**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO OURO DA
MINA DO PARI, NE DO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO-MG**

Gustavo Corrêa de Abreu

Orientador: Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

**SÃO PAULO
1995**

ERRATA

- 1- Agradecimentos, 4o parágrafo, onde se lê "pôr", leia "por";
- 2- Índice VII.1.2.4, onde se lê "encraves", leia "enclaves";
- 3- Índice VII.1.2.5, idem errata 2;
- 4- Índice, figura 17, onde se lê "B Mina São Bento", leia "C Mina São Bento";
- 5- Índice, fotografia 7, pg. vii, onde se lê "gnáisses", leia "gnaisses";
- 6- Índice, fotomicrografia 12, onde se lê "xyz", leia "SG-17"; e ainda onde se lê "ar/imersão?", leia somente "ar";
- 7- Índice, tabela 15, pg. ix, onde se vê "dados", entenda "Dados";
- 8- Índice, tabela 18, pg. x, onde se vê "ld", entenda (LD);
- 9- Pág. 6, 3o parág., onde se lê "Unangen", leia "Unamgen";
- 10- Pág. 18, item VII.1.2.2, 2o parág., onde se vê "0.5", entenda "0,5";
- 11- Pág. 23, item VII.1.4, 1o parág., onde se lê "leuco granodiritos", leia "leucogranodioritos";
- 12- Pág. 25, Fotografia 7, onde se lê "milonito-gnáisses", leia "milonito-gnaisses";
- 13- Pág. 28, item VII.2.1.4, 2o parág., onde se lê "metasomática" leia "metassomática".
- 14- Pág. 35, item b), 1o parágrafo, onde se lê "fluortaramita", leia "fluotaramita";
- 15- Pág. 35, 3o parág., onde se vê "0.045", entenda "0,045";
- 16- Pág. 38, item VIII.2.2.2.4, 1o parág., onde se lê "toleítico", leia "toleítico";
- 17- Pág. 54, 4o parág., onde se lê "á", leia "às";
- 18- Pág. 56, 2o parág., onde se lê "descontínua", leia "discontínua";
- 19- Pág. 64, Fotomicrografia 10, falta ") após "500x"; se
- 20- Pág. 74, IX.3.1.1.3, onde se lê "empobrecime", leia "empobrecimento";
- 21- Pág. 83, 1o parág., onde se lê "asociadas", leia "associadas";
- 22- Pág. 95, substituir "Humphris & Thompson, 1978" por "Munhá & Kerrich, 1980";
- 23- Pág. 113, 1o parág., onde se lê "Macdonanald", leia "Macdonald";
- 24- Pág. 113, 7o parág., onde se vê "3.1", entenda "3,1";
- 25- Pág. 115, 4o parág., substituir "(1980 ou 1990?" por "(1990)";
- 26- Pág. 116, 6o parág., onde se lê "Compexo", leia "Complexo";
- 27- Pág. 119, 4o parág., onde se lê "gepthermometer", leia "geothermometer";

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E METALOGÊNESE DO OURO DA
MINA DO PARI, NE DO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO-MG**

Gustavo Corrêa de Abreu

Orientador: Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1995

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004445

RESUMO

A mina do Pari localiza-se na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Santa Bárbara, distrito de Florália, Estado de Minas Gerais. A mina foi lavrada desde o século passado até 1937, por métodos exclusivamente rudimentares; na recuperação do ouro, entretanto, obtinha-se excelentes resultados.

A pesquisa geológica da região da Folha Florália 1:25.000 registra os estudos da equipe do convênio USGS-DNPM de cartografia apenas por fotointerpretação e levantamentos de perfis regionais integrados, na escala 1:150.000 (Dorr, 1969), reconhecendo anfibolitos no morro do Pari. Nos trabalhos mais recentes do orientador e sua equipe, com a participação do autor, detectou-se que a mina do Pari se insere no contexto do Supergrupo Rio das Velhas, representado pela presença dos grupos Quebra Osso e Nova Lima em posição estratigráfica normal, e contínuos, regionalmente, até os locais tipo do Quadrilátero Ferrífero, a W.

Nos trabalhos dessa pesquisa, realizados durante a reavaliação da mina do Pari, foi possível estudar perfis contínuos de rochas não-intemperizadas (obtidas em sondagens profundas) e elaborar, para o Grupo Nova Lima, uma subdivisão em quatro unidades litoestratigráficas locais, denominadas informalmente, de A, B, C e D. A **unidade A** caracteriza-se pela ocorrência de possíveis metagrauvacas; a **unidade B**, por derrames de rochas basálticas ricas em Fe, metamorfizadas, com raras intercalações de formações ferríferas bandadas (*bif's*) tipo Algoma. A **unidade C** constitui-se essencialmente de rochas metavulcânicas básicas finas (anfibolitos) e, por fim, a **unidade D**, que tem ocorrência regionalmente restrita e descontínua por falhamentos de empurrão, por derrames metabásicos de pequenas espessuras intercalados com *bif's* e carbonatos, atestando intensa sedimentação química.

O metamorfismo regional principal que afetou a borda SE do Cráton do São Francisco, de idade proterozóica inferior e intensidade crescente para E, foi, na área do morro do Pari, de fácies xisto verde superior (sub-fácies epidoto-anfibolito, na

zona da granada) - transicional para anfibolito e, claramente, afetou a mineralização. Com o uso do geotermômetro da arsenopirita foi possível confirmar nos minérios de ouro da mina do Pari a presença de duas gerações do mineral, textural e composicionalmente distintas. A primeira é representada por arsenopiritas com formas xenomórfico-irregulares, muito ricas em inclusões minúsculas de outros sulfetos (calcopirita, pirrotita e esfalerita), ouro e minerais de ganga, indicando temperaturas de reequilíbrio metamórfico de 320 a 445°C. A segunda é produto de metamorfismo da primeira, ocorrendo em cristais idiomórficos, virtualmente isentos de inclusões. Forma ou cristais individuais ou bordas idioblásticas sobre arsenopiritas da primeira geração, muitas vezes preservando-as parcialmente, como núcleos palimpsésticos. As arsenopiritas da segunda geração indicam temperaturas de pico metamórfico bem definidas em torno de 500°C. O ouro ocorre em proporção menor como inclusões diminutas (com granulometria média de 5-10µ) nas arsenopiritas e, eventualmente, em magnetitas (ouro refratário ≤15% do total). O resto é ouro livre grosso (em grãos de decimos de mm), formado por liberação das arsenopiritas da primeira geração e subsequente crescimento por cristalização acretiva no curso do processo metamórfico principal. Tanto o ouro refratário como o ouro livre têm composições próximas, nas faixas de Au(81-83,5):Ag(19-16,5) e de Au(83,3-86):Ag(16,7-14), respectivamente, indicando, mesmo para o ouro refratário do Pari, em comparação ao ouro refratário de São Bento, reequilíbrio metamórfico parcial, perda de Ag e enriquecimento de Au na liga natural do metal.

A mineralização do morro do Pari é considerada de origem vulcano-exalativa proximal e singenética, por suas características geológicas, petro-metalogenéticas e geoquímicas. Os efeitos de tipo *wall-rock alteration* são raros e subordinados, de tal forma que nem os processos metamórficos superimpostos, bastante vigorosos do metamorfismo regional principal proterozóico, conseguiram mascarar as características primárias, incluindo heterogeneidades e polaridades geoquímicas específicas nos perfis do minério sulfetado de ouro, das

encaixantes e dos anfibolitos associados da seqüência vulcano-sedimentar arqueana.

Os processos tectono-metamórficos proterozóicos tiveram principalmente efeitos mineralógico-texturais. Nos minérios, contribuíram para enobrecer suas características de interesse econômico, acarretando aumentos do teor de Au na liga natural do ouro e maior grau de liberação de suas partículas. Causaram ainda as paragêneses metamórficas regionalmente observadas e, nas rochas dos terrenos TTG, sobretudo em zonas de falhas, feldspatização potássica, metassomática.

O ambiente geológico-metalogenético da mina do Pari é, no geral, bastante similar àquele das mineralizações e jazidas do tipo *Oriental*, do *Kolar Gold Field*, na Índia, que, segundo alguns autores, também apresentam evidências mineralógico-petrográficas e termodinâmicas sugerindo origens primárias vulcano-exalativas.

Comparativamente, a mina São Bento, também no Quadrilátero Ferrífero, localizada a menos de 20 km (linha aérea) a W da mina do Pari, possui grau metamórfico mais baixo (fácies: xistos-verdes média; geotermometria de arsenopiritas: <300 - 400°C) e as características de sua mineralização diferem bastante, sobretudo quanto à granulometria do Au e ao grau de liberação. (Predomina ouro refratário, que perfaz mais de 80% do total, ocorrendo como inclusões em arsenopiritas e piritas. Predomina quantitativamente o ouro incluso nas arsenopiritas que é, texturalmente, perfeitamente comparável àquele da mina do Pari. Quimicamente, entretanto, é mais pobre em ouro, apresentando composições de Au(65-70):Ag(35-30). Essas diferenças são atribuídas à menor intensidade dos processos tectono-metamórficos que aí atuaram, mais especificamente, às temperaturas mais baixas que causaram menor remobilização nas massas sulfetadas portadoras de Au.

Podem, entretanto, existir também diferenças geoquímicas primárias entre as ligas naturais do ouro refratário incluso nas arsenopiritas das duas jazidas, visto que as características petro-metalogenéticas gerais do intervalo litoestratigráfico do grupo Nova Lima que inclui a mineralização de São Bento não evidenciam derrames de rochas

básicas sinsedimentares no local, indicando mais para um ambiente de mineralização, vulcano-exalativo distal.

ABSTRACT

The Pari gold mine is located in the NE part of the Quadrilátero Ferrífero, Santa Bárbara Township, Florália District, State of Minas Gerais. It was mined from the last century until 1937 with rudimentary methods; however, the gold recovery was excellent.

The main earlier investigations in the area of Florália (Florália 1:25,000 topographic sheet) include a regional survey and geological map published in the scale 1:150,000 by the USGS-DNPM joint venture (Dorr, 1969) that revealed the occurrence of amphibolites at the Morro do Pari, and the petrographical and metallogenetical descriptions of the Pari gold mine by Moraes & Barbosa (1939).

More recent and current studies (including this dissertation) showed that the Pari mine is hosted by the Rio das Velhas Supergroup, comprising at the site of the mine, the Quebra Osso and Nova Lima groups in normal stratigraphic setting. Both groups are regionally continuous until the type localities in the Quadrilátero Ferrífero to the W (Schorscher et al. 1982; 1986; 1990; 1991; Inda et al., 1984; Alves, 1986; Schorscher, 1988; 1991; 1992; among others).

This study was carried out during the economic reevaluation of the abandoned Pari gold mine by UNAMGEN Min. Met. Ltd. company; thus, unweathered rock and ore samples of continuous deep bore core profiles were available. It was possible to define a local informal stratigraphical subdivision of the Nova Lima Group with four units, from bottom to top, referred to as A, B, C, and D. **Unit A** includes possible metagraywackes; **unit B** consists mainly of Fe-rich basaltic metavolcanics (flows) containing rare interlayers of Algoma-type BIFs. **Unit C** comprises essentially fine grained basic metavolcanics (amphibolites). **Unit D** is a succession of metabasics of thin flow units, BIFs and metamorphosed carbonate rocks, attesting to quite intense chemical sedimentation; this unit shows a more

restricted, discontinuous areal distribution due to intensive W-vergent thrust tectonics.

The main regional metamorphic event affected the SE border of the São Francisco Craton during the Early Proterozoic and shows increasing grade from W to E. In the Morro do Pari area it reached conditions of the uppermost greenschist facies transitional to the amphibolite facies (garnet zone of the epidote-amphibolite subfacies). It also affected the sulphide gold mineralization. Two different arsenopyrite (Aspy) generations texturally occur in the ore. The older one consists of xenomorphic individuals that are very rich in tiny inclusions of other sulphides (chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite), gold and gangue minerals. The As-in-Aspy geothermometer indicates metamorphic reequilibrium temperatures of 320 to 445°C. The second Aspy generation is idiomorphic and virtually barren of inclusions. It occurs either as idioblastic individual crystals or as idioblastic overgrowths on individuals of the first Aspy generation evident as palimpsestic cores. The second Aspy generation shows well-defined metamorphic peak temperatures of $\approx 500^{\circ}\text{C}$ (As-in-Aspy geothermometer). The gold occurs to a lesser amount as 5-10 μm sized inclusions in first generation Aspy and, eventually, in magnetite (refractory gold $\leq 15\%$ of the total). The main part of the gold is coarse, free gold usually as grains several 100 μm in size. It was expelled and grew by accretive crystallization during the metamorphic transformation of the Aspy generations. Both refractory and free gold show similar compositions ranging between Au(81-83,5):Ag and Au(83,3-86):Ag, respectively. These compositions demonstrate the partial loss of Ag and enrichment of Au during the metamorphic reprecipitation and growth processes of the natural gold.

The gold mineralization of the Morro do Pari had been volcanic exhalative, syngenetic origins and was formed proximally to an active centre of submarine basaltic eruptions during a calm period, in Archean time. Wall rock alteration processes are of little importance. Neither these nor the far more vigorous regional metamorphic processes were able to destroy the well-defined, lithostratigraphically controlled

primary geochemical characteristics and polarities in the profiles of the ore horizon, the adjacent host rocks or the associated amphibolites of the Archean greenstone belt succession.

The Proterozoic tectono-metamorphic processes caused mainly mineralogical and textural transformations. They increased the grain size, Au-content and the degree of textural liberation of the gold particles thereby contributing to a higher economic value of the gold ores. They were also responsible for the metamorphic mineral assemblages of the Precambrian country rocks and for potassic metasomatic feldspathization in the regional TTG-granitoids and gneiss complex, mainly along shear zones.

The geological and metallogenetical characteristics of the Pari gold mine are quite similar to those of the Oriental-type Kolar Gold Field deposits. There, several authors suggested primary volcanic exhalative, syngenetic origins too based on mineralogical, petrographical and physical-chemical data.

Comparatively, the São Bento gold mine, located about 20 km to the W in the Quadrilátero Ferrífero, shows a lower metamorphic grade (middle greenschist facies parageneses and As- in-Aspy geothermometer temperatures of <300-400°C) and some different ore characteristics as well. Refractory gold inclusions in Aspy and pyrite (Py) represent more than 80% of the total gold. Gold inclusions in Aspy predominate and are texturally identical to their analogues from Pari. However, they have compositions of Au(65-70):Ag, poorer in Au than are the inclusions in Py. These show compositions of Au(82-87):Ag similar to those from Pari and the idiomorphic habit of the hosting Py indicates metamorphic reequilibration, too.

However, there is additional geological and petro-metallogenetical differences between Pari and São Bento that may have influenced the natural gold compositions. While Pari was originated in an environment proximal to an active volcanic centre of the Rio das Velhas greenstone belt, the São Bento gold mineralization is hosted by a lithostratigraphic interval of the Nova Lima Group that consists entirely of a metasedimentary succession of fine-grained clastic and chemical

origins. Synsedimentary volcanics are not known. The São Bento gold mineralization is also considered to be of syngenetic volcano-exhalative origins, however, it was formed in an environment distal to whatever active volcanic centre of the Rio das Velhas greenstone belt that may have been its source.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UNAMGEN Mineração e Metalurgia S.A. pelo apoio dado a este trabalho, em especial a pessoa do Sr. Gregory Moseley, que acreditou no meu trabalho e pode fornecer todo o material necessário ao seu desenvolvimento.

Agradeço muito ao meu orientador, o Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher, por tudo o que aprendi durante esta batalha, pela sua compreensão nas minhas dificuldades, e por levantar-me a cabeça nos períodos de dificuldade e de descrença.

Aos colegas Normando Claudino Moreira de Queiroga, Ivanir Luchesi, Marcelo Lopes Vidigal, Caetano Juliani, Giana Garda, Luciano Lopes Pohl, Fernando Mancini, Fernando Antonio Crocco Rodrigues e Luci Gomes Santana, que tanto colaboraram durante as fases de campo e de laboratório, participando desde as amostragens nos "duros" anfíbolitos, até as prolongadas discussões.

Não poderia deixar de agradecer meus pais pôr acreditarem que este trabalho muito poderia contribuir para mim.

Agradeço também ao desenhista cadista Alberto Luís Barbosa Ribeiro Sobrinho pelo cuidado e perfeição que realizou a arte gráfica.

A Rio Doce Geologia e Mineração S.A., na pessoa do geólogo Walter Kou Hirata, pelo apoio prestado, sem o qual as dificuldades seriam muitas.

A todos os funcionários do Instituto de Geociências que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

RESUMO

ABSTRACT

AGRADECIMENTOS

I. INTRODUÇÃO.....	1
II. DESCRIÇÃO.....	2
II.1. Localização.....	2
II.2. Aspectos Geológicos.....	2
II.3. Histórico da Mina do Pari.....	5
III. OBJETIVOS.....	6
IV. MÉTODOS UTILIZADOS.....	7
IV.1. Trabalhos Preliminares.....	8
IV.2. Trabalhos de Campo.....	8
IV.3. Estudos Laboratoriais.....	9
IV.4. Avaliações Finais.....	11
V. GEOLOGIA REGIONAL.....	11
VI. TRABALHOS ANTERIORES LOCAIS.....	13
VII. GEOLOGIA LOCAL.....	15
VII.1. Complexo Gnáissico-Migmatítico.....	15
VII.1.1. Características Gerais.....	15
VII.1.2. Petrografia Microscópica.....	17
VII.1.2.1. Gnáisses Tonalíticos.....	17
VII.1.2.2. Gnáisses Granodioríticos.....	18
VII.1.2.3. Gnáisses Graníticos.....	20
VII.1.2.4. Encraves Metamáficos.....	20
VII.1.2.5. Encraves Metaultramáficos.....	20
VII.1.2.6. Veios Pegmatíticos.....	22
VII.1.3. Geoquímica.....	22
VII.1.4. Discussão.....	23
VII.2. Supergrupo Rio das Velhas.....	24
VII.2.1. Grupo Quebra Osso.....	24
VII.2.1.1. Características Gerais.....	24
VII.2.1.2. Petrografia.....	26
VII.2.1.3. Geoquímica.....	28
VII.2.1.4. Discussão.....	28
VII.2.2. Grupo Nova Lima.....	30
VII.2.2.1. Unidade A.....	30
VII.2.2.1.1. Características Gerais.....	30
VII.2.2.1.2. Petrografia.....	30
VII.2.2.1.3. Geoquímica.....	31
VII.2.2.1.4. Discussão.....	31
VII.2.2.2. Unidade B.....	31
VII.2.2.2.1. Características Gerais.....	33

VII.2.2.2.2. Petrografia.....	33
VII.2.2.2.3. Geoquímica.....	36
VII.2.2.2.4. Discussão.....	38
VII.2.2.3. Unidade C.....	39
VII.2.2.3.1. Características Gerais.....	39
VII.2.2.3.2. Petrografia.....	39
VII.2.2.3.3. Geoquímica.....	39
VII.2.2.3.4. Discussão.....	42
VII.2.2.4. Unidade D.....	42
VII.2.2.4.1. Características Gerais.....	42
VII.2.2.4.2. Petrografia.....	43
VII.2.2.4.3. Geoquímica.....	43
VII.2.2.4.4. Discussão.....	44
VIII. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	44
VII.1. Aspectos Gerais.....	44
VII.2. Estruturas no Supergrupo Rio das Velhas (na área)....	46
VII.2.1. Foliação S_{n-1}	46
VII.2.2. Foliação S_n	48
VII.2.3. Foliação S_{n+1}	51
VII.2.4. Foliação S_{n+2}	52
VII.3. Considerações sobre a Geologia Estrutural.....	52
IX. MINERALIZAÇÃO E ENCAIXANTES.....	56
IX.1. Características Gerais.....	56
IX.2. Petrografia.....	58
IX.2.1. Petrografia da Lapa da Mineralização.....	58
IX.2.1.1. Nível de Entrada da Mina do Pari.....	58
IX.2.1.2. Nível 10 da Mina do Pari.....	61
IX.2.2. Petrografia da Capa da Mineralização.....	61
IX.2.2.1 Nível de Entrada da Mina do Pari.....	61
IX.2.2.2 Nível 10 da Mina do Pari.....	62
IX.2.3. Petrografia da Mineralização.....	62
IX.2.3.1. Nível de Entrada da Mina do Pari.....	62
IX.2.3.2. Nível 10 da Mina do Pari.....	63
IX.2.3.3. Petrografia de Minerais Opacos.....	65
IX.2.3.4 Seqüência de Crist. dos Minerais Opacos.....	70
IX.3. Geoquímica.....	73
IX.3.1. Geoquímica das Encaixantes da Mineralização.....	73
IX.3.1.1. Comportamento Geoquímico.....	73
IX.3.1.1.1. SiO_2 (Anexo 4A).....	74
IX.3.1.1.2. TiO_2 (Anexo 4B).....	74
IX.3.1.1.3. Al_2O_3 (Anexo 4C).....	74
IX.3.1.1.4. Fe_2O_3 total (Anexo 4D).....	75
IX.3.1.1.5. MnO (Anexo 4E).....	75
IX.3.1.1.6. MgO (Anexo 4F).....	75
IX.3.1.1.7. CaO (Anexo 4G).....	75
IX.3.1.1.8. Na_2O (Anexo 4H).....	75
IX.3.1.1.9. K_2O (Anexo 4I).....	76
IX.3.1.1.10. P_2O_5 (Anexo 4J).....	76
IX.3.1.1.11. Cr e Ni (Anexo 4K).....	76

IX.3.1.1.12. V e Co (Anexo 4L).....	76
IX.3.1.1.13. Zn, Cu e Pb (Anexo 4M).....	77
IX.3.1.1.14. Rb e Ga (Anexo 4N).....	77
IX.3.1.1.15. Ba e Sr (Anexo 4O).....	77
IX.3.1.1.16. Zr e Y (Anexo 4P).....	78
IX.3.1.1.17. Th, U e Nb (Anexo 4Q).....	78
IX.3.1.1.18. La, Ce e Nd (Anexo 4R).....	79
IX.3.1.1.19. Au, Ag, As e S (Figuras 15, 16).....	80
IX.3.1.2. Considerações geoquímicas sobre as Encaixantes.....	81
IX.3.2. Geoquímica da Mineralização.....	81
IX.3.3. Microgeoquímica das Ligas Naturais do Ouro.....	85
X. METAMORFISMO.....	87
X.1. Metamorfismo regional na área do Morro do Pari.....	87
X.2. Geotermômetro de Arsenopirita.....	89
XI. METALOGÊNESE DO DEPÓSITO.....	91
XI.1. Comparação com outras mineralizações.....	91
XI.2. Discussão sobre a metalogênese.....	93
XII. CONCLUSÕES.....	99
XIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Folha Florália 1:25.000 no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	3
Figura 2: Mapa de localização e acesso à área.....	3
Figura 3: Mapa geológico integrado das quadriculas Santa Bárbara e Florália, escala 1:100.000.....	10
Figura 4: Representação das rochas graníticas do Complexo Gnáissico-Migmatítico no diagrama de classificação de Debon & Le Fort (1983).....	21
Figura 5: Anfibolitos do Gr. Nova Lima e enclaves metamáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico representados no diagrama de discriminação TiO_2 - K_2O - P_2O_5 de Pearce et al. (1975).....	27
Figura 6: Seqüência litoestrutural esquemática do Morro do Pari e subdivisão litoestratigráfica do Gr. Nova Lima.....	29
Figura 7: Estereograma de análise de eixos de dobras intrafoliares (da foliação S_{n-1}).....	45
Figura 8: Estereograma de análise de polos da foliação principal (S_n).....	47
Figura 9: Estereograma de análise de eixos de crenulação (S_{n+1}).....	49
Figura 10: Estereograma de análise de polos de planos de fraturas (S_{n+2}).....	50
Figura 11: Bloco diagrama estrutural (deformações S_{n-1} a S_{n+2}) do Sgr. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima, na mina do Pari.....	52
Figura 12: Seção esquemática da amostragem em perfil contínuo do horizonte da mineralização de ouro e rochas encaixantes no nível 10 da Mina do Pari, amostras 1B a 20B.....	55
Figura 13: Seção esquemática da amostragem em perfis contínuos do horizonte da mineralização de ouro e rochas encaixantes no salão principal no nível de entrada da Mina do Pari, amostras GN-01 a GN-26.....	57
Figura 14: Seqüência de cristalização dos minerais de minério (sulfetos, ouro, magnetita) nos minérios de ouro da Mina do Pari.....	71

- Figura 15: Perfil lito-geoquímico de As e Au do testemunho de sondagem do furo inclinado (de E para W) BR-55 no intervalo (de 354,5 a 385,0 m) que compreende a mineralização. zonas A e F: anfibolitos sobre e sotopostos a mineralização; zonas B, C e E: níveis de rochas encaixantes; zona D: horizonte do minério sulfetado de ouro incluindo um nível fino de *bif* com magnetita.....80
- Figura 16: Histogramas e teores médios de S, As e Au, por zonas litológicas do testemunho do furo BR-55 no intervalo de 354,5 a 385,0 m.....82
- Figura 17: Microgeoquímica do ouro natural por microsonda eletrônica; A,B: mina do Pari e garimpo Bahu; B: mina São Bento; C: pedreira Micon.....84
- Figura 18: Aplicação do geotermômetro de 'As-em-arsenopirita' de Sharp et al. (1985) as arsenopiritas das minas do Pari e São Bento.....88

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Vista da boca da mina do Pari (nível de entrada) quando do início dos trabalhos de reavaliação pela UNAMGEN Min. Met. S.A.....	4
Fotografia 2: Salão principal da mina do Pari no nível de entrada. Observam-se as marcas da amostragem do perfil da parede N do salão (ver também Figura 13).....	4
Fotografia 3: Gnaiss tonalítico fino, milonitizado (Amostra No. T-72).....	16
Fotografia 4: Gnaiss granodiorítico porfirítico (Amostra T-23).....	16
Fotografia 5: Gnaiss granítico, milonitizado e finamente foliado. Nota-se na matriz cor rosada pela presença de feldspato potássico (Amostra T-13).....	19
Fotografia 6: Veio pegmatítico grosso mostrando feldspatos alcalinos com exsoluções de albita (Amostra T-14)....	19
Fotografia 7: Rocha metaultramáfica biotitizada do Gr. Quebra Osso. O intervalo amostrado está próximo (a poucos decímetros) do contato com os milonito-gnáisses do Complexo Gnáissico-Migmatítico (Amostra No. T-71)....	25
Fotografia 8: Nível de sulfeto maciço, rico em pirrotita e calcopirita interceptado por sondagem nas rochas metaultramáficas do Gr. Quebra Osso do Morro do Pari (Amostra T-76).....	25
Fotografia 9: Formação ferrífera bandada (<i>bif</i>) tipo Algoma de fácies mista, óxido-silicato, com magnetita, grunerita, granada (almandina) e quartzo, entre outros (Amostra s/n°).....	32
Fotografia 10: Quartzo-carbonato-plagioclásio-clorita-biotita-hornblenda-xisto encaixante da lapa do minério de ouro do nível 10 (Amostra G-2B).....	32
Fotografia 11: Minério sulfetado de ouro do nível de entrada da Mina do Pari, exibindo alternância de bandas ricas em arsenopirita (granular branca) e pirrotita (finamente foliada, de cor amarela nas partes escuras da amostra, sem muita expressão na foto). Ocorrem ainda bandas quartzo-carbonáticas (Amostra E-1).....	35

INDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1: Rocha metaultramáfica do Gr. Quebra Osso, ora com bandas ricas em talco na matriz e porfiroblastos de cummingtonita, ora com bandas ricas em cummingtonita e hornblenda (Amostra e Lâmina T-70; pol.+; aumento 25x).....	35
Fotomicrografia 2: Metagrauvacas da unidade A do Grupo Nova Lima, apresentando biotitas e plagioclásios com intensa saussuritização (Amostra e Lâmina T-67; pol.+; aumento 200x).....	37
Fotomicrografia 3: Microcrenulação (S_{n+1}) em anfibolito fino do Grupo Nova Lima (Lâmina GN-8Aa; pol.+; aumento 200x).....	37
Fotomicrografia 4: Dobra intrafoliar (S_{n-1}) no minério de ouro do Horizonte Pari, Grupo Nova Lima, da fase deformativa mais antiga verificada na Mina do Pari. No minério, observam-se sulfetos dobrados (Lâmina GN-11B; pol.//; aumento 25x).....	40
Fotomicrografia 5: Formação ferrífera (<i>bif</i>) tipo Algoma com magnetita, grunerita, fluotaramita e quartzo (Lâmina LG-17; pol.//; aumento 200x).....	40
Fotomicrografia 6: Idem fotomicrografia 5 (pol.+).....	40
Fotomicrografia 7: Clorita - hornblenda - biotita - xisto, encaixante da capa da mineralização no nível 10 da mina do Pari (Lâmina 18-BA; pol.+; aumento 25x).....	41
Fotomicrografia 8: Granada em banda silicática do minério de ouro do nível de entrada da Mina do Pari mostra a foliação principal (S_n) por finas inclusões seriadas de minerais opacos. Essas representam texturas palimpsésticas de níveis (S_0) subparalelos (Lâmina GN-16; pol.//; aumento 100x).....	59
Fotomicrografia 9: Aspecto textural geral dos minerais opacos no minério. Arsenopirita amarelo-clara granular, calcopirita amarelo-dourada granular-fina subordinada (no centro da foto como inclusão em arsenopirita), pirrotita amarelo-amarronzada tabular a granular, e esfalerita cinza média (dois grãos tabulares na parte esquerda superior da foto, o maior está em contato com pirrotita) formam níveis subparalelos na matriz silicática ciza escura a preta (Seção polida H-27; ar, pol.//, aumento 100x).....	59
Fotomicrografia 10: Arsenopirita da 1ª geração (Asp1) com diminuta inclusão de ouro. A Asp1 é rica também em	

- outras inclusões (sulfetos e minerais de ganga), no caso predominando às de ganga (Seção polida H-84; imersão, pol.//, aumento: 500x.....64
- Fotomicrografia 11: Arsenopirita de 2ª geração, idioblástica e pobre em inclusões que, no caso, são de esfalerita (cinza média), pirrotita (castanha-róseo) e de minerais de ganga (preta) (Seção polida H-90; ar, pol.//, aumento 200x).....64
- Fotomicrografia 12: Magnetitas poiquiloblásticas (3 grãos cinza-claros, grossos), englobando pirrotitas (grãos finos amarelos) e arsenopiritas (grãos maiores amarelo-claros), em matriz silicática (cinza escura) (Seção polida No. xyz; ar/imersão?, pol.//, aumento 100x)...67
- Fotomicrografia 13: Diminutas inclusões de arsenopirita (1 grão, branca), pirrotita (vários grãos, amarela) e ganga (cinza escura a preta) em magnetita (cinza média) (Seção polida SG-17; imersão em óleo, pol.//, aumento 200x).....67
- Fotomicrografia 14: Magnetita xenomórfica (cinza média) com inclusões de ouro (centro da foto), pirrotita (amarela clara) e esfalerita (cinza escura) e ganga (cinza muito escura a preta) (Seção polida SG-17; ar, pol.//, aumento 200x).....69
- Fotomicrografia 15: Grão de ouro livre, grosso (no centro da foto com $\varnothing \sim 150 \mu\text{m}$) na matriz silicática do minério (cinza escura a preta). Ocorre ainda arsenopirita (amarela clara) (Seção polida P-1A; ar, pol.//, aumento: 100x.....69
- Fotomicrografia 16: Grãos intersticiais de ouro (nos centros dos círculos de marcação) e pirrotitas (cinza clara amarelada) inclusos em granada da matriz silicática (Seção polida E-1; ar, pol.//, aumento: 10x.....72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados geoquímicos de rochas gnáissicas do Complexo Gnáissico-Migmatítico.....	121
Tabela 2: Dados geoquímicos de enclaves metamáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico.....	122
Tabela 3: Dados geoquímicos de enclaves metaultramáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico.....	123
Tabela 4: Dados geoquímicos de rochas metaultramáficas dos grupos Quebra Osso e Nova Lima do Morro do Pari e do vale do Córrego Quebra Osso.....	124
Tabela 5: Dados geoquímicos de rochas anfibolíticas do Grupo Nova Lima.....	125
Tabela 6: Dados geoquímicos de xistos do Grupo Nova Lima....	126
Tabela 7: Dados geoquímicos de formações ferríferas, veios de quartzo e metacherts carbonáticos do Grupo Nova Lima....	127
Tabela 8: Mina do Pari, nível de entrada: dados geoquímicos das rochas encaixantes e da mineralização de ouro.....	128
Tabela 9: Mina do Pari, nível 10: dados geoquímicos das rochas encaixantes e da mineralização de ouro.....	131
Tabela 10: Dados geoquímicos de Au (ppb), Ag (ppm), As (ppm) e S (%) de amostras de testemunho de sondagem do furo BR-55	133
Tabela 11: Mina do Pari: dados microanalíticos do ouro (por microsonda eletrônica).....	135
Tabela 12: Mina do Bahu: dados microanalíticos do ouro (por microsonda eletrônica).....	136
Tabela 13: Mina São Bento: dados microanalíticos do ouro refratário incluído em sulfetos (por microsonda eletrônica).....	137
Tabela 14: Pedreira Micon: dados microanalíticos de uma pepita de ouro em veio carbonático de rochas metaultramáficas (por microsonda eletrônica).....	137
Tabela 15: dados microanalíticos de sulfetos (por microsonda eletrônica).....	138
Tabela 15A: Arsenopiritas da Mina do Pari.....	138
Tabela 15B: Arsenopiritas da Mina São Bento.....	138

Tabela 15C: Pirrotitas da Mina do Pari.....	138
Tabela 15D: Calcopirritas da Mina do Pari.....	139
Tabela 15E: Calcopirritas da Mina São Bento.....	139
Tabela 16: Dados gerais do trabalho.....	140
Tabela 17: Amostras, lâminas e seções polidas da Mina do Pari.	141
Tabela 18: Métodos analíticos e limites de detecção (ld)....	153

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa geológico 1:15.000 (Anexo 1A) e perfil esquemático 1:5.000 (Anexo 1B) da área do Morro do Pari.(Envelope na contr-capa final)

Anexo 2: Planta geológica do nível 10.....(Envelope na contr-capa final)

Anexo 3: Planta geológica do nível 11.....(Envelope na contr-capa final)

Anexo 4: Diagramas geoquímicos de variação do horizonte da mineralização e rochas encaixantes nas interseções das amostragens seriadas dos níveis de entrada e 10 da mina do Pari.

4A - SiO_2	154
4B - TiO_2	154
4C - Al_2O_3	155
4D - Fe_2O_3	155
4E - MnO	156
4F - MgO	156
4G - CaO	157
4H - Na_2O	157
4I - K_2O	158
4J - P_2O_5	158
4K - Cr e Ni.....	159
4L - V e Co.....	159
4M - Zn, Cu e Pb.....	160
4N - Rb e Ga.....	160
4O - Ba e Sr.....	161
4P - Zr e Y.....	161
4Q - Th, U e Nb.....	162
4R - La, Ce e Nd.....	162

I-INTRODUÇÃO

A área de trabalho caracteriza-se por ser uma extensão do "Greenstone belt Rio das Velhas" e demais unidades litoestruturais do Quadrilátero Ferrífero (Schorscher, 1976; 1978; 1979a; 1992; Inda et al., 1984; Schorscher et al., 1986; 1990). Caracteriza-se assim como um importante metalotecto, principalmente para Au, entre outros, onde a mina do Pari se insere.

A importância metalogenética desta mina de ouro, no âmbito do Quadrilátero Ferrífero, vem de suas características bastante distintas das demais mineralizações auríferas aí presentes. As condições metamórficas são de grau superior a da quase totalidade das minas de Au do Quadrilátero Ferrífero, isto é, encontra-se na transição da fácies xisto verde alto para anfibolito.

Até então, nenhum trabalho de cunho acadêmico e sistemático fora realizado nesta mina, exceto de caracterização sumária do minério. No século passado (entre 1885 e 1893), esta mina produziu cerca de 2,68 toneladas de Au com métodos bastante rudimentares de lavra e tratamento de minério. A recuperação do Au era feita por gravimetria e amalgamação. Quando da paralização de suas atividades em 1937, a mina já operava numa profundidade de cerca de 300m, lavrando rocha fresca, mostrando já nessa época, que o minério sulfetado não possuía características refratárias de recuperação, como era observado na Mina São Bento e outras da região que permitiam extração do Au apenas em litologias intemperizadas, ou seja, em minério oxidado.

O estudo aqui apresentado iniciou-se em 1986, como trabalho de iniciação científica, junto a linha de pesquisa do Prof. Schorscher sobre a evolução crustal precambriana, petrogênese e metalogênese de partes do Espinhaço Meridional e do Quadrilátero Ferrífero, e vem contribuir sobre conhecimentos da geologia do nordeste do Quadrilátero Ferrífero e de metalogenia do Au. O

estudo petrogenético e metalogenético realizado, enfoca a mina do Pari no contexto do Supergrupo Rio das Velhas (Schorscher, 1978; 1979a; 1992 e Schorscher et al 1986).

II-DESCRIÇÃO

II.1 Localização

A mina do Pari localiza-se a 15 km a leste da cidade de Santa Bárbara, Minas Gerais, no distrito de Florália, na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero. A área do morro do Pari inclui-se na porção centro-sul da Quadricula Florália (folhas 1:25.000 do convênio DNPM-USGS, latitudes: 19° 45' e 20° 00' sul e longitudes 43° 15' e 43° 22' 30" Wgr), e tem aproximadamente 16 km², limitada pelas coordenadas UTM 7.787.500N e 7.793.500N, 675.950E e 678.700E (figuras 1 e 2, e anexo 1).

A distância de Belo Horizonte a Santa Bárbara é de 100 km, no sentido leste da capital. O acesso a partir de Belo Horizonte se dá pela BR-262 por 70 km até o entroncamento da MG-05, estando Santa Bárbara a 30 km deste ponto. Atravessando Santa Bárbara, toma-se uma rodovia vicinal não pavimentada que leva a represa do Peti, caminhando-se nesta por 5 km, donde toma-se a direita por outra estrada vicinal até atingir o lugarejo de Florália. A mina do Pari se encontra a 2km a sul desta localidade, às margens do rio Valéria.

II.2 Aspectos Geológicos

O morro do Pari é caracterizado por uma estruturação homoclinal cuja orientação geral é de N10°E com mergulhos entre

FIGURA 1

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA FOLHA FLORÁLIA (1:25.000)
NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG.

FIGURA 2

MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA

Fotografia 1: Vista da boca da mina do Pari (nível de entrada) quando do início dos trabalhos de reavaliação pela UNAMGEN Min. Met. S.A..

Fotografia 2: Salão principal da mina do Pari no nível de entrada. Observam-se as marcas da amostragem do perfil da parede N do salão (ver também Figura 13).

45 e 50° para E. Duas são as unidades lito-estratigráficas principais que o compõe: o Complexo Gnáissico-migmatítico envolvente e as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas.

O Supergrupo Rio das Velhas, no local, possui duas de suas unidades: o Grupo Quebra Osso e o Grupo Nova Lima, dispostas em posição normal, ou seja com as rochas meta-ultramáficas do Grupo Quebra Osso na base da seqüência. O Grupo Nova Lima, na área, compõe-se majoritariamente por rochas metabásicas (anfibolitos diversos) com raras intercalações de formações ferríferas do tipo algoma e xistos derivados de rochas vulcânicas e/ou vulcano-clásticas e possíveis meta-grauvacas.

Neste trabalho propõe-se uma subdivisão local-informal do Grupo Nova Lima em 4 unidades, denominadas de A, B, C e D, descritas a seguir, com base em levantamentos detalhados de superfície (esc. 1:15.000) e, principalmente, subterrâneas (esc. 1:200) e de testemunhos de sondagens (esc. 1:100).

A mineralização aurífera ocorre em meio das rochas metabásicas, mais precisamente no topo da unidade B do Grupo Nova Lima, paralelamente às estruturas da foliação principal, e constitui-se de granada-biotita-hornblenda-xistos sulfetados basicamente com pirrotita e arsenopirita.

O Complexo Gnáissico-migmatítico possui uma composição primária de leucotonalitos e leucogranodioritos que apresentam caráter polimetamórfico com retrometamorfismo de fácies xisto verde médio a superior (Schorscher, 1980). Por vezes, no local, apresentam-se com veios pegmatíticos, e também com intercalações de rochas metabásicas e metaultrabásicas.

O metamorfismo mostra-se no fácies xisto verde superior indicado pelas paragêneses de granada (almandina), hornblenda e grunerita nos anfibolitos e formações ferríferas; além de cummingtonita nas rochas meta-ultramáficas.

II.3 Histórico da Mina do Pari

As mais antigas informações a respeito das lavras de ouro na área vêm dos meados do século XIX, mencionando que o Coronel

João José Carneiro de Miranda explorava aluviões e coluviões e rochas intensamente intemperizadas, não se sabendo com exatidão o local e não se tendo deste período nenhum registro escrito sobre a produção.

As operações em subsolo na Mina do Pari (Fotografia 1) iniciaram-se em 1882 pela Santa Bárbara Gold Mining Company Ltd. Esta empresa minerou até 1889, lavrando aproximadamente 270.000t de minério, com um teor médio produzido de 10,5 g/t. Os proprietários desta empresa eram os ingleses William Turner Atherton e Percy Murly Gotto, também sócios de outras minas na região.

A partir de 1889, a Mina do Pari foi arrendada à Saint John Del Rey Mining Co. (atual Mineração Morro Velho S.A.), que lavrou e desenvolveu a mina até suas últimas atividades em 1937, quando atingia 300m de profundidade.

A partir disso, a mina foi abandonada, encheu-se d'água até o nível principal de acesso e assim permaneceu até junho de 1988, quando a Unangen Mineração e Metalurgia S.A. re-iniciou os trabalhos para reavaliação das reservas, vindo então a concluí-los no início de 1991 (Fotografia 1).

O autor trabalhou na UNAMGEN Min. e Met. S.A. por período de 3 anos, participando integralmente da reavaliação do depósito.

III OBJETIVOS

A Dissertação tem os seguintes objetivos principais e complementares:

a) Estudo da seqüências de rochas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas do Morro do Pari, incluindo o mapeamento geológico em escalas 1:15.000, com os seguintes intuitos :

a.1) detalhamento litoestratigráfico e litoestrutural da seqüência (utilizando-se amostras e dados de sondagem.

- a.2) estudo da mineralização e reconstruções facirológicas a partir da confecção de mapas das galerias da mina do Pari, em escala 1:200, com coleta sistemática de amostras (Fotografia 2) para estudos laboratoriais e medidas estruturais.
- b) Caracterização petro-metalogenética detalhada das unidades litoestruturais mapeadas e descritas em furos de sondagem, com enfoque nas rochas do Grupo Nova Lima, em particular aquelas mineralizadas em Au.
- c) Estudo geoquímico da mineralização e de suas encaixantes, bem como o estudo da microgeoquímica das ligas naturais de Au-Ag, objetivando aspectos genéticos.
- d) Geotermometria em arsenopirita para avaliar as prováveis temperaturas dos processos metalogenéticos e metamórficos que envolveram a mineralização de Au da mina do Pari.
- e) Geração de um modelo da geologia e metalogênese do ouro da mina do Pari através da interpretação e integração dos dados obtidos.

IV ETAPAS DO TRABALHO E MÉTODOS UTILIZADOS

Planejou-se o trabalho para ser executado em 05 etapas consecutivas:

IV.1 Trabalhos Preliminares

IV.1.1 Levantamento bibliográfico segundo enfoques temáticos, regionais e locais.

IV.1.2 Trabalhos foto-geológicos utilizando-se fotografias aéreas ampliadas para escala 1:15.000 (SACS-Serv. Aéreo Cruzeiro do Sul vôo O-359, original em 1:30.000, fotos em branco e preto, números 2124, 2125 e 2126). Além disso, foram utilizadas fotografias aéreas dos levantamentos da USAF, do ano de 1966 (fotos 81098, 81099 e 81100, em branco e preto, escala 1:60.000); e da USAF/Missão 96, (fotos coloridas normais, números 7746, 7747 e 7748, e infra-vermelho falsa-cor, números 1678 e 1679, escala 1:40.000, ano 1969).

IV.1.3 Revisão e estudo das coleções de amostras dos trabalhos anteriores de Schorscher et al. (1986 e 1990), disponíveis no IG-USP, incluindo litologias regionais da área e rochas e minérios da Mina do Pari.

IV.2 Trabalhos de Campo

IV.2.1 Mapeamento lito-estrutural em escala 1:15.000, utilizando-se a malha de picadas transversais a estruturação geológica em espaçamento de 100 m e piqueteamento de pontos a cada 25 m, no Morro do Pari e adjacências (feitas pela UNAMGEN Min. e Met. S.A. para pesquisa mineral).

IV.2.2 Mapeamento litoestrutural de galerias, em escala 1:200, em bases cartográficas levantadas a teodolito e distanciômetro eletrônico de precisão, e coleta sistemática de amostras. A amostragem foi executada de forma a seccionar perpendicularmente a zona mineralizada (Fotografia 2). Também nesta etapa teve-se a oportunidade de descrever e amostrar litotipos provenientes de sondagens rotativas diamantadas.

IV.3 Estudos Laboratoriais

IV.3.1 Estudos mineralógico-petrográficos ópticos convencionais de lâminas delgadas e seções polidas, com eventual uso de Difração de Raios-X para identificação mais precisa de algumas fases minerais previamente separadas.

IV.3.2 Estudos de química mineral via microsonda eletrônica em arsenopirita para uso em geotermometria; também estudos da microgeoquímica das ligas naturais do Au, entre outros, utilizando equipamento CAMECA - CAMEBAX e padrões internacionais de sulfetos e elementos puros. Os trabalhos analíticos foram realizados pelo orientador em convênio internacional no Instituto de Geociências da Universidade de Mainz, Alemanha.

IV.3.3 Preparação e análise de amostras para elementos maiores e traços via Fluorescência de Raios-X seqüencial automática, que foram efetuadas com equipamento Phillips do Instituto de Geociências de Hamburgo, Alemanha, pelo orientador. Uso do método "Fire Assay" (Fusão e copelação) e Absorção Atômica para análise de Au em ppb em minérios sulfetados; método Água Régia/Absorção Atômica para análise de As (ppm), Ni (ppm), Cr (ppm), Ag (ppm), S (%) (Laboratórios

LEGENDA:

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

- ARQUEANO
- ANL—GRUPO NOVA LIMA
 - Qo—GRUPO QUEBRA OSSO
 - CG—COMPLEXO GNAÍSSICO MIGMATÍTICO

PROTEROZOICO

- Ei—SUPERGRUPO ESPINHACO

- Mi—SUPERGRUPO MINAS
- Mp—GRUPO PIRACICABA
- Mit—GRUPO ITABIRA
- Mc—GRUPO CARACA
- Mi—MINAS INDIVISO

Mb—ROCHAS METABÁSICAS INTRUSIVAS

FALHAS

RODOVIA PAVIMENTADA
RODOVIA S/ PAVIMENTAÇÃO

MINA EM ATIVIDADE

MINA DESATIVADA

CIDADE / VILA

ESTRADA DE FERRO
VITORIA / MINAS

0 1 2 3 4km

MAPA GEOLÓGICO, INTEGRADO DAS QUADRICULAS SANTA BARBARA E FLORALIA

ESCALA: 1: 100.000

Modificado de DORR II (1969) e
CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS MINERAIS

NOMOS, Rio de Janeiro e São Bento Mineração, Santa Bárbara, Minas Gerais.

IV.3.4 Tratamento dos dados químicos com confecção de gráficos diversos.

IV.4 Avaliações Finais

IV.4.1 Interpretações finais com base na análise e integração dos dados obtidos no campo, na mina, e laboratoriais mineralógico-petrográficos e geoquímicos.

IV.4.2 Redação e defesa da Dissertação de Mestrado.

V GEOLOGIA REGIONAL

Sobre o Quadrilátero Ferrífero existe uma imensa bibliografia geológica, sendo que aqui serão relatados os aspectos mais significativos do arqueano, em particular da sequência vulcano-sedimentar Rio das Velhas, redefinida como Supergrupo Rio das Velhas (Schorscher, 1979).

O Quadrilátero Ferrífero e suas circunvizinhanças têm sido alvo de muitos estudos desde o século XIX, quando foram publicados os trabalhos pioneiros do barão W. L. von Eschwege (1817, 1822 e 1833, apud Schorscher (1988 e 1992)).

As primeiras divisões estratigráficas para a região do Quadrilátero Ferrífero devem-se a Eschwege (op. cit) e Pissis (1842, apud Schorscher, 1975; 1988). Derby (1906) introduziu o termo "Série Minas" para uma associação de xistos, quartzitos, itabiritos e calcários sobrepondo mica-xistos e Gnaisses embasamentais, intrudidos por um corpo granítico de dimensões consideráveis na região de Gouveia, o anticlinal central do Espinhaço Meridional e correlacionou essa sequência com associações litológicas similares do Quadrilátero Ferrífero.

A subdivisão da "Série Minas" foi elaborada por Harder & Chamberlin(1915) dividindo-a em 5 formações denominadas da base para o topo: Quartzito Caraça, Xisto Batatal, Formação Ferrífera Itabira, Formação Piracicaba e Quartzito Itacolomi.

Barbosa(1954) propõe a "Série Barbacena" mais antiga que a "Série Minas". Oliveira(1956) questiona os trabalhos de Barbosa(1954) propondo uma "Série Pré-Minas" para a área do Quadrilátero Ferrífero composta de rochas metassedimentares e que estariam sotopostas aos quartzitos da "Série Minas" e sobrepostas aos Gnaisses e granitos do embasamento.

No âmbito dos trabalhos de mapeamento 1:25.000 do Quadrilátero Ferrífero, efetuados pelo convênio USGS-DNPM Ryneanson et al.(1954), e Matheson(1956) descreveram contatos discordantes entre a "Série Pré-Minas" e a "Série Minas". Assim, Dorr II et al.(1957) redefine a "Série Pré-Minas" e a denomina de "Série Rio das Velhas", constituída por xistos, filitos, rochas metavulcânicas, metagrauvacas e formações ferríferas tipo Algoma (Grupo Nova Lima) e quartzitos e conglomerados(Grupo Maquiné).

Dorr II(1969) considera o Grupo Nova Lima como um ambiente eugeossinclinal tipo "flysch" e o Grupo Maquiné como depósitos molássicos.

Almeida(1976) e Schorscher(1976) consideram a "Série Rio das Velhas" como um "greenstone belt". Schorscher(1978 e 1979) descobre rochas ultramáficas com texturas "spinifex" e propõe que a "Série Rio das Velhas" seja elevada a categoria de Supergrupo, subdividindo-o em 3 Grupos, da base para o topo:

-**Grupo Quebra Osso:** sequência metaultramáfica vulcânica (metakomatiitos), com intercalações de metassedimentos químicos (BIFs, metacherts) subordinadas;

-**Grupo Nova Lima:** sequência de xistos predominantemente máficos, metabasitos/anfibolitos, formações ferríferas tipo Algoma de fácies diversas, metagrauvacas e raros metassedimentos mais maduros(quartzitos, entre outros);

-**Grupo Maquiné:** quartzitos e conglomerados com piritas detríticas.

A idade radiométrica das rochas do "Greenstone belt" Rio das Velhas apenas recentemente foi definida com maior precisão. Os trabalhos de Herz(1970) foram pioneiros, desse gênero, no Quadrilátero Ferrífero, e mostraram idades Arqueanas e Proterozóicas inferiores à Brasilianas, respectivamente, com os métodos Rb-Sr e K-Ar em minerais. Thorpe et al.(1984) determinaram idades (Pb-Pb) de cerca de 3,0 G.a. em galenas das mineralizações auríferas do distrito de Nova Lima, M.G..

Recentemente, nos trabalhos de Machado et al.(1992, 1993), Machado e Carneiro(1992) e Carneiro et al.(1993), foram reportadas idades superiores a 3,4 G.a. em zircões de rochas graníticas, que por Dorr II & Barbosa (1963) e Dorr II (1969) foram consideradas muito mais jovem com base nas datações radiométricas iniciais daquela época (Herz et al.,1961).

Assim, caracteriza-se para a região do Quadrilátero Ferrífero, uma evolução políciclica, que causou rejuvenecimento isotópico dos sistemas Rb-Sr e K-Ar de minerais e rochas.

VI TRABALHOS ANTERIORES LOCAIS

A Quadrícula de Florália, 1:25.000(coordenadas 19° 52' 30" / 20° 00' 00" lat. S e 43° 15' 00" /43° 22'30" long. W) foi a única não mapeada pela equipe DNPM-USGS. A sua geologia foi apenas foto-interpretada e verificada em perfis regionais para fins de integração no mapa regional do Quadrilátero Ferrífero em escala 1:150.000 de Dorr II(1969). Constam nesse mapa da área da quadrícula em questão apenas a ocorrência de alguns pequenos corpos de rochas metabásicas e metaultramáficas, entre estes um corpo de anfibolito no morro da Mina do Pari, e dois corpos de quartzitos próximos ao vilarejo de Florália, além das extensões finais das unidades Minas da folha Rio Piracicaba na extremidade sudeste da quadrícula, envoltos por terrenos granito-gnáissicos, regionalmente predominantes.

Diversas notas sobre a mina do Pari, como por exemplo Costa Sena(1881), incluem análises químicas do minério com até 21 ppm de Au, e o relatório de Ferrand (1884) menciona a produção de 2,68 toneladas de ouro até 1884.

Morais e Barbosa(1939) descreveram sucintamente a mina, com alguns detalhes sobre suas galerias e poços, e ainda forneceram dados litológicos e mineralógico-petrográfico, inclusive com petrografia de minérios. Também citaram dados históricos extraídos de Calógeras(1904).

A área de Florália tem sido mapeada em escala regional e identificada como uma continuidade do Supergrupo Rio das Velhas, em particular, dos Grupos Quebra Osso e Nova Lima, só não sendo encontrado, até o presente, as litologias correspondentes ao Grupo Maquiné (Schorscher et al., 1982; 1986; 1990; Inda et al., 1984; Alves, 1986; Schorscher, 1988; 1991; 1992; entre outros).

Entre esses trabalhos destaca-se o de Alves (1986) que apresentou um mapa foto-geológico em escala 1:50.000, das quadriculas de Florália e adjacentes a N e a S, utilizando-se de métodos integrados de interpretação de produtos de diversos sensores remotos (tanto de aeronave, como orbitais) incluindo controle de campo e os dados de mapeamento e petrografia até então levantados pelo orientador e sua equipe. Desses trabalhos e dos mapeamentos de Dorr II e colaboradores (Dorr II, 1969), foi integrado o mapa geológico regional das Quadriculas de Florália e Santa Bárbara(Figura 3).

Um estudo sobre a microgeoquímica do Au de ocorrências do NE do Quadrilátero Ferrífero foi realizado por Schorscher et al.(1991), constatando-se que a liga natural Au-Ag da Mina do Pari possui até 85% de Au, sendo comparativamente mais rica que a liga da mina São Bento(com apenas 75% de Au), também no município de Santa Bárbara, M.G.(Figura 3).

VII GEOLOGIA LOCAL

VII.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico

VII.1.1 Características Gerais

As rochas do complexo Gnáissico-Migmatítico ocupam as áreas a leste e a oeste das rochas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, representando cerca de 65% da área mapeada em superfície (Figura 3, Anexo 1). Em seção transversal W-E a estruturação geológica, confirmada por sondagens, mostra que tais rochas ocorrem tanto sobrepostas quanto sotopostas à sequência supracrustal arqueana.

Em superfície são escassos os afloramentos de rochas frescas, que ocorrem em apenas alguns pontos nos cortes da estrada de ferro Vitória-Minas e nas barrancas e leito do rio Valéria. Nas áreas desse complexo predomina um relevo mais arrasado composto de mares de morros suaves. O solo caracteriza-se por ser de coloração esbranquiçada, bastante arenoso, e os saprólitos, em alguns cortes, mostram-se estruturados com feldspatos caolinizados. É comum presença de venulações de quartzo hialino, branco-leitoso e/ou fumê, , assim como de mobilizados pegmatóides caracterizados por placas centimétricas de muscovita associada a quartzo e feldspato (caolinizado).

As rochas frescas desta unidade foram obtidas principalmente da porção leste do complexo Gnáissico-Migmatítico, através de furos de sondagem que cortaram estas litologias antes de atravessar as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas.

Fotografia 3: Gnáisse tonalítico fino, milonitizado (Amostra No. T-72).

Fotografia 4: Gnáisse granodiorítico porfirítico (Amostra T-23).

Macroscopicamente, mostram texturas de granulometria média a fina, mais raramente porfirítica, e distinguindo-se composicionalmente os seguintes litotipos principais: Gnaisses tonalíticos (Fotografia 3), Gnaisses granodioríticos (Fotografia 4), Gnaisses graníticos (Fotografia 5), veios pegmatíticos (Fotografia 6) e venulações quartzosas com espessuras até métricas. Ocorrem ainda rochas meta-básicas e meta-ultrabásicas, na forma de intercalações métricas a submétricas, que por suas características petrográficas não se correlacionam a seqüência de supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas.

Os gnaisses graníticos são raros e referem-se a porções mais ricas em microclínio dos gnaisses granodioríticos, sobretudo em locais onde se observa intensa cataclase e/ou milonitização (Fotografia 5). Acredita-se que estes litotipos tenham sofrido metassomatismo potássico durante eventos termo-tectônicos do Proterozóico.

Em todos os furos de sondagem observou-se que a foliação milonítica se intensifica em direção aos contatos com as supracrustais, assim, como também aumenta a incidência dos litotipos mais ricos em microclínio e de veios de quartzo. A foliação milonítica, de fato, constitui-se numa das principais características regionais dos contatos do Complexo Gnáissico-Migmatítico com o Supergrupo Rio das Velhas, que sofreram uma reestruturação pelo último evento tectônico de vergência para oeste.

VII.1.2 Petrografia Microscópica

VII.1.2.1 Gnaisses Tonalíticos

Apresentam-se com texturas granoblásticas equigranulares, cuja granulometria média varia de 0,3 a 5mm, sendo mais raros os tipos e/ou porções porfiroblásticas. A mineralogia modal básica constitui-se de plagioclásio (An_{24-28} = Oligoclásio) entre 35 e 45%, quartzo entre 30 e 40%, microclínio entre 5 e 15%, biotita entre 2 e 5%, muscovita entre 0,5 e 3%, sericita entre 1 e 5%, e

minerais opacos entre 0,5 e 1,5%. Como minerais traços são comuns a apatita, epídoto, carbonatos, clorita, e zircão.

Os plagioclásios mostram-se moderadamente zonados, por vezes deformados e/ou fraturados, sendo notável a feição textural do microclínio, que muitas vezes, aparece nas bordas ou em fraturas no interior dos grãos de plagioclásio mostrando uma relação de substituição entre os feldspatos, indicativa de um evento metassomático potássico, ainda que incipiente que afetou os tonalitos. Sericita e carbonatos também aparecem às vezes em fraturas ou núcleos dos grãos de plagioclásio, porém não são comuns.

O quartzo mostra extinção ondulante e normalmente é de granulometria fina (de 0,3 a 0,5 mm). As biotitas possuem um pleocroísmo verde claro a verde oliva, e raramente são transformadas e/ou associadas com Fe-cloritas.

VII.1.2.2 Gnaisses Granodioríticos

Sua estrutura é semelhante à dos gnaisses tonalíticos, porém ocorrem dois tipos texturais principais, um granoblástico subequigranular com marcante orientação dos minerais, por vezes até bandado; e outro porfoblástico com leve orientação de seus minerais.

Para ambos a composição modal estimada mostra plagioclásio (An_{22-27} = Oligoclásio) entre 10 e 30%, microclínio entre 15 e 25%, biotita entre 5 e 10%, epídoto entre 0.5 e 2%, sendo os opacos raros. Entre os minerais traços ocorrem titanita, apatita, carbonato e sericita.

Os cristais de plagioclásio estão mais intensamente substituídos por microclínio que nos gnaisses tonalíticos; muitos, senão todos, os porfiroblastos de microclínio possuem pequenos restos de plagioclásio como inclusões.

Fotografia 5: Gnáisse granítico, milonitizado e finamente foliado. Nota-se na matriz cor rosada pela presença de feldspato potássico (Amostra T-13).

Fotografia 6: Veio pegmatítico grosso mostrando feldspatos alcalinos com exsoluções de albite (Amostra T-14).

VII.1.2.3 Gnaisses Graníticos

Possuem estrutura bandada e fortemente orientada, com texturas miloníticas marcantes, quase sempre, intercalações de níveis pegmatíticos de granulometria grossa, ricos em microclínio, quartzo e muscovita.

Em sua composição predomina o microclínio (30 a 35%) sobre o plagioclásio (5 a 15%), com biotita de cor verde a verde oliva (2 a 5%) e quartzo recristalizado (30 a 45%). Minerais traços são carbonatos, epidoto, zircão, titanita, apatita e allanita.

VII.1.2.4 Enclaves Metamáficos

São rochas de estrutura foliada, textura grano-lepidoblástica, e cuja composição mineralógica apresenta biotita de cor castanho avermelhada (20-40%), quartzo (10-20%), plagioclásio (albita) (5-15%), hornblenda (2-5%), carbonatos (5-15%) e epidoto (5-15%). Mostram ainda como minerais traços titanita, apatita, opacos e allanita.

A classificação dos protolitos é bastante insegura visto as intensas transformações mineralógico-texturais metamórficas. Provavelmente tratam-se de rochas metabásicas alteradas em processos metassomáticos com fluidos metamórfico-hidrotermais. Ocorrem restos de plagioclásios envoltos por uma massa de microclínio.

VII.1.2.5 Enclaves Metaultramáficos

Tratam-se de rochas de cores verde escuras com estrutura bastante foliada, principalmente nas porções mais ricas em biotita (e epidoto). A textura mostra-se grano-lepidoblástica e equigranular nos níveis máficos-ultramáficos e inequigranular porfiroblástica com remobilizações nas porções félsicas ricas em quartzo e microclínio.

Figura 04: Representação das rochas graníticas do Complexo Gnaíssico-Migmatítico no diagrama de classificação de Debon & Le Fort (1983).

A mineralogia essencial é constituída por talco, Mg-clorita, epidoto, biotita, plagioclásio; ocorre ainda microvenulações de quartzo e também porções com porfiroblastos de microclínio.

VII.1.2.6 Veios Pegmatíticos

Apresentam textura muito grossa, sendo que o microclínio (60-70%) chega a atingir granulação muito grossa, com mais de 5 cm de dimensão maior. Em cortes polidos observam-se pertitas com lamelas de exsolução de albita (2-5%) com até 1mm de espessura. Mostram também quartzo (10-20%), muscovita (2-5%), e uma segunda geração textural de exsoluções de micropertitas nos microclínios. Os minerais opacos são raros.

VII.1.3 Geoquímica

Os dados analíticos das rochas gnáissicas do Complexo Gnáissico-Migmatítico (Tabela 1) foram representados no diagrama de classificação de rochas graníticas de Debon & Lefort (1983) (Figura 4). Verificam-se 3 amostras com composição de tonalitos, 3 de granodioritos e 1 amostra (T-23) de composição transicional entre granodiorito e adamelito (granito 3b).

O comportamento geoquímico dessas rochas é similar às demais descritas na região (por ex.: Schorscher, 1979a, 1988, 1992; Inda et al., 1984; entre outros), caracterizando-as como constituintes típicos de terrenos TTG e "granito-greenstone belt" arqueanos. Pelos dados geoquímicos desse trabalho pode-se diferenciar apenas dois grupos litológicos principais. Ainda assim, nota-se que os termos mais ricos em K_2O são também caracterizados por enriquecimento de certos elementos traços incompatíveis e outros, entre estes, Rb, Ba, Zr, Nb, La, Ce e Y (Tabela 1).

Os dados analíticos dos enclaves máficos (Tabela 2) e ultramáficos (Tabela 3) foram tratados conjuntamente com as rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso, incluindo uma amostra de rocha de comparação do local tipo (Schorscher, 1991)

(Tabela 4) e com os anfibolitos do Grupo Nova Lima (Tabela 5). Em relação aos anfibolitos Nova Lima, os enclaves máficos e ultramáficos mostram-se claramente enriquecidos em K_2O , CaO , P_2O_5 , Rb , Ba , Sr , Zr e K_2O , MgO , P_2O_5 , Cr , Rb , Ba e Sr , respectivamente.

Em relação as rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso da área do Pari, tais enriquecimentos são menos regulares e menos claros em função das alterações metamórficas, hidrotermais-metassomáticas que esses enclaves também sofreram; entretanto, em relação a amostra do local tipo (Tabela 4, amostra C) os enriquecimentos principalmente em elementos incompatíveis voltam a ser mais flagrantes possíveis.

No diagrama $TiO_2 \times P_2O_5 \times K_2O$ (Pearce et al., 1975) os enclaves máficos e ultramáficos posicionam-se conjuntamente com rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso do morro do Pari, num agrupamento nitidamente separado dos anfibolitos com características de toleíitos oceânicos do Grupo Nova Lima (da mesma área) assim como do metakomatiito do local tipo do Grupo Quebra Osso (amostra C) que não sofreu as alterações metassomáticas (Figura 5).

VII.1.4 Discussão

As rochas estudadas caracterizam o Complexo Gnáissico-Migmatítico, na área do morro do Pari, com continuação dos terrenos TTG do Quadrilátero Ferrífero, onde também predominam os leucotonalitos e leucogranodiritos e que se assemelham a muitos outros terrenos arqueanos do mundo com idade superiores a 3.200 m.a. (Schorscher & Leterrier, 1980; Inda et al., 1984; Schorscher, 1988, 1992; Carneiro, 1992).

Os litotipos mais ricos em microclínios são mais jovens e ocorrem, mais comumente em zonas de falhas e/ou de intensa deformação que são ao mesmo tempo as zonas de máxima percolação e atividade metassomática dos fluidos metamórficos-hidrotermais. No caso estudado, essas rochas concentram-se nas proximidades do contato tectônico com as rochas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas.

Similarmente, os enclaves máficos e ultramáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico, bem como as rochas metaultramáficas do Grupo Quebra Osso da área do Pari, também sofreram os efeitos dos processos tectono-metamórficos e metassomáticos. Suas características geoquímicas são resultados de fortes alterações e não permitem mais a caracterização geoquímica dos protolitos com segurança.

VII.2 Supergrupo Rio das Velhas

Na área o Supergrupo Rio das Velhas está representado por restos do Grupo Quebra Osso e de uma porção predominantemente metamáfica do Grupo Nova Lima (Figura 3, Anexo 1).

VII.2.1 Grupo Quebra Osso

VII.2.1.1 Características Gerais

O Grupo Quebra Osso é caracterizado por ser a unidade basal da seqüência "greenstone belt" na área, estendendo-se em continuidade física até o perfil da seção tipo do córrego Quebra Osso. Está em contato direto, tectônico, sobrepondo os gnaisses do Complexo Gnáissico-Migmatítico e em contato estratigráfico normal, gradacional em pequeno intervalo, com o Grupo Nova Lima ao topo, mostrando a estrutura do Supergrupo Rio das Velhas no local, em posição normal, contrária ao que foi descrito da Quadricula Santa Bárbara (1:25.000), a oeste (Schorsch, 1988, 1992; Luchesi, 1991).

A espessura do Grupo Quebra Osso, no local, verificada através de sondagem varia entre 6 e 12 m.

Fotografia 7: Rocha metaultramáfica biotitizada do Gr. Quebra Osso. O intervalo amostrado está próximo (a poucos decímetros) do contato com os milonito-gnáisses do Complexo Gnáissico-Migmatítico (Amostra No. T-71).

Fotografia 8: Nível de sulfeto maciço, rico em pirrotita e calcopirita interceptado por sondagem nas rochas metaultramáficas do Gr. Quebra Osso do Morro do Pari (Amostra T-76).

As rochas metaultramáficas são representadas por anfibólio-clorita xisto, por vezes com níveis de talco-clorita xisto, intensamente deformados (cisalhados). Níveis extremamente ricos em biotita (flogopita porfiroblástica) grossa, são comuns e evidenciam um processo sinmetamórfico de metassomatismo potássico (de biotitização/flogopitização) das rochas metaultramáficas.

Uma das sondagens realizadas interceptou um horizonte centimétrico de sulfeto maciço rico em pirrotita e calcopirita, apresentando teores anômalos em Ni e Au, respectivamente de 2510 e 0,10 ppm, atestando assim o potencial metalogenético deste grupo de rochas, para mineralizações de sulfetos magmáticos (Fotografia 8).

VII.2.1.2 Petrografia

A composição petrográfica principal é de anfibólio-clorita xistos, bandados com níveis ricos em clorita e outros ricos em anfibólio. As cloritas são magnesianas e se dispõem em bandas centimétricas a milimétricas. Os anfibólios (hornblenda e cummingtonita) dispõem-se também em bandas centimétricas, ora com textura nematoblástica, ora discordantes a foliação principal como porfiroblastos tardi a pós cinemáticos.

Não foram observados restos de estruturas ígneas primárias preservadas. Porém é marcante o crescimento de porfiroblastos, discordantes da foliação principal, de biotitas, de cor verde oliva, sobretudo na zona de contato das metaultramáficas com os gnaisses, bem como na porção do topo do contato estratigráfico-transicional com o Grupo Nova Lima. Junto às porções mais biotitizadas da rocha, ou seja, principalmente nas proximidades do contato inferior são freqüentes venulações centimétricas de quartzo. A biotitização e a venulitização de quartzo indicam a composição dos fluidos metamórfico - hidrotermais metassomatizantes como alcalinos-potássicos, portadores de SiO_2 e provavelmente também de Al_2O_3 .

Figura 05: Anfibolitos do Gr. Nova Lima e enclaves metamáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico representados no diagrama de discriminação $TiO_2 - K_2O - P_2O_5$ de Pearce et al. (1975).

VII.2.1.3 Geoquímica

As amostras do Grupo Quebra Osso, do morro do Pari (Tabela 4) mostram, em relação aos komatiitos do vale do córrego Quebra Osso, enriquecimentos marcantes em TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , V, Ba, Rb, Zn e Cu. Nota-se paralelamente um empobrecimento em MgO , Ni e Cr. Os dados analíticos dessas rochas foram comparados com outros dos enclaves máficos e ultramáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico e dos anfibolitos do Grupo Nova Lima do morro do Pari (Figura 5).

A geoquímica dessas rochas não está refletindo composições de rochas metaultramáficas, e sim representam claramente os efeitos de processos de alteração metamórfico-hidrotermal metassomáticos sobre as rochas ultramáficas originais.

VII.2.1.4 Discussão

As rochas do Grupo Quebra Osso, do morro do Pari, estudadas nesse trabalho, apresentam-se bastante modificadas. Sob os aspectos mineralógicos destaca-se uma intensa biotitização, indicando a entrada metassomática, sobretudo de K, mas também de Al no sistema. Este fato também é apoiado pela convergência geoquímica e atual similaridade com os enclaves máficos e ultramáficos do Complexo Gnáissico-Migmatítico que sofreram os mesmos processos.

As espessuras reduzidas do Grupo Quebra Osso na área, o grau metamórfico mais elevado, as intensas transformações metassomáticas nos contatos tectônicos com o Complexo Gnáissico-Migmatítico, são fenômenos que caracterizam e explicam os processos transformadores sofridos por essas rochas.

O mapeamento geológico mostra, indubitavelmente, a continuidade física do Grupo Quebra Osso até o morro do Pari, e que as litologias estudadas, de fato, são a continuidade lateral

ESTRATIGRAFIA				PARAMETROS DE AVALIAÇÃO									
UNIDADE ESTRATIGRAFICA	SIMBOLOGIA	LITOLOGIA PREDOMINANTE	ESPESSURA MÉDIA (m)	SULFETOS					VENULAÇÃO		CISALHAMENTO (INTENSIDADE DA DEFORMAÇÃO)	ANOMALIA Au (ppm)	
				A	Po	C	Py	Pn	E	Q			Cc
Complexo Gnaissico Migmatítico		Gnáisses graníticos e granodioríticos, gnáisses tonalíticos, pegmatóides, biotita-xistos e metadioritos											
SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS GRUPO NOVA LIMA	UNIDADE D	Anfibolitos finos com intercalações de níveis carbonáticos, granatífero com magnetita, "BIF's"	20										
		Anfibolitos finos	80										
	UNIDADE C	Horizonte Florália (veio de quartzo)	3.0										
		Anfibolitos finos	40										
		Anfibolitos granatíferos com lentes de BIF	2-5										
	UNIDADE B	Biotita-clorita xisto	1-3	6-8									
		Horizonte Pary Superior											
		Biotita-clorita xisto		1-2									
		Biotita-hornblenda xisto com granada											
		Biotita-clorita xisto	0.5-0.8	1-3									
		Horizonte Pary inferior											
		Biotita-clorita xisto											
		Anfibolitos granatíferos	40										
		BIF com magnetita, granada e sulfetos. Grafita xisto na base	1-25										
		Anfibolitos granatíferos	20										
		BIF com magnetita e granada	0.5-1.0										
		Anfibolitos granatíferos	5-10										
	UNIDADE A	Possíveis Melagruvacos	5-10										
	Grupo Quebra Osso	Talco-clorita-tremolita serpentina-xistos	6-12										
Complexo Gnaissico Migmatítico		Gnáisses tonalíticos milonitizados											

EXPRESSIVIDADE

Muita fraca

Fraca

Moderado

Forte

Muito forte

A - Anopirita

Po - Pirrotita

C - Calcopirita

Py - Pirita

Pn - Pentlandita

E - Esfarelita

Q - Quartzo

Cc - Carbonato

BIF - Formação Ferrífera Bandada

Figura 06: Sequência litoestrutural esquemática do Morro do Pori e subdivisão litoestratigráfica do Gr. Nova Lima.

daquelas da seção tipo definidas e detalhadas por Schorscher(1978; 1992).

VII.2.2 Grupo Nova Lima

No morro do Pari, através dos testemunhos de sondagem, o Grupo Nova Lima foi subdividido em 4 unidades lito-estratigráficas informais, designadas, da base para o topo, de A, B, C e D(fig.6):

VII.2.2.1 Unidade A

VII.2.2.1.1 Características Gerais

A unidade A encontra-se na base da sequência do Grupo Nova Lima, no morro do Pari, e sobrepõe o Grupo Quebra Osso por contato estratigráfico normal, gradacional em pequeno intervalo. O contato com a unidade B, ao topo, é também normal.

Na unidade A predominam quartzo-hornblenda-biotita-plagioclásio xistos, e finas intercalações de clorita xistos.

A espessura dessa unidade varia entre 5 e 10 m.

VII.2.2.1.2 Petrografia

O litotipo principal da unidade A do Grupo Nova Lima é representado por quartzo-hornblenda-biotita-plagioclásio xistos com estrutura foliada e textura grano-lepidoblástica fina, com granulometria média sempre inferior a 1mm. Os grãos de quartzo são recristalizados-poligonais e os plagioclásios, em grãos ovalado-arredondados quase sempre, envoltos de massas foliadas de biotitas, conferindo aos xistos aspecto de rochas metassedimentares, de meta-subgrauvacas.

Os clorita-xistos constituem-se em finos níveis foliados, aparecem intercalados aos quartzo - hornblenda - biotita - plagioclásio xistos, e possuem textura pórfiro-lepidoblástica. Os porfiroblastos são de clorita magnesiana, hornblenda e mais

raramente de biotita. Esses litotipos foram classificados como metatufos e/ou metatufitos máficos.

VII.2.2.1.3 Geoquímica

Os dados analíticos das amostras analisadas dessa unidade referem-se a uma rocha sub-grauváquica e outra de xisto ferro-magnesiano com elevados teores de Cr e Ni (Tabela 6, respectivamente, amostras 67 e 68). Sob aspectos geoquímicos globais, principalmente dos elementos maiores, ambas as amostras apresentam-se com teores de SiO₂ de rochas ígneas intermediárias. Os demais elementos também têm concentrações muito semelhantes a rochas ígneas intermediárias, tais como andesitos basálticos (Tabela 6, amostra T-68) e dacitos (Tabela 6, amostra T-67). Os dados analíticos, entretanto, ainda são poucos e deve-se mencionar que as rochas grauváquicas comumente apresentam esse tipo de características geoquímicas (Condie, 1976; McLennan & Taylor, 1984).

VII.2.2.1.4 Discussão

As rochas em questão, ainda que raras e de difícil acesso - foram, a presente, registradas somente nessa área por recuperação em testemunhos de sondagens - merecem algumas considerações por sua importância para a evolução geológica local e regional. Os dados petrográficos são sugestivos de rochas metassedimentares e metavulcanoclásticas. Nesse caso, a natureza dos metassedimentos grauváquicos isentos de feldspato potássico e dos xistos máficos indicaria a exposição à erosão, ainda que restrita, de porções de crosta siálica de tipo TTG, como parte de um eventual embasamento pré-"greenstone belt", em conjunto com áreas já constituídas ou cobertas por rochas

Fotografia 9: Formação ferrífera bandada (*bif*) tipo Algoma de fácies mista, óxido-silicato, com magnetita, grunerita, granada (almandina) e quartzo, entre outros (Amostra E).

Fotografia 10: Quartzo-carbonato-plagioclásio-clorita-biotita-hornblenda-xisto encaixante da lapa do minério de ouro do nível 10 (Amostra G-2B).

ultramáficas, possivelmente representativas do Grupo Quebra Osso. Entretanto, os dados petrográficos, principalmente texturais, que favorecem a interpretação metassedimentar, não são, por si só, totalmente conclusivos - milonitização com auge metamórfico posterior, pode causar texturas idênticas - e também os dados geoquímicos, não permitem descartar uma origem metavulcânica de rochas intermediárias para a unidade A, basal do Grupo Nova Lima.

VII.2.2.2 Unidade B

VII.2.2.2.1 Características Gerais

A unidade B (informalmente chamada ainda de formação Pari) constitui-se basicamente de anfibolitos granatíferos e intercalações métricas de formação ferrífera tipo Algoma (quartzo + magnetita + grunerita + raros sulfetos), às quais se associam finas lentes de xistos grafitosos. Ao topo da unidade B aparece o horizonte sulfetado com arsenopirita e pirrotita, portador da mineralização de Au. Este está balizado, na capa e lapa, por clorita-hornblenda-biotita xistos com venulações quartzosas centimétricas a milimétricas. A espessura da unidade B varia de 58 a 81m (Figura 6).

VII.2.2.2.2 Petrografia

Basicamente, encontram-se 5 tipos petrográficos distintos: a) anfibolitos granatíferos; b) formações ferríferas tipo Algoma; c) grafita xistos; d) encaixantes da mineralização e o horizonte mineralizado. A mineralização e as rochas encaixantes da mineralização serão detalhadas em capítulo próprio.

a) Anfibolitos granatíferos:

São rochas de cores verde escuras a pretas, de estrutura foliada, e textura grano-nematoblástica, sua moda constitui-se

Fotografia 11: Minério sulfetado de ouro do nível de entrada da Mina do Pari, exibindo alternância de bandas ricas em arsenopirita (granular branca) e pirrotita (finamente foliada, de cor amarela nas partes escuras da amostra, sem muita expressão na foto). Ocorrem ainda bandas quartzo-carbonáticas (Amostra E-1).

Fotomicrografia 1: Rocha metaultramáfica do Gr. Quebra Osso, ora com bandas ricas em talco na matriz e porfiroblastos de cummingtonita, ora com bandas ricas em cummingtonita e hornblenda (Amostra e Lâmina T-70; pol.+; aumento 25x).

de hornblenda (verde) e anfibólio incolor (somados 50-60%) com cristais de 2 a 3mm de comprimento; quartzo(10-15%); plagioclásio(10-15%); granada (almandina)(3-5%) euhédricas; biotita castanho avermelhada(2-5%); e opacos (2-3%). Os minerais traços observados são apatita, epídoto e carbonatos.

As granadas foram identificadas por difração de raios-X, após separação de minerais em grãos sob lupa binocular.

Por vezes, observam-se rochas com porções inequigranulares, as hornblendas formando porfiroblastos poiquiloblásticos, de granulometria grossa.

b) Formações ferríferas bandadas (bifs) tipo Algoma:

São rochas de estrutura bandada, com bandas milimétricas a, mais raramente, centimétricas(Fotografia 9), com bandas de textura nematoblásticas, essencialmente de grunerita e fluortaramita e bandas granoblásticas compostas de granada almandina, magnetita, pirita, pirrotita, quartzo e carbonato (Fotomicrografias 5 e 6). Trata-se, portanto de bifs de fácies misto silicato, óxido (com magnetita), sulfeto e carbonato.

A composição mineralógica semiquantitativa (em % de volume) é de: grunerita(50-70%), fluotaramita(8-12%), quartzo(2-5%), opacos(magnetita, pirita e pirrotita)(2-5%), granada(1-3%), carbonato(1-3%) e biotita(traços).

Os anfibólios foram identificados opticamente. A fluotaramita tem pleocroísmo verde azulado a verde amarelado, 2V~20°, biaxial (-), ângulo de extinção(Z^C) entre 10 e 14° e birrefringência máxima observada de 0,012. A grunerita tem pleocroísmo fraco, incolor a amarelo, 2V alto(>60°), ângulo de extinção(Z^C) entre 10 e 15°, birrefringência entre 0,040 e 0.045 e apresenta-se tipicamente com geminação polissintética.

c) Grafita xistos:

Apresentam cores cinzas claras a escuras, estrutura bandada e finamente foliada, por vezes dobrada, textura granoblástica a grano-porfiroblástica, com porções pórfiro-lepidoblásticas.

Microscopicamente apresentam (semiquantitativamente, em % de volume) quartzo(45%), granada(25%), biotita + grafita +

clorita(25%), minerais opacos(5%). Como traços aparecem apatita e carbonatos

As bandas ricas em quartzo se intercalam com níveis micáceos com porfiroblastos de granada almandina. Nas massas micáceas se misturam biotita, Fe-clorita e Mg-clorita, além da grafita fina dispersa.

As granadas são subcentimétricas (milimétricas), com textura poiquiloblástica dada com inclusões de quartzo, biotita, grafita e sulfetos. Suas formas externas são euhédricas, e as porções internas poiquilíticas por vezes configuram textura helicítica reliquiar.

VII.2.2.2.3 Geoquímica

a)Anfibolitos Granatíferos:

Estes litotipos (Tabela 5, amostras T-60, G-1, GN-20B, GN-26; Tabela 6, amostra T-59) não apresentam diferenças significativas, sob ponto de vista geoquímico, em relação aos demais anfibolitos, em geral finos da unidade C, da sequência do morro do Pari (Tabela 5, amostras T-39, T-41, T-42, T-56, T-66), exceto talvez teores algo superiores no conteúdo de Fe_{total} e S, estes provenientes de sulfetos que se associam comumente às granadas.

Num tratamento petrogenético detalhado de um número maior de dados geoquímicos de anfibolitos do Grupo Nova Lima do morro do Pari essas rochas foram caracterizadas como toleióitos oceânicos, mais precisamente, de tipo bacia de retro-arco (Schorscher, 1992). A análise dos dados desse trabalho configurou a provável natureza de toleióitos oceânicos tanto para os protólitos dos anfibolitos granatíferos como dos anfibolitos finos (Figura 5).

b) Formações ferríferas tipo Algoma

Tratam-se de rochas com teores de Fe_2O_3t entre 30 e 50%,

Fotomicrografia 2: Metagrauvacas da **unidade A** do Grupo Nova Lima, apresentando biotitas e plagioclásios com intensa saussuritização (Amostra e Lâmina T-67; pol.+; aumento 200x).

Fotomicrografia 3: Microcrenulação (S_{n+1}) em anfibolito fino do Grupo Nova Lima (Lâmina GN-8Aa; pol.+; aumento 200x).

possuindo entre 1 e 2% de Al_2O_3 , e entre 3 e 4% de MgO . Entre os elementos traços destacam-se principalmente anomalias de Zn e (S), assim como valores mais elevados de Cr e Ni. A geoquímica destas formações ferríferas é semelhante à diversas outras ocorrências mundiais do tipo Algoma descritas na literatura (por exemplo: Davy, 1983; Fryer, 1983).

VII.2.2.2.4 Discussão

A unidade B compõe-se de um conjunto de anfibolitos granatíferos com intercalações de formações ferríferas e, subordinadamente de xistos grafitosos. A seqüência litológica da unidade B caracterizam-na como o intervalo mais rico em ferro do Grupo Nova Lima no morro do Pari, tanto pelos metassedimentos químicos ferríferos como pelos anfibolitos granatíferos que, na média, são comparativamente algo mais ricos em ferro do que os seus equivalentes não granatíferos da unidade C, sobreposta (Tabelas 5 e 6). Adicionalmente pode-se admitir ainda, com base nos indícios ambientais fornecidos tanto pela formação de granada (almandina) nos anfibolitos como pelos "bifs" e os xistos grafitosos, que tanto o vulcanismo toleítico, protolítico dos anfibolitos granatíferos, como as condições de Eh na bacia deposicional vulcano-sedimentar foram, no período de deposição da unidade B do Grupo Nova Lima, os mais redutores de toda a sua evolução, relativo a seqüência de rochas da região do morro do Pari. Mais provavelmente, trata-se de ambiente de bacia oceânica vulcanicamente ativa, entretanto, isolada de contribuições clásticas maiores, com águas eventualmente profundas, redutoras e alcalinas, depositando-se nos intervalos de calma vulcânica predominantemente os sedimentos químicos ferríferos (protólitos dos "bifs" tipo Algoma) associados subordinadamente, os sedimentos clásticos finos com matéria orgânica, protólitos dos xistos grafitosos. O topo da unidade B, mais adiante detalhado e discutido, representa um outro instante de precipitação de sedimentos químicos ricos em ferro e com a presença de matéria

orgânica, porém, em situação privilegiada metalogeneticamente para precipitação da mineralização aurífera sulfetada.

VII.2.2.3 Unidade C

VII.2.2.3.1 Características Gerais

A unidade C é constituída predominantemente por anfibolitos finos, isentos de granadas e de intercalações de formações ferríferas.

Em meio a esta unidade ocorre um veio de quartzo, de aspecto remobilizado e recristalizado, mineralizado com Au, que porém, apresenta-se descontínuo e irregular e com dimensões reduzidas (decimétricas na espessura e métricas na extensão). A espessura total da unidade C é de 123m.

VII.2.2.3.2 Petrografia

Os anfibolitos finos são rochas de cor verde escura a pretas, tem estrutura finamente foliada com raros níveis bandados e textura grano-nematoblástica, raramente porfiroblásticos a hornblenda de até 1mm.

A composição mineralógica mostra, em % de volume, hornblenda(60-80%), quartzo(10-20%), plagioclásio(10-15%) e minerais menores como opacos, biotita, titanita, epídoto e carbonatos.

Próximo ao veio de quartzo mineralizado aumenta a quantidade de biotita e carbonatos, que juntos perfazem até 10% de volume da composição mineralógica.

VII.2.2.3.3 Geoquímica

Fotomicrografia 4: Dobra intrafoliar (S_{n-1}) no minério de ouro do Horizonte Pari, Grupo Nova Lima, da fase deformativa mais antiga verificada na Mina do Pari. No minério, observam-se sulfetos dobrados (Lâmina GN-11B; pol.//; aumento 25x).

Fotomicrografia 5: Formação ferrífera (*bif*) tipo Algoma com magnetita, grunerita, fluotaramita e quartzo (Lâmina LG-17; pol.//; aumento 200x).

Fotomicrografia 6: Idem fotomicrografia 5 (pol.+).

Fotomicrografia 7: Clorita - hornblenda - biotita - xisto, encaixante da capa da mineralização no nível 10 da mina do Pari (Lâmina 18-BA; pol.+; aumento 25x).

A tabela 5 mostra análises de anfibolitos finos da unidade C, (amostras T-39, T-41, T-42, T-56, T-58 e T-66), que representadas no diagrama ternário de Pearce et al. (1975) posicionam-se no campo dos toleitos de fundo oceânico (Figura 5) (cf. Schorscher, 1992).

VII.2.2.3.4 Discussão

A unidade C caracteriza-se por uma seqüência de metabasaltos finos, com algumas finas intercalações que poderiam representar metatufos finos silicificados. É a mais espessa das unidades do Grupo Nova Lima presentes na área, e sua monotonia litológica é típica, e representativo de um evento vulcânico forte e bastante contínuo. A não formação de granada durante o metamorfismo apesar da composição química adequada em termos de elementos maiores pode indicar um estado mais cedo do magmatismo original e de suas rochas basálticas protolíticas e/ou maior fugacidade dos fluidos metamórficos.

O veio de quartzo mineralizado apresenta-se com granulação grossa, hialino, e suas pintas de Au chegam até alguns milímetros. O teor de Au, entretanto, são irregulares e bastante variáveis. Considerou-se o veio de quartzo, pelas observações em testemunhos de sondagem como uma mineralização proveniente de remobilizações tectono-metamórficas e sem expressão econômica, de forma a não ser mais tratado neste trabalho.

VII.2.2.4 Unidade D

VII.2.2.4.1 Características Gerais

A unidade D ocorre na porção estratigraficamente do topo da seqüência do Grupo Nova Lima na área, e mostra-se bastante irregular e descontínua.

Constitue-se de anfibolitos finos, sendo comum intercalações de lentes carbonáticas, níveis de anfibolitos granatíferos, e

lentes decimétricas de formações ferríferas tipo Algoma. A espessura máxima encontrada é de 20m.

Admite-se que a unidade D esteja truncada por falhamento de empurrão, pela colocação do Complexo Gnáissico-Migmatítico sobre o Supergrupo Rio das Velhas.

VII.2.2.4.2 Petrografia

Os anfibolitos finos se assemelham, quase que integralmente, aos da unidade C, e os anfibolitos granatíferos e as formações ferríferas tipo Algoma aos litotipos análogos da unidade B. Portanto, refere-se o leitor as descrições petrográficas dos respectivos itens VII.2.2.2.2 e VII.2.2.3.2 .

As lentes carbonáticas apresentam textura granoblástica e estrutura foliada dobrada. Constituem-se de quartzo e carbonato de granulometria fina (0,2 a 0,5mm), em proporções aproximadas de 1:1. Como minerais traços ocorrem biotita e opacos. Trata-se de lentes de metachert carbonático.

VII.2.2.4.3 Geoquímica

O quimismo dos metacherts carbonáticos (Tabela 9, amostras G-09 e T-60) é típico para rochas com carbonatