cristais ou na interface da pirita com à pirrotita.

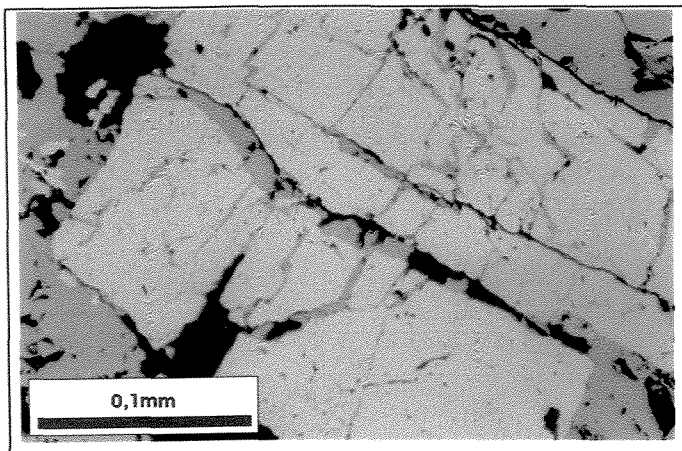
Em profundidade aumenta a quantidade de ouro associado à pirrotita e à ganga, o que é coerente com a diminuição no conteúdo de pirita. A desestabilização da pirita em profundidade, com o incremento da fugacidade de oxigênio e da temperatura, faz com que o ouro retido neste mineral seja liberado para a ganga, arsenopirita ou pirrotita (Vieira, 1987).

Como resultado das deformações tectônicas, às vezes, o ouro associado à ganga encontra-se moído, aparecendo em forma de pequenos fragmentos disseminados sobre o carbonato principalmente. Este fato se evidencia com clareza no nível 14 (14^x), onde é abundante a disseminação fragmentada de ouro na ganga, assim como o incremento deste como inclusões na pirrotita.

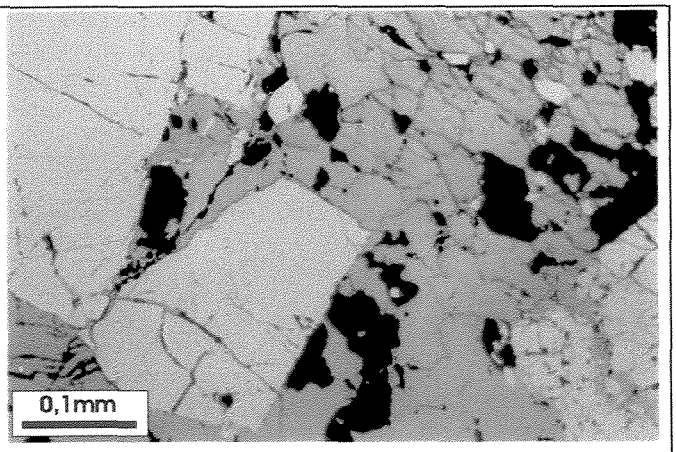
A presença anômala de clorita rosa e/ou de fucsita, pode ser um indicador importante de exploração na Mina de Morro Velho, visto que, no nível 14 estes minerais acompanham o aumento no conteúdo aurífero.

Outros Minerais Opacos.

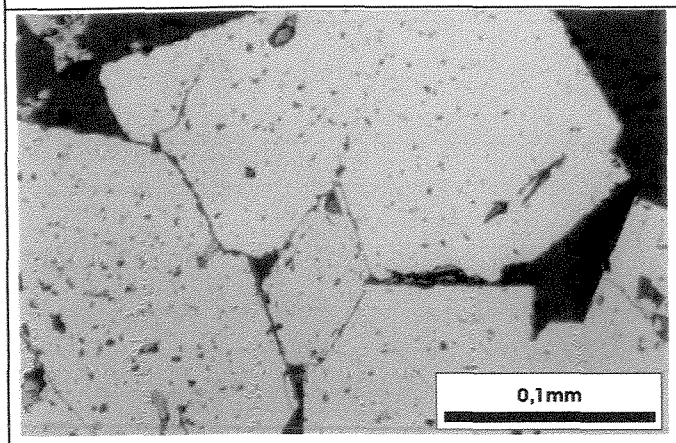
Encontram-se em quantidades muito reduzidas e de modo local, grãos xenomórficos de calcosita associados à calcopirita, às vezes em fraturas junto a esta. Grãos de hematita encontram-se em zonas de alteração das micas, principalmente das cloritas submetidas a processo de biotitização.



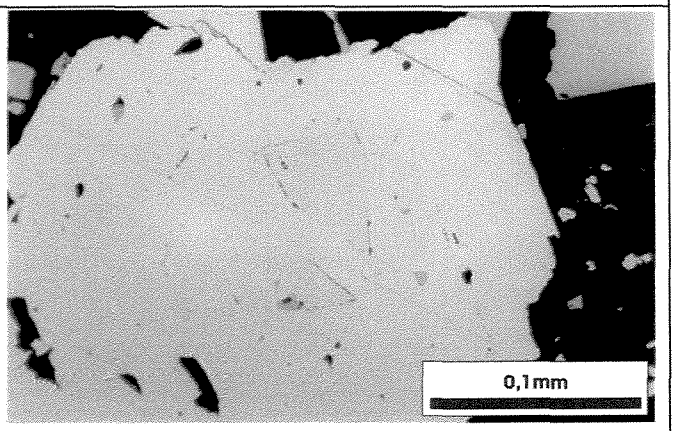
a) N-14x-3 (20x). Cristal de arsenopirita fraturado ruptilmente e cimentado in situ por agregados de pirrotita.



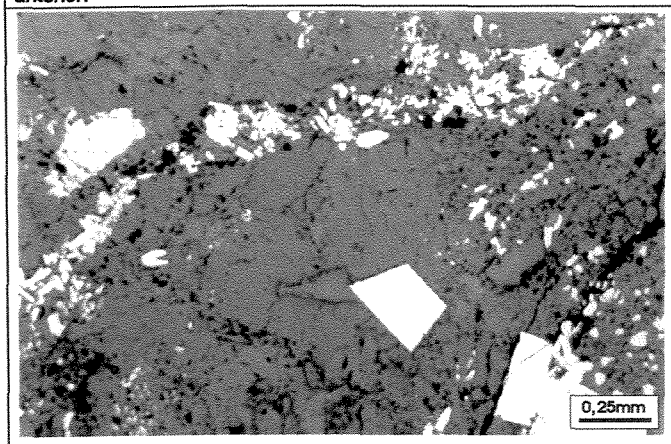
b) N-14x-3 (10x). Cristais de arsenopirita, fregmentados e cimentados por pirrotita e calcopirita.



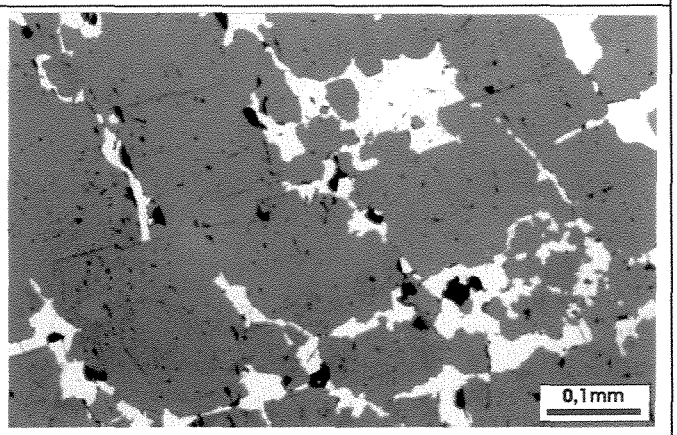
c) N-14x-11 (20x). Cristal idiomórfico de arsenopirita encaixado em cristais de pirita, mostrando que a cristalização da primeira foi anterior.



d) 926-17 (20x). Cristais de arsenopirita inclusos na pirita indicando uma ordem na qual arsenopirita precipitou antes.

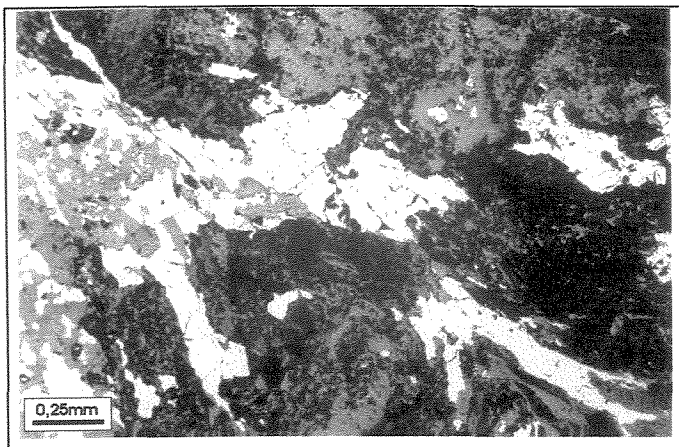


e) N-10-2 (2,5x). Rosários de pequenos tabletes de arsenopirita, preenchendo fraturas e cristais idiomorficos de pirita.

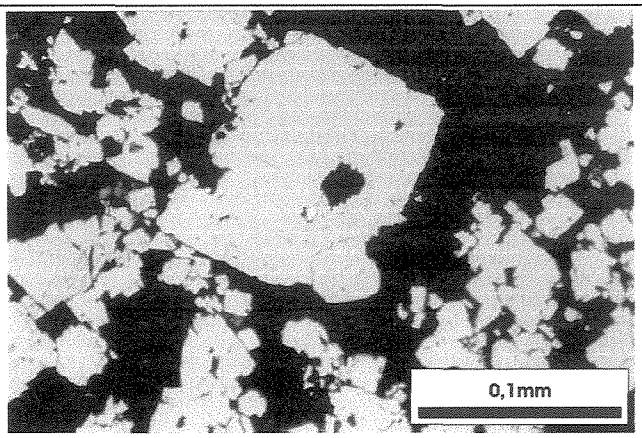


f) N-15-5 (10x). Pirrotita disposta em linhas de clivagem de carbonato.

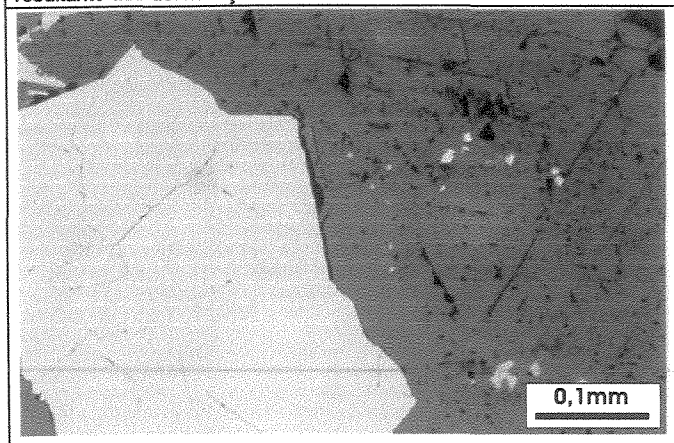
Figura 6.2. (a, b, c, d, e, f). Micro-fotografias de minerais opacos em Lapa Seca.



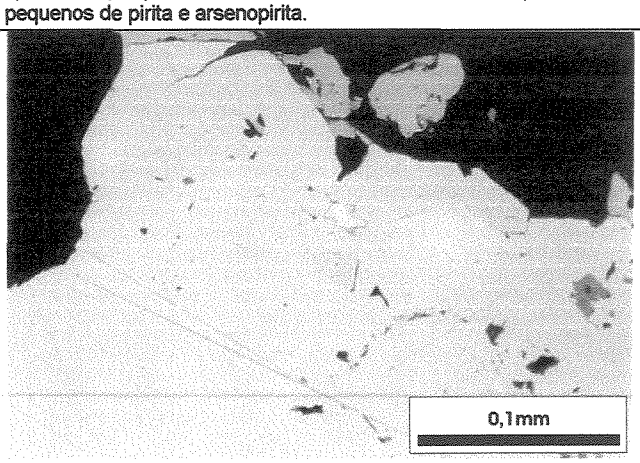
g) N-14-1 (2,5x). Grãos deformados (estirados) de pirrotita, resultante das deformações tectônicas.



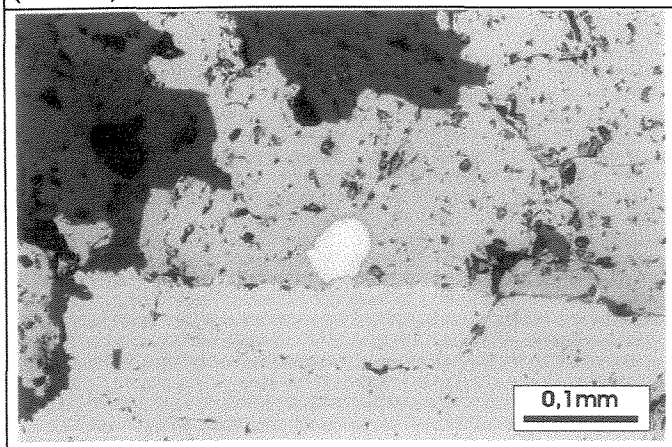
h) 926-10 (20x). Inclusão de ouro em cristal de arsenopirita e cristais pequenos de pirita e arsenopirita.



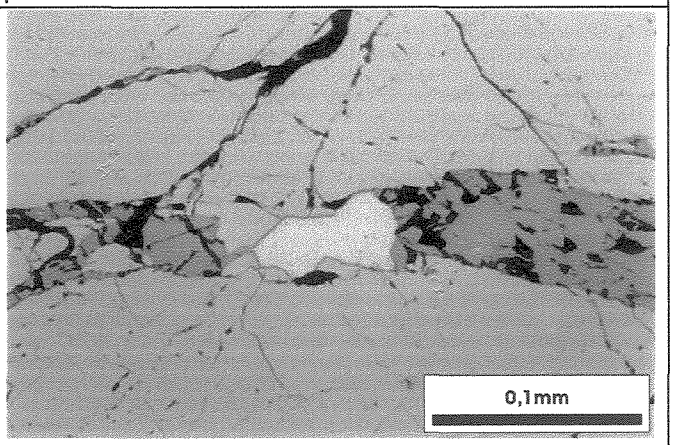
i) N-14-11 (10x). Grãos fragmentados de ouro dispostos na ganga (carbonato).



j) 926-10 (20x). Grão de ouro e cristais de arsenopirita inclusos na pirita.



k) N-14x-11 (10x). Cristal sub-euédrico de ouro na interface pirrotita - arsenopirita



l) N-14x-3 (20x). Grão de ouro associado a pirrotita em fratura de cristal de arsenopirita.

Continuação da figura 6.2 (g, h, i, j, k, l)

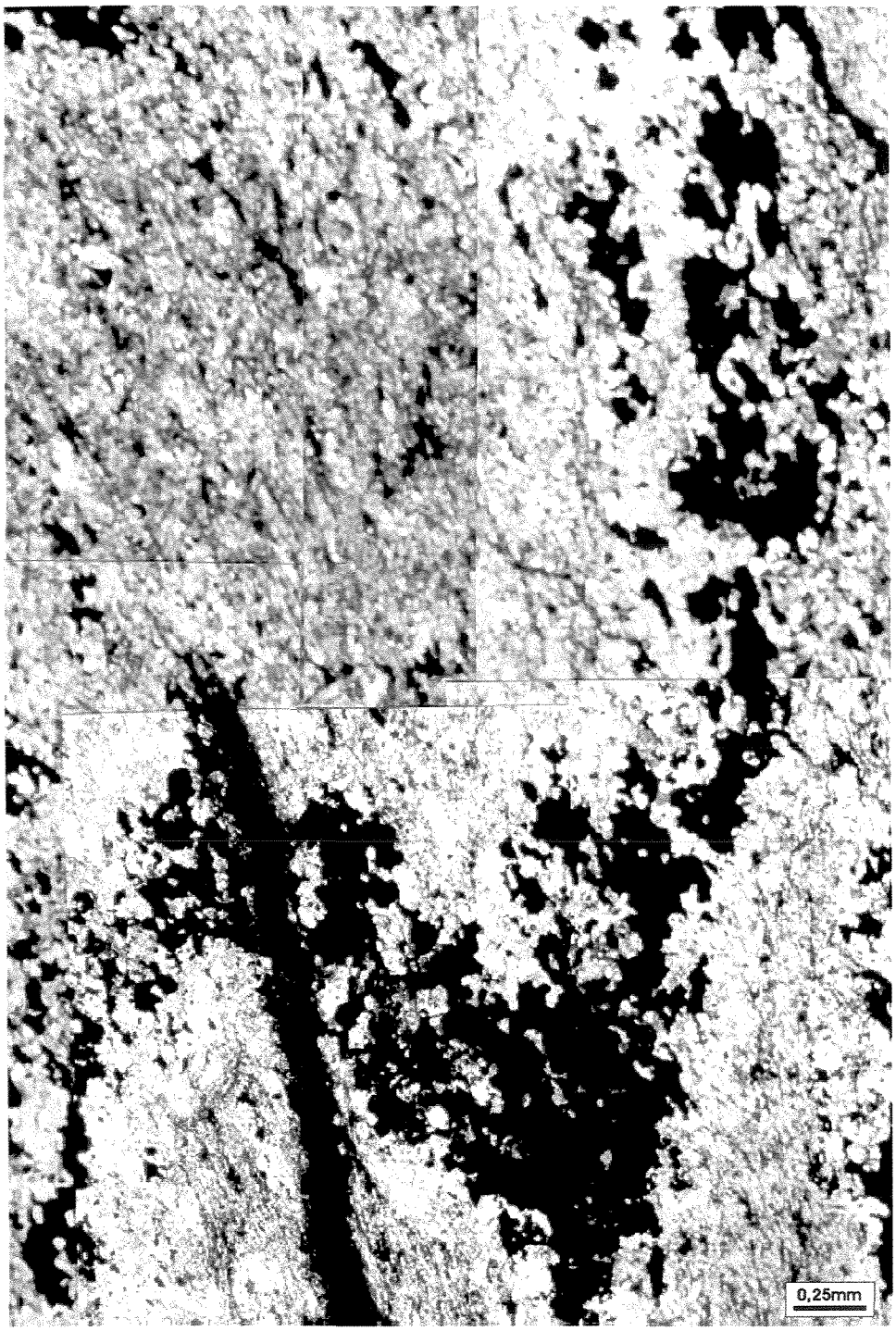


Figura 6.2 m. 873-2 (2,5x) Montagem de microfotografias mostrando microdobramento de 1 nivel de pirrotita após a deposição mineral (a linha sub-vertical escura, na margem esquerda da foto é um erro de confecção da lamina).

6.3. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA LAPA SECA.

A interpretação geoquímica das zonas mais intensamente afetadas pelas alterações hidrotermais e mineralizações metálicas é uma tentativa de caracterizar, até onde possível, às assinaturas e mudanças que tais processos provocaram nos diferentes tipos litológicos.

Para esta interpretação foram selecionadas amostras coletadas em diferentes níveis da Mina Velha, próximas ao corpo de minério ou do próprio corpo, tendo como objetivo principal, definir as características químicas do minério e identificar as relações deste com as encaixantes.

A análise, feita a partir dos resultados químicos obtidos das zonas alteradas e dos corpos de minérios, pretende mostrar o comportamento dos diferentes elementos químicos, maiores e traços, introduzidos ou lixiviados durante os processos de alteração atuantes no contexto da Mina de Morro Velho.

Devido às diversas formas de manifestação das alterações, assim como ao conteúdo variável de minerais opacos, as amostras foram selecionadas tentando abranger diferentes estados de intensidade destes processos hidrotermais, tomando como base principal os valores de SiO_2, Fe_2O_3 e CaO (Tabela 6.1), por estes apresentarem uma maior variação de resultados.

Elementos maiores.

Estes elementos apresentam uma grande variabilidade porcentual. Os valores de SiO_2 oscilam entre limites de 17.84 até 59.41%, enquanto para o $Fe_2O_{3(total)}$ os limites estão entre 7,57 e 40,56%. O CaO não ultrapassa concentrações de 5,23%, encontrando-se limitado em geral entre 0,21-3,76% (Tabela 6.1).

Tomando-se como base os diagramas de Harker, nota-se que a relação entre SiO_2 e os óxidos de Ca, Mg e Fe (Fig. 6.3 a, b, e), mostra uma proporcionalidade negativa mais acentuada que nos casos das diferentes litologias analisadas anteriormente (Cap. IV), nas quais esta correlação negativa se manifestava de maneira relativamente indefinida, no caso dos diagramas SiO_2 *vs* MgO e com menos precisão nos diagramas relacionando SiO_2 e CaO.

O estudo petrográfico das zonas afetadas tanto pelas alterações hidrotermais, quanto pela mineralização metálica, permitiu observar um intenso processo de carbonatação, onde o conteúdo de material silícico é muito variável, até nulo. As evidências químicas mostram também o inverso, ou seja, aos maiores teores em SiO_2 correspondem teores mínimos em Ca, Fe e Mg.

O Fe se encontra nos minerais opacos ou retido na estrutura de carbonatos como ankerita e dolomita ferroana (rica em ferro). Para esses carbonatos, o ferro pode ter sido transferido pela desidratação e destruição da clorita, devido ao acréscimo em CO_2 (Vieira, 1988).

As análises ainda indicam que enquanto Fe_2O_3 e MgO (Tabela 6.1; Fig. 6.3 f) mostram uma clara relação entre si, o mesmo não acontece para Fe_2O_3 *vs* CaO nem para MgO *vs* CaO (Fig. 6.3 g, h).

Nas zonas mineralizadas ou sob intensa alteração hidrotermal, geralmente, o conteúdo em minerais filo-silicáticos (clorita magnesiana e sericita) não é importante. Assim o teor elevado em MgO nas zonas de carbonatação, só pode ser um indicador da presença da dolomita ferroana.

Os diagramas envolvendo SiO_2 *versus* Na_2O e K_2O (Fig. 6.3 c, d), mostram uma correlação discretamente positiva, com valores de Na e K geralmente baixos, mas que aumentam suavemente com o aumento do conteúdo da sílica. Este fato confirma os resultados obtidos através do estudo petrográfico.

A petrografia permitiu observar que, quando as zonas alteradas são constituídas principalmente por quartzo, aumentam de forma discreta, os conteúdos de minerais filo-silicáticos (principalmente sericita), assim como encontram-se ripas de plagioclásio albitizado, cujas características óticas indicam uma origem ígnea intermediaria/básica. Isto pode salientar a idéia de que além do CO_2, essas soluções eram salinas, contendo K e Na como eletrólitos dissolvidos.

Pode-se concluir que, no contexto da Mina de Morro Velho, as zonas alteradas hidrotermalmente ou mineralizadas e em condições de altos teores em SiO_2, os conteúdos de Ca, Fe e Mg atingem seus valores mínimos e estão retidos em fases carbonáticas, resultantes da desestabilidade de minerais silicáticos por soluções ricas em CO_2.

No entanto, nestas zonas, a diminuição nos teores em SiO_2 é acompanhada pelo incremento no conteúdo dos sulfetos, e conseqüentemente, do carbonato.

Embora, o estudo microscópico permitiu determinar que nas amostras de sulfetos maciços (ou intensamente mineralizadas), compostas, prinicpalmente de, pirrotita, pirita e/ou arsenopirita, o principal mineral-ganga é o carbonato (calcita, ankerita ou dolomita ferroana), os dados apresentados na Tabela 6.1 mostram baixos teores de CaO e Sr. Esta incoerência deve-se ao fato de que, a capacidade de detecção das técnicas analíticas é limitada pelo conteúdo de enxofre nas amostras a serem analisadas.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Amostra (%)	N-14-1	N-14-8	N-14x-2	N-14x-3	N-14x-9	N-15-1	N-15-4	N-15-6	N-15-B
SiO_2	35,10	51,10	57,76	27,80	30,81	42,55	41,80	17,84	59,41
TiO_2	0,24	0,73	0,55	0,28	0,19	0,25	0,31	0,0	0,619
Al_2O_3	5,00	16,32	16,46	7,19	4,76	5,94	5,99	0,07	10,80
Fe_2O_3	28,87	14,05	10,46	32,61	26,70	24,28	27,35	35	7,57
MnO	0,77	0,214	0,12	0,67	0,65	0,69	0,47	0,93	0,22
MgO	8,28	5,46	2,90	8,18	11,24	5,63	8,57	11,01	6,08
CaO	0,46	0,74	0,72	3,76	1,95	1,33	0,21	1,27	5,23
Na_2O	0,26	3,14	0,83	0,4	2,16	2,40	0,31	0,0	1,03
K_2O	0.84	1,85	5,07	1,44	0,16	0,44	1,03	0,0	1,82
P_2O_5	0,074	0,086	0,11	0,07	0,03	0,054	0,067	0,0	0,089
S	0,17	0,68	2,89	8,7	6,1	0,18	2,1	8,8	0,02
Soma	**99,22**	**99,24**	**96,6**	**90,45**	**92,51**	**99,13**	**96,9**	**86,3**	**99,29**
(ppm)									
Ba	65	314	506	131	17	37	40	11	197
Ce	<3	<3	19	<3	<3	<3	<3	<3	35
Cr	30	390	183	223	79	95	98	<1	534
Cs	<11	<11	<11	<11	<11	<11	11,6	4,8	<11
Cu	493	46	165	585	73,1	79	302	1500	34
Ga	17,4	21,2	25,0	19,2	13,6	13,1	17	8,8	12
La	<4	<4	7	<4	<4	<4	<4	31	12
Nb	3,5	8,8	4,1	2,8	3,9	4,1	4,4	<0,5	4,8
Nd	37	10	19	90	97	28	30	286	22
Ni	21,7	218	29	93	129	48	42	2,1	194
Pb	<1	2,4	2,0	2,6	2,5	<1	1,7	<1	2,1
Rb	18,9	45	118	33	4,3	9,9	33	<0,5	46
Sc	63	29	12	73	50	76	61	<5	21
Sn	<3	4	10	<3	<3	<3	<3	<3	5
Sr	7,6	25,1	16,3	36	14,7	13,2	7,3	5,8	93
Th	<1,5	6,0	<1,5	<1,5	2,2	<1,5	1,4	<1,5	3,5
U	<2	2,8	<2	8	8,5	<2	1,5	12,8	3,1
V	101	136	75	112	165	106	88	16,3	177
Y	9,2	17,5	8,2	15,7	7,2	10,9	11	2,6	14,3
Zn	7,2	17,5	5,4	19,3	28,4	8,4	20,1	42	9,4
Zr	29	116	104	36	27,1	33	44	<1,5	86

Tabela 6.1. Análises químicas novas de amostras das zonas alteradas e mineralizadas dos níveis 14 e 15 da Mina de Morro Velho, Mina Velha.

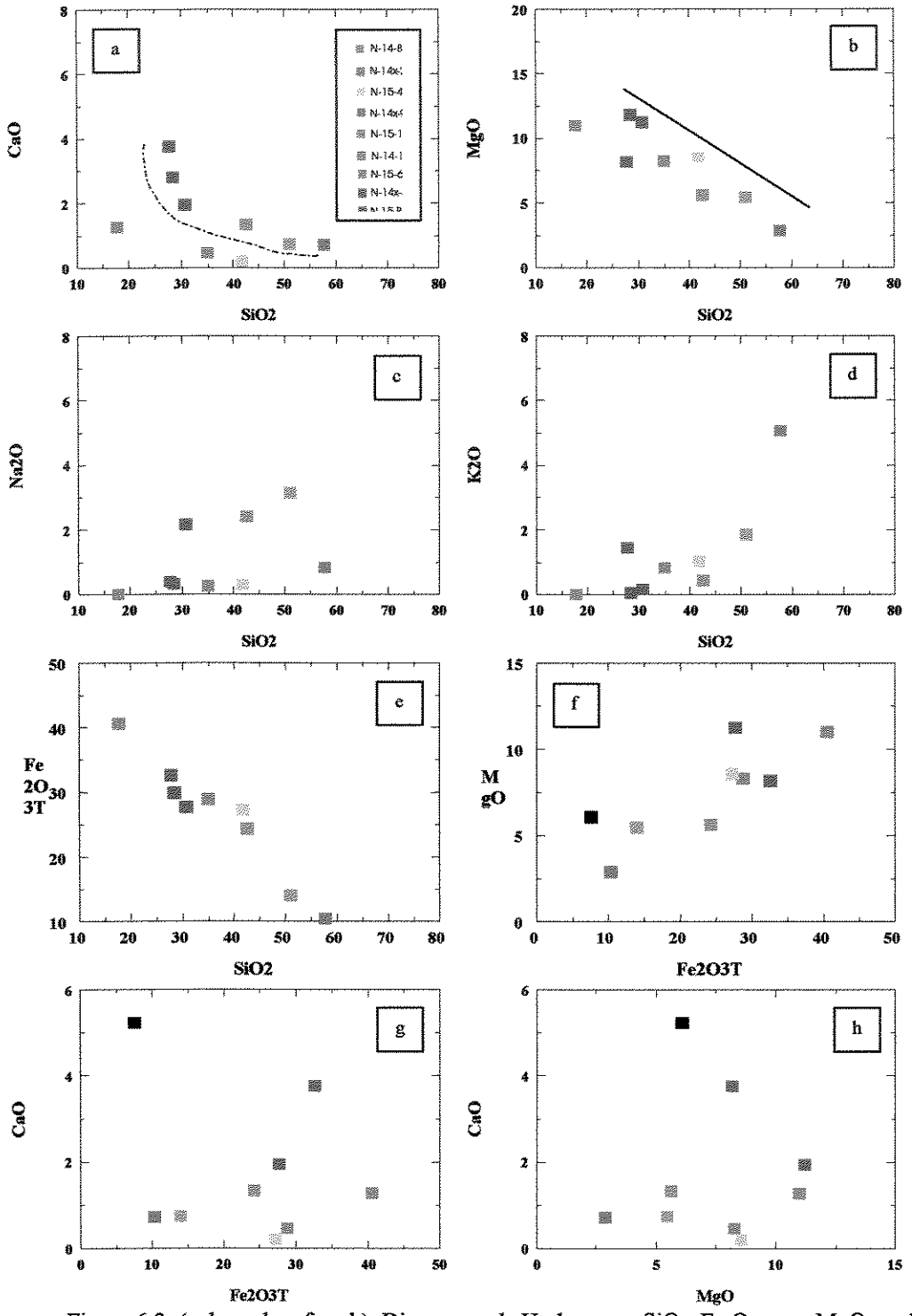


Figura 6.3 (a, b, c, d, e, f, g, h). Diagramas de Harker para SiO_2, $Fe_2O_{3(total)}$ e MgO *vs* alguns elementos maiores correspondendo as amostras mineralizadas e alteradas hidrotermalmente.

Elementos calcófilos e de transição.

Observa-se, a partir dos diagramas de Harker, que elementos calcófilos e de transição relativamente mais imóveis como o Cr, Ni e V, mantêm com o SiO_2 uma correlação claramente positiva (Fig. 6.4 a, b, d), enquanto elementos móveis, como Zn e Cu (Fig. 6.4 c, e), apresentam uma proporcionalidade negativa com a sílica. Entretanto, em relação ao Ni, o Cr mantém correlação positiva (Fig. 6.4 f).

Com relação ao Cr, tendo em conta a sua imobilidade característica, nota-se que os teores deste elemento apresentam uma grande variabilidade, entre limites de <1 a 223 ppm, com exceção das amostras N-14-8 e N-15-B (menos afetadas pelos processos de alteração), que possuem valores de 390 e 534 respectivamente (Tabela 6.1). O Cr, nestas zonas de alteração, mantém uma marcante correlação negativa com o Fe_2O_3 (Fig. 6.4 h).

O diagrama relacionando MgO e Ni (Fig. 6.4 g) mostra o desenvolvimento de duas tendências de posicionamento, quase perpendiculares, mesmo quando os resultados apresentam uma grande variabilidade dos teores de Ni, que oscilam entre 2,1 e 218 ppm.

Na tendência 1 há uma correlação positiva. As amostras que a produzem foram coletadas principalmente no nível 14 (zona 14x), sendo caracterizada esta zona pela presença de mica cromífera, fucsita e de clorita roxa (kammererita), e enriquecimento no conteúdo de ouro.

Na tendência 2, observa-se uma proporcionalidade negativa. Deve-se salientar que as amostras que participam nesta tendência são caracterizadas por uma marcante correlação inversa entre MgO e Cu com o Ni e o Cr (Tabela 6.2.). Isto evidencia que as zonas onde as alterações hidrotermais e mineralizações metálicas se manifestam com maior grau de intensidade encontram-se constituídas de sulfetos, e minerais carbonáticos, entre os quais, a dolomita ferroana tem um conteúdo importante.

Os teores de Cu são relativamente empobrecidos, observando-se que o incremento ou diminuição no conteúdo deste elemento, geralmente, é correlacionado de forma direta com as variações porcentuais do Fe_2O_3 (Tabela 6.2). Os maiores

conteúdos de Cu resultam em incrementos nos conteúdos dos sulfetos, acompanhando-se geralmente por uma diminuição nos teores de Cr e Ni.

A correlação do Zn com os outros elementos não é muito clara.

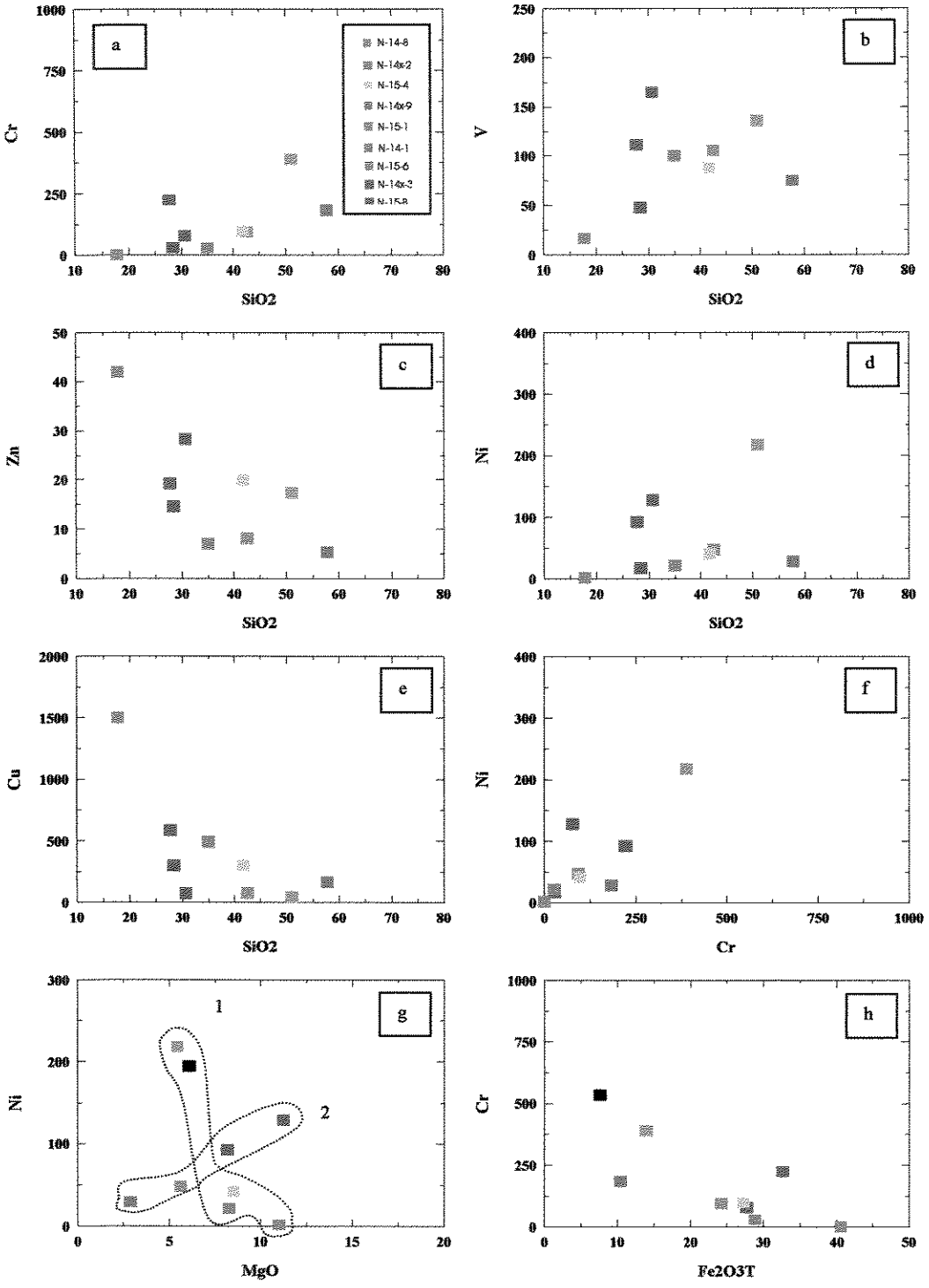


Figura 6.4 (a, b, c, d, e, f, g. h). Diagramas de Harker para SiO_2 *vs* Cr, V, Zn, Ni; Cr *vs* Ni; MgO *vs* Ni; Fe_2O_3 *vs* Cr.

Amostra (%)	N-14-1	N-14-8	N-15-4	N-15-6	N-15-B
Fe_2O_3 (%)	28,87	14,05	27,35	35	7,57
MgO (%)	8,28	5,46	8,57	11,01	6,08
Cu (ppm)	493	46	302	1500	34
Zn (ppm)	7,2	17,5	20,1	42	9,4
Cr (ppm)	30	390	98	<1	534
Ni (ppm)	21,7	218	42	2,1	194

Tabela 6.2. Correlação de MgO com Cu, Cr e Ni para amostras participantes da tendência 2 da Fig. 5.4 – g.

Elementos de Grande Raio Iônico - *(Large Íon Lithofile Elements).*

Estes elementos apresentam teores muito baixos na zona de alteração analisada. O Ba aparece limitado por valores que oscilam entre 11 e 314 ppm, com exceção de uma amostra (N-14x-2) que possui teor de 506 ppm. O Rb encontra-se entre valores de <0,5 – 46 ppm com um valor anômalo de 118 ppm também na amostra N-14x-2. O conteúdo de Sr varia de 5,8 a 36 ppm, exceto na amostra N-15-B, que possui teor de 93 ppm.

Através dos diagramas de Harker observa-se que o comportamento dos LILEs é similar ao apresentado pelas encaixantes da área, com marcante proporcionalidade positiva, quando se trata dos diagramas que relacionam Ba, Rb com K_2O (Fig 6.5 a, b, c), sendo menos acentuada no caso do Sr com SiO_2 e CaO (Fig 6.5 e, f), ainda que positiva.

Estes dados correspondem à escassez de minerais micáceos, aos quais associam-se Ba e Rb, e de carbonatos, sendo que a baixa concentração destes elementos pode ser atribuída a processos de lixiviação provocados pelos fluídos.

HFSE – *High Field Strength Elements.*

Observa-se que os teores destes elementos, em geral, são baixos. O Zr encontra-se restrito a duas faixas de variação: de <1,5 a 44 ppm e de 86 a 116 ppm, enquanto Y e Nb apresentam variações de 2,6 –17,5 ppm e 0,5 – 46 ppm respectivamente, com um valor anômalo de 118 ppm no caso do Nb (Tabela 6.1).

Os diagramas de Harker mostram que estes elementos apresentam Correlações positivas com o SiO_2, P_2O_5 e TiO2 (Fig 6.5 a, b, d, e, g, h). O

comportamento com Fe_2O_3+MgO manifesta uma proporcionalidade negativa (Fig 6.5 c, f, i). Em geral este comportamento é similar ao apresentado pelas diferentes litologias estudadas, só que no caso das zonas alteradas, o mesmo se acentua.

Os teores baixos de Zr nas zonas alteradas evidenciam uma quantidade baixa do zircao, entretanto observa-se um relativo enriquecimento de U (Tabela 6.3). Através dos dados desta tabela nota-se que a correlação entre U com Zr e SiO_2, assim como com outros óxidos e elementos traços (Tabela 6.1 e 6.3), é claramente negativa. Entretanto a proporcionalidade é positiva quando comparados os conteúdos em U com os valores de Fe_2O_3, Nd, Zn, MgO, S, e de forma menos definida com o MnO e o Cu.

Este comportamento relativamente anômalo do U indica que este elemento não tem relação direta com as rochas hospedeiras, e sim com os fluidos hidrotermais e mineralizantes. A tabela 6.1. mostra que, precisamente os teores máximos de U são acompanhados pelos conteúdos mínimos em SiO_2, Na_2O, K_2O, P_2O_5 e Zr, e conteúdos elevados de Fe_2O_3, MgO, Cu, Zn e S.

Amostra	N-14-1	N-14-8	N-14x-2	N-14x-3	N-14x-9	N-15-1	N-15-4	N-15-6	N-15-B
SiO_2 (%)	35,10	51,10	57,76	27,80	30,81	42,55	41,80	17,84	59,41
Fe_2O_3 (%)	28,87	14,05	10,46	32,61	26,70	24,28	27,35	35	7,57
P_2O_5 (%)	0,074	0,086	0,11	0,07	0,03	0,054	0,067	0,0	0,089
S (%)	0,17	0,68	2,89	8,7	6,1	0,18	2,1	8,8	0,02
Zr (ppm)	29	116	104	36	27,1	33	44	<1,5	86
U (ppm)	<2	2,8	<2	8	8,5	<2	1,5	12,8	3,1

Tabela 6.3. Resultados químicos mostrando as variações dos conteúdos de SiO_2, Fe_2O_3,P_2O_5, Zr, S e U, de amostras em zonas de alterações hidrotermais e mineralizações metálicas.

ELEMENTOS DE GRANDE RAIO IÔNICO.

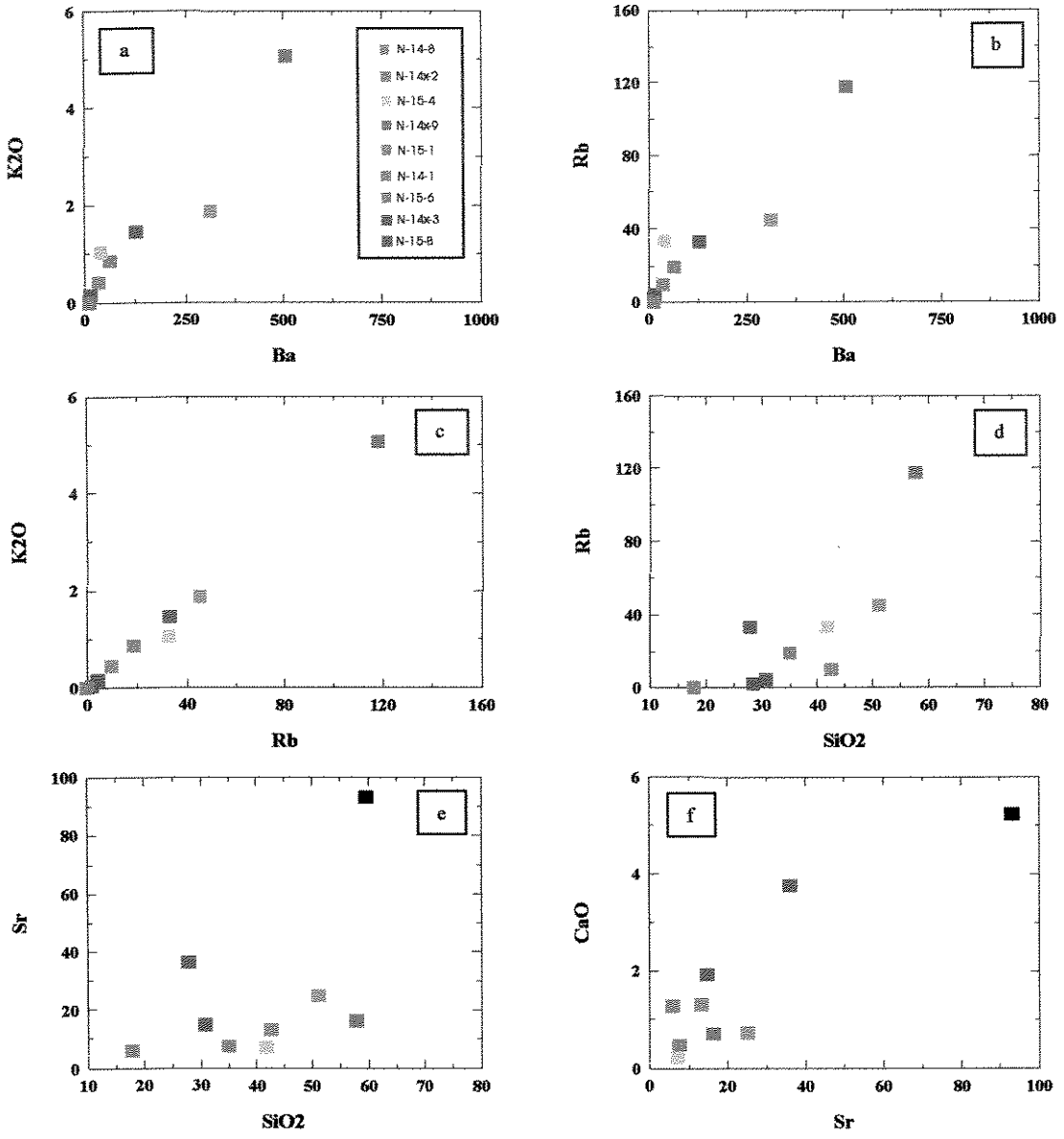


Figura 6.5 (a, b, c, d, e, f). Diagramas de Harker envolvendo Ba, Rb e Sr.

HFSE – *High Field Strength Elements*

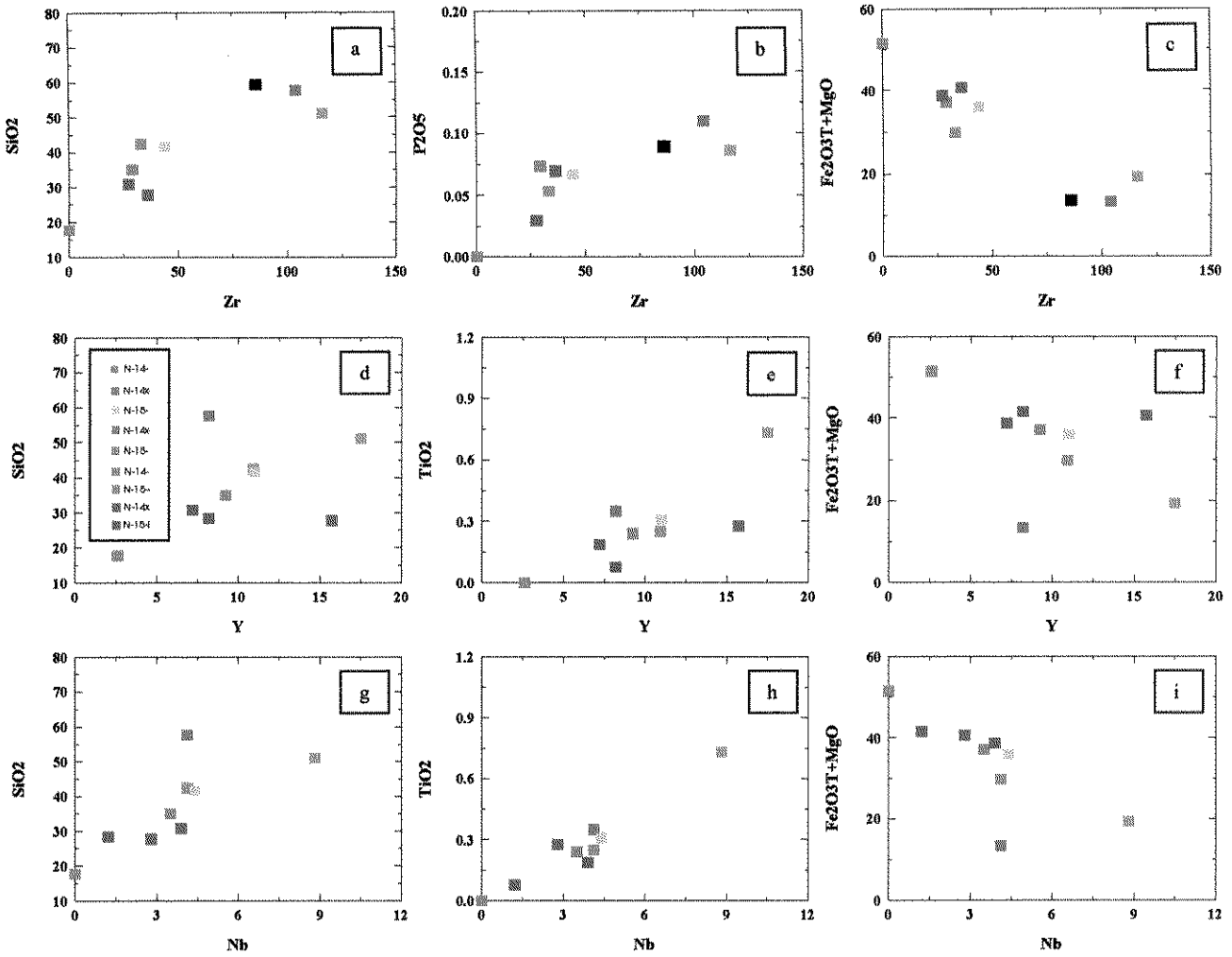


Figura 6.6 (a, b, c, d, e, f, g, h, I). Diagramas de Harker para SiO_2, TiO_2 e $Fe_2O_{3(total)}$ + MgO *vs*Zr, Y e Nb.

Capítulo VII. CONCLUSÕES.

O estudo detalhado dos tipos litológicos presentes na Mina Morro Velho (Mina Velha), as relações destes com as mineralizações metálicas, assim como as características geoquímicas das litologias, foram o objetivo principal da pesquisa abordada neste trabalho

- Os lito-tipos encaixantes dos corpos de minério consistem de rochas sedimentares constituídas de frações detríticas lito- e cristalo-clásticas principalmente de origem ígnea, submetidas a intensas transformações metamórficas. Localmente e de modo parcial conservaram-se bem os restos cristalinos e texturais originais de ditas frações. Estes lito-tipos estão representados por diversas variedades de filitos, individualizáveis, principalmente, pelo predomínio de um ou outro mineral filo-silicático, meta-litoarenitos e meta-conglomerados.

- Existem diferentes estágios de deformação tectônica, manifestos na forma de dobramentos apertados e cisalhamento, observados macro e microscopicamente. Estas estruturas, devido ao incremento geotérmico que as acompanham, disfarçam, às vezes de forma total, as características texturais e composicionais primárias das diferentes rochas, através de intensos processos de transformação mineral. Entre estes se destacam a recristalização dos plagioclásios, a poligonização do quartzo, e, de forma local, a transformação da clorita em biotita.

- Às vezes, as diferenças macroscópicas entre filitos e meta-litoarenitos são indefinidas. Isto se deve, principalmente, ao fato de que a granulação psamítica fina dos meta-litoarenitos conjuntamente com o reordenamento mineral provocado pelos processos deformacionais somente são visíveis em escala microscópica. Os filitos compõem-se da alternância de níveis bem definidos, filo-silicáticos e cálcio-silicáticos, geralmente com espessuras relativamente uniformes e com participação pobre de frações clásticas identificáveis. Essas frações são representadas por pequenas ripas de plagioclásio, quase sempre desintegradas para agregados, constituídos de albita. Estes

agregados são microcristalinos, muito finos, e devidos aos intensos processos de recristalização com formação de sub-grãos. Os meta-litoarenitos afetados pela deformações tectônicas, também se constituem de níveis cálcio-silicáticos e filosilicáticos, mas se diferenciam dos filitos porque a espessura dos níveis é muito variável e os níveis micáceos, sericito - cloríticos, são muito delgados. A outra diferença óbvia é a abundante presença de material cristalo-clástico compondo os níveis cálcio-silicáticos.

- A presença clástica nos meta-litoarenitos é representada por feno-cristais sub-idiomórficos de quartzo que, às vezes, apresentam embaiamentos ocupados por restos da matriz ígnea, recristalizada. São as chamadas baínhas de corrosão ou lacunas de cristalização, típicas de cristais de origem vulcânica. Estes clastos evidenciam uma contribuição félsica, definida e predominante. Os clastos de plagioclásio, oligoclásio – andesina, albitizado, conservam a geminação polissintética e encontram-se parcialmente recristalizados. Não foram encontrados clastos de feldspato alcalino, potássico, o que poderia significar que as áreas fonte eram essencialmente cálcio-sódicas, no entanto é possível que estes feldspatos tenham sido inteiramente transformados em sericita.

- Nos meta-litoarenitos ainda, as frações clásticas a quartzo são de grãos arredondados quando estes grãos estão inclusos em massas cloríticas. Esta é uma evidência de que as massas cloríticas representam uma matriz, contendo quartzo mais desgastado pelo transporte. Quando estes clastos estão dispersos em massas sericíticas suas formas são angulosas, significando que as zonas da sericita representam grãos de pórfiros ácidos. Este lito-tipo, de granulação psamítica, amplamente distribuído na área, mostra com clareza uma origem vulcano-clástica ácida e texturas cristalo-clásticas, O arredondamento dos grãos de quartzo incorporados na matriz demonstra bem que os grãos, tanto mono-cristais, quanto líticos foram transportados e depositados por processos sedimentares e não por processos piroclásticos, vulcânicos.

- Os filitos, provavelmente representam as passagens de granulometria originalmente mais fina, siltes e argilas, cuja composição deve ter sido semelhante à matriz dos meta-litoarenitos. Entretanto, a não ser quando a laminação original está presente, a deformação por cisalhamento aproxima texturalmente os psamitos dos lutitos, impedindo uma identificação segura.

- Em filitos e meta-litoarenitos a ocorrência da mineralização metálica é reduzida, em geral inferior de 5%, só muito localmente alcança até 20%. Os opacos são pequenos grãos achatados de pirrotita, sendo escassa a presença de pirita, arsenopirita e calcopirita. Nestes lito-tipos não se encontrou ouro ao microscópio.

- O meta-conglomerado é rocha comum na Mina de Morro Velho, sendo nomeado genericamente como Lapa Seca. O reconhecimento deste tipo litológico é muito dificultado devido ao achatamento e estiramento das frações lito-clásticas constituintes, até espessuras de 1-2 mm e comprimentos de 3-5 cm. No contexto da Mina, este processo de deformação foi muito importante, fazendo com que a identificação dos limites entre fragmentos e matriz seja práticamente indeterminável.

- A fração lito-clástica, nos meta-conglomerados estudados em Morro Velho, caracteriza-se pelo alto conteúdo em tabletes de plagioclásio (até 70%), com uma composição de An_{14-18} (oligoclásio – andesina) sob intensa albitização. Estes tabletes agrupam-se, definindo texturas aplíticas e granulares (semelhantes às dos tonalítos). Há setores afetados por processos de recristalização, nos quais as ripas de plagioclásio desintegram-se compondo agregados micro-cristalinos, geralmente albíticos, o que impossibilita definir, com precisão, a origem dos fragmentos, se vulcânicos, intrusivos ou metamórficos, assim como suas composições.

- Nestes meta-conglomerados, é característica a presença aparente de finos veios truncados (às vezes micro-dobrados), ocupados por ripas de plagioclásio, com morfologia e composição similares aos componentes dos fragmentos. Esta similaridade, assim como, a descontinuidade dos veios, terminados de forma truncada, pode

UNICAMP
BIBLIOTECA
SEÇÃO CIRCU

evidenciar a não existência de veios, mas sim de fragmentos muito achatados e micro-dobrados, resultado da manifestação do estado plástico alcançado pelos minerais, em conseqüência do aquecimento e tensões durante as deformações tectônicas.

- Amostras tomadas na zona de Bela Fama, pertencentes à mesma seqüência estratigráfica da Mina de Morro Velho, representam meta-conglomerados com evidências de ter sido afetados por deformações similares, constituídos por fragmentos aplanados e estirados fortemente. Como a intensidade destes processos foi muito inferior nessa localidade, é possível delimitar, macroscopicamente e com clareza, fragmentos e matriz. Lâminas delgadas – polidas destes meta-conglomerados mostram que a fração lito-clástica está representada por um único lito-tipo de rocha vulcânica, de composição andesito – basáltica, com abundantes fenocristais de plagioclásio, levemente sericitizados e carbonatizados, inclusos numa massa plagioclásio – micácea, finamente recristalizada. A matriz que envolve estes lito-clastos constitui-se, principalmente, de pequenas palhetas de clorita.

- O aspecto laminado, observado nos meta-conglomerados é devido à intensidade da deformação e pode levar à não distinção destes, dos filitos e meta-litoarenitos. Entre as observações que podem, às vezes, servir como guias no reconhecimento dos meta-conglomerados encontram-se as seguintes: (i) existência de agregados microcristalinos de composição predominantemente albítica e conteúdo subordinado de quartzo; (ii) presença nestes agregados de restos de tabletes de plagioclásio parcialmente recristalizados; (iii) ausência de matéria carbonosa delimitando os contatos relativamente lineares, entre níveis filo-silicáticos e cálcio-silicáticos; (iv) a não existência de cisalhamentos nas zonas félsicas e a ausência de clivagens de crenulação nas zonas micáceas.

- A presença metálica nos meta-conglomerados é de 5-10%, principalmente nas zonas carbonatizadas. É representada por cristais euhédricos de pirita, às vezes com inclusões de calcopirita e ouro, sendo que o conteúdo de pirrotita e arsenopirita pode ser predominante ou subordinado.

- Os diferentes lito-tipos estudados encontram-se afetados, além das deformações tectônicas, por processos de alteração hidrotermal, de intensidade variável e representados por carbonatização, silicificação, albitização, sericitização, cloritização e, localmente, por leves processos de biotitização e turmalinização. No caso dos filitos e meta-litoarenitos, sericitização, cloritização e albitização são os processos dominantes, sendo que, o aparecimento de biotita e turmalina ocorre de modo mais localizado. Nos meta-conglomerados, carbonatização e silicificação impõem-se aos demais processos.

- A carbonatização representa o processo hidrotermal de maior importância na área e o conteúdo metálico parece estar condicionado pela intensidade do mesmo. Este processo manifesta-se através da ankerita, calcita e dolomita ferroana. Os grãos de ankerita, caracterizados pela pigmentação por óxidos de ferro, geralmente possuem bordas límpidas de calcita, formadas por recristalização. Em zonas com baixo conteúdo de opacos e abundante calcita aumenta a ocorrência de restos da rocha original. A presença de matéria carbonosa nas zonas carbonatizadas aumenta com a intensificação das mineralizações metálicas.

- A silicificação geralmente acompanha a carbonatização, em forma de bolsões granulares poligonizados. Às vezes individualiza-se ocupando amplos espaços intersticiais, na forma de veios. Quando se associa, conjuntamente com o carbonato, às mineralizações metálicas, o conteúdo de opacos no interior das zonas quartzosas é mínimo.

- Existem dois tipos de clorita associados às zonas mineralizadas. A mais comum é do tipo magnesiano e a sua presença nas porções a quartzo, calcita e sulfetos indica que ela se formou às custas do magnésio liberado durante a recristalização da ankerita. A outra variedade, a kemmererita, de coloração rosa típica é de composição cromífera. Próximo às zonas com kemmererita encontra-se também a fucsita. A presença da kemmererita (nível 14) é acompanhada de um incremento notável no conteúdo aurífero.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

- Os minerais metálicos na Mina de Morro Velho estão representados principalmente por pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita e ouro.

- A arsenopirita apresenta-se, geralmente, como cristais hipidioblásticos, às vezes com minúsculas inclusões granulares de ouro. A existência de diferentes formas de ocorrência, as variações granulométricas e de morfologia, para este mineral e de similar forma para a pirita, sugere a possibilidade de vários pulsos de cristalização das mineralizações metálicas. A presença de pequenos cristais de arsenopirita inclusos nos cristais de pirita indica uma ordem, na qual, a arsenopirita precipitou antes, e só após a diminuição do conteúdo do arsênio e o conseqüente incremento na fugacidade de enxôfre dos fluidos hidrotermais começou a se cristalizar a pirita.

- Localmente, os cristais de arsenopirita aparecem fraturados ou intensamente fragmentados. A ocorrência destes processos tectônicos é mais característico para os níveis inferiores da mina. A pirrotita aparece ocupando tanto as fraturas, como na forma de cimento dos fragmentos de arsenopirita. É notável como, no caso em que a pirrotita ocupa fraturas, aparece, com freqüência, contendo inclusões de grãos de ouro de granulação relativamente maior do que quando estes estão inclusos em pirita, arsenopirita ou ganga.

- A pirrotita é o sulfeto mais amplamente distribuído na área, apresentando formas xenoblásticas ou em grãos poligonizados e acompanhando a todos os componentes metálicos, os quais aparecem envolvidos por esta ou como inclusões na mesma, indicando uma precipitação anterior. É característico que os grãos de pirrotita apresentem finas lamelas de despigmentação amarelada, o que sugere a passagem da pirrotita hexagonal para monoclínica. Isso se observa em zonas onde o conteúdo deste mineral é baixo. Geralmente a calcopirita está associada à pirrotita, manifestando uma provável precipitação síncrona, mas seu conteúdo é muito mais subordinado.

- Nos casos em que a pirrotita é predominante, ela aparece como matriz, cimentando os grãos e cristais tabulares de calcita. A ausência de ankerita nestes locais evidencia a formação da pirrotita a partir de soluções com enxofre que interagem, em parte com o ferro segregado deste carbonato e em parte com o ferro liberado pela recristalização de pirita e arsenopirita primárias (Vieira, 1987). A pirrotita aparece localmente depositada nos traços da clivagem do carbonato. Estas formas em que se apresenta a pirrotita evidenciam a sua deposição posterior à carbonatação.

- É freqüente observar o estiramento dos grãos de pirrotita segundo a foliação, sendo possível encontrar, às vezes, o reordenamento e a acumulação deste mineral nos eixos de micro-dobras. Outra estrutura observada é quando a pirrotita aparece intercrescida com o quartzo e a calcita, em forma de sombras de pressão, nas bordas de cristais de arsenopirita e pirita. Estes fatos são evidencias da deposição da pirrotita antes e durante os processos deformacionais

- O ouro apresenta-se como grãos xenomórficos, às vezes com algumas arestas cristalinas e tamanho que varia entre 10-150 µm. Nos níveis superiores da mina aparece como inclusões na pirita ou na interface com à pirrotita. Em profundidade o ouro é associado à pirrotita e à ganga. A desestabilização da pirita em profundidade, com o incremento da fugacidade de oxigênio e da temperatura, faz com que o ouro retido neste mineral seja liberado para a ganga, arsenopirita ou pirrotita.

- No nível 14 é abundante a disseminação fragmentada de ouro no interior do carbonato principalmente, como resultado das deformações tectônicas.

- A distinção petrográfica dos principais lito-tipos encontrados na Mina de Morro Velho reflete-se, de forma marcante, nas assinaturas geoquímicas. Os meta-litoarenitos, caracterizados em sua composição por uma contribuição vulcânico – ácida importante, apresentam os maiores valores de SiO_2 e K_2O, enquanto os meta-conglomerados, com um aporte principalmente de rochas intermediárias a básicas, são mais deficientes nestes óxidos. Os filitos permanecem mais próximos dos meta-

litoarenitos. O Na_2O mantém valores relativamente estáveis para todos os lito-tipos, sendo que os teores maiores são apresentados pelos conglomerados, o que está refletido nos intensos processos de albitização. Os teores de outros elementos tais como, MgO e Cr (Tabela VII.1.) evidenciam que esses sedimentos, no conjunto, tiveram uma sensível contribuição ultramáfica/ultrabásica.

- Os conteúdos de SiO_2, Na_2O, K_2O, Zr e Ba podem, de forma relativa, auxiliar na identificação de cada lito-tipo. Tendo em conta que, no caso da Mina de Morro Velho, as mineralizações metálicas são associadas, principalmente, às litologias conglomeráticas, as características petrográficas das rochas, assim como as suas assinaturas geoquímicas podem servir como um guia importante de exploração.

	FILITOS	LITOARENITOS	CONGLOMERADOS
SiO2	45.18 – 62.14	44.37 – 67.68	37.90 – 54.25
MgO	2.24 – 8.50	4.5 – 6.22	6.35 – 9.40
Na2O	1.63 – 6.46	1.16 – 4.04	3.78 – 6.37
K2O	0.77 – 3.01	1.25 – 2.1	0.07 – 0.66
Zr	78 – 132	96 – 173	51 – 92
Cr	216 – 570	180 – 511	197 – 305
Ba	91 – 898	206 – 827	7 – 95
Rb	24.1 – 70	36 – 54	2.6 – 17.2
Zn	6.8 – 91	7.3 – 95	5.3 – 14.7

Tabela VII.1. Óxidos de elementos maiores e elementos traços, que podem servir em qualidade de elementos discriminatórios dos diferentes lito-tipos na Mina de Morro Velho.

- Outras variáveis que podem ser tomados como parâmetros para distinguir os mesmos lito-tipos são as razões Na_2O/K_2O, Al_2O3/Na_2O, SiO_2/MgO e Zr/Y (Tabela VII.2.)

	FILITOS	LITOARENITOS	CONGLOMERADOS
Na2O/K2O	0.93 – 7.79	0.68 – 3.24	5.4 – 12.74
Al2O3/Na2O	2.32 – 8.02	2.94 – 9.77	1.84 – 2.11
SiO2/MgO	5.31 – 27.7	7.14 – 21.43	4.22 – 8.54
Zr/Y	5.45 – 12.9	6.62 – 12.75	4.67 – 6.53

Tabela VII.2. Rações de alguns elementos maiores e traços, que em qualidade de rações discriminantes permitem diferenciar os lito-tipos estudados na Mina de Morro Velho.

- Mediante o uso do diagrama ternário envolvendo Fe_2O_3+MgO – Na_2O – K_2O define-se uma natureza geoquímica de caráter ferro-magnesiano–sódico para os diferentes lito-tipos. Algumas amostras de filitos e meta-litoarenitos apresentam uma leve tendência ferro-magnesiana–potássica. O diagrama ternário Al_2O_3 – CaO+Na_2O – K_2O mostra o posicionamento das rochas, próximas ao campo dos plagioclásios, sendo que, os conglomerados, situam-se mais perto do limite do plagioclásio, enquanto filitos e meta-tufitos apresentam certa tendência ao campo da esmectita.

- Uma possível explicação para as distinções geoquímicas apontadas é o fato de que estes grupos de rochas apresentem uma relação, onde os conglomerados ocupem a base, os lito-arenitos os sigam, sendo cobertos pelos filitos, os quais, por sua vez são novamente cobertos por conglomerados, lito-arenitos e filitos e assim por diante. Constituiriam, portanto, unidades cíclicas, resultantes de acamamento gradacional gravitacional. Feições como esta foram descritas por Vieira (1988) em alguns locais da Mina Grande (porção inferior da Mina Velha). A seleção gravitacional por densidade resultaria em separação mineralógica, de fragmentos líticos e também separação geoquímica. Assim se explicaria a predominância de quartzo e plagioclásio, com densidades médias de 2,57 e 2,71, respectivamente, assim como de fragmentos ácidos, nos meta-litoarenitos, próximo ao topo, enquanto fragmentos intermediários/básicos/ultramáficos/ultrabásicos e minerais mais densos como piroxênios (3,18-3,90), anfibólios (3,06-3,44), cromo-espinelios (3,6-4,9), zircão (4,70),

etc., se concentrariam em direção à base. Os filitos, representando a fração argilosa e mais leve, se situariam no topo. Deve ser considerado que os minerais, fragmentos e argilas primários, principalmente os de natureza máfica e ultramáfica/ultrabásica tornam-se, na sua maioria indistintos após o metamorfismo, traduzindo-se ao microscópio em diferentes tipos de cloritas, mais ou menos aluminosas, ferríferas, magnesianas e até cromíferas. Enquanto isso, fragmentos ácidos e intermediários são melhor preservados em suas características originais, chamando mais a atenção do petrógrafo. Apesar da complexidade petrográfica a que se pode chegar, principalmente após o metamorfismo e a deformação, as composições químicas médias das rochas parecem ainda preservar as características originais dos sedimentos, deixando transparecer o mecanismo sob a qual se formaram.

- Entretanto, levando em conta o que concluímos anteriormente, a respeito do processo de seleção gravitacional, é mais correto considerar que a situação plausível de área fonte para os sedimentos estudados é uma fonte mista, constituída por rochas vulcânicas félsicas, rochas intermediárias vulcânicas a plutônicas, rochas máficas, como basaltos e rochas ultramáficas/ultrabásicas. Ou seja, uma área fonte onde a participação de fragmentos terrígenos de origem continental seria pequena, enquanto predomina a erosão de um arco vulcânico e de suas raízes plutônicas, provavelmente cálcio-alcalino sódico, instalado em uma situação de duplicação de crosta oceânica básica, com raízes ultramáfico-ultrabásicas expostas à erosão.

- A interpretação dos diferentes dados geoquímicos apóia as observações microscópicas quanto às contribuições de áreas –fontes mistas, nas quais a presença vulcânica ácida teve um valor importante no caso dos meta-litoarenitos, enquanto a contribuição clástica em meta-conglomerados foi principalmente de rochas de composição intermediaria, máfica a ultramáfica. Embora seja admissível que os processos de alteração hidrotermal possam contribuir com a variabilidade de teores de Ni, Cr, MgO e FeO, as razoes relativamente constantes de Ni:Cr de 1,5, parecem indicar a presença de minerais máficos (piroxênios, olivina) agora alterados a clorita e fuchsita

Capítulo VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida F.F.M. & Hasui Y. 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil.* São Paulo, Edgard Blücher. 542p.

Almeida F.F.M. 1977. O Cráton de São Francisco. *Ver. Brás. de Geociências,* 7 (4): 349- 364.

Almeida F.F.M. 1976. Estrutura do Pré-cambriano inferior brasileiro. In: SBG, Congresso brasileiro de Geologia, 29. Ouro Preto, *Boletim de resumos.* P. 201-202.

Babinski M., Chemale Jr.F. & Vanschmus W.R. 1993. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGR. BRA. GEOQUÍMICA, 3, São Paulo, 1991. *Anais.* São Paulo, SBG, v.1, p.628-631.

Bathia M.R. & Crook K.A.W. 1986. Trace element characteristics of grawackes and tectonic discrimination of sedimentary basin: Contrib. Mineral Petrol., v.92, p. 181-193.

Chemale Jr.F., Rosiere C.A., Endo I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambriam Research,* 65: 25-54.

Cordani U.G. *et al.* 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Ciências,* 52 (4): 785-799.

Dorr J.V.N. 1969. Physiographic, straatigrafic and strutural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U. S. G. S. Professional Paper,* 341A. 110p.

Endo I. 1997. *Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutoramento,* IG/USP. 243p.

Graton L.C. & Bjorge G.N. 1929. Geology of the Morro Velho Mine. *Private Report to St. John del Rey Mining Company Ltd.* Mineração Morro Velho S. A., Nova Lima.251p.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Guimarães D. 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. Serv. Geol. Min. do Brasil, 36p. *Boletim 55.*

Guitarrari M.M. 1999. *Petrografia e Geoquímica dos metassedimentos turbidíticos dos grupos Nova Lima e Sabará no Quadrilátero Ferrífer. Minas Gerais.* UNICAMP Campinas/São Paulo. Dissertação de Mestrado. 101 p.

Herz N.1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U. S. G. S. *Professional Paper,* 641-B. p. 1-58.

Ladeira E.A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.* Univ. Western Ontario. Tese de Doutoramento. 272p.

Ladeira E.A. 1985. Metalogênese do ouro da Mina de Morro Velho e no distrito Nova Lima. Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. *Boletim Especial,* Contribuições à Geologia e Petrologia. SBG-MG: 95-151.

Ladeira E.A. 1988. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil.* ***DNPM.*** v. 3, p. 301-371.

Ladeira E.A. 1991. Gênesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: a remarkable case of permanency, recycling and inhertance. A tribute to Djalma Guimarães, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: LADEIRA, E. A. (ed), Brazil Gold'91. *Anais.* Balkema, Roterdam, p. 11-32.

Machado N. & Schrank A. 1989. Geocronologia U-Pb no Maciço Piumhi: Resultados preliminares. Soc. Brás. Geol. Núcleo de Minas Gerais. Simp. Geol. de MG. *Anais,* p. 45-49.

Machado N. & Carneiro M. 1992. U-Pb evidence of late archean tectono-thermal activity in southern São Francisco shield, Brazil. *Can. J. Earth Sci.,* 29: 2341-2346.

Machado N., Noce C.M., Ladeira E.A., Belo de Oliveira O. 1992. U-Pb Geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco cráton, Brazil. *Geo. Soc. AM. Bull.,* 104: 1221-1227.

Machado N. & Noce C.M. 1993. A evolução do setor Sul do Cráton do São Francisco entre 3,1 e 0,5 Ga baseada em geocronologia U-Pb. In: SIMP. CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. *Anais.....* Salvador, SBG. P.100-102.

Machado N., Schrank A., Noce C.M., Gauthier G. 1996. Age old detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implicationsfor greenstone belt seting and evolution of a Transamazonian foreland basins in Quadrilátero Ferrífero, SE, Brazil. *Earth and Planetary Science Letters,* 141: 259-276.

Marshak S. & Alkmin F.F. 1989. Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil: A kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilhera do Espinhaço. *Tectonics,* 8(3): 491-493.

Noce C.M. 1995. *Geocronología dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.* São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 128p

Oliveira O.A.B., Clemente P.L.C., Vial D.S. 1983. Excursão à Mina de Ouro de Morro Velho. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte, 1983. *Anais...* Belo Horizonte, SBG. v.3, p. 497-505.

.Oliveira O.A.B. 1986. As falhas de empurrão e suas implicações na estratigrafia e metalogênese do Quadrilátero Ferrífero. In: Congr. Brás. Geol., 34, Goiânia, 1986. *Anais....* Goiânia, SBG. v.2, p. 1074-1087.

Padilha A.V. 1984. Formação Córrego dos Boiaderos – Uma seqüência komatítica na base do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, SBG. v. 6, p. 2668-2679.

Pinto C.P., Carvalhaes J.B., Baltazar O.F. 1996. Projeto Rio Das Velhas – Mapa Geológico Integrado, Escala 1:100 000, *Texto Explicativo.* Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 122 p.

Pires F.R.M. 1977. *Geologia do distrito manganesífero de Conselhero Lafaiete.* Rio de Janeiro. 344 p. (Dissertação de mestrado, UFRJ).

Renger F.E., Noce C.M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do supergrupo Minas; 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos,* 2(1): 1-11.

Schrank A., Machado N. 1996b. Idades U-Pb em monazitas e zircões das Minas de Morro Velho e Passagem de Mariana – Quadrilátero Ferrífero (MG). In: CONGR. BRAS. GEOL., 39, Salvador, 1996. *Anais.....* Salvador, SBG. v.39, p. 470-472.

Schorscher H.D. 1976. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto, 1976. *Bol.....* Ouro Preto, SBG. p. 194 -195

Schorscher H.D. 1979 (a). Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Anais da Academia Brasileira de Geociências,* 51, 767-768.

Silva J.N. 1996. *O supergrupo Rio das Velhas na Folha Gandarela* (SF.23-X-A-III-2-NO). Texto Explicativo. In: CPRM, 1996. Projeto rio das Velhas – Mapa Geológico Integrado (Texto Explicativo). Programa Estudos de Distritos Mineiros. Convenio DNPM-CPRM. Belo Horizonte. p. 1-20.

Teixeira W., Carneiro M.A., Noce C.M., Machado N., Sato K., Taylor P.N. 1996. Pb, Sr and Nd isotope constrains on the Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research,* 78, 151-164.

Vial D. S. Ferreira Jr.M.G. Ferrari P.G. 1987. A Lapa Seca de Morro Velho: Metavulcanitos alterados hidrotermalmente. SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 4, Belo Horizonte, *Anais,* 7: 369-390.

Vieira F.W.R. 1987a. Novo contexto geológico para a Mina De Ouro de Raposos. In: SIMP.GEOL. MINAS GERAIS, 4, Belo Horizonte, 1987,. *Resumos....* Belo Horizonte, SBG. v. 7, p. 343-357.

Vieira F.W.R. 1988. Processos epigenéticos de formação dos depósitos auríferos e zonas d alteração hidrotermal do grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1998. *Anais...* Belém, SBG, v.1, p.76-87.

Vieira F.W.R. 1991. Textures and processes of hydrothermal alteration and mineralisation in the Nova Lima Group, Minas Gerais, Brazil. In: LADEIRA, E. A. ed. *Procedings of Gold'91*. Rotterdam, A. A. Balkema., 319-325.

Vieira F.W.R. & Oliveira G.A.I. 1988. Geologia do Distrito Aurífero de Nova Lima, Minas Gerais; In: SCHBBENHAUS, C. & COELHO, C. E. S., *Principais Depósitos Minerais do Brasil.* Brasília, DNPM. v.3, p. 377-391.

8.1. Bibliografia

Choudhuri A. 1997. Geoquímica para Graduação. Campinas, SP: Editora da Unicamp., 1997. 93 p.

Figueiredo B.R. 2000. Minérios e ambiente. Campinas, SP. Editora da Unicamp, 2000. 401 p

Laboure C.B.T. 1997. Controle estrutural da mineralização aurífera na Mina de Cuiabá, Setor Noroeste do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado. Unicamp, SP.

Passchier C.W. & Trouw R.A.J. 1996. Microtectonics, 1 st. edition, Ed. Springer, Berlin, 289 p.

Rollinson H.R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Geochemistry Series. Ed. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd. 352 p.

Sanchez J.L.Z. & Centeno E.G. Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica. http//geología.igeolcu.UNAM.mx/academia/Temas/Procedencia/Procedencia.html. 3/31/2003

Winkler H.G.F. 1977. Petrogênese das rochas metamórficas. Tradução: Burger C.Jr.. Porto Alegre, Univ. Fed. Do Rio Grande do Sul.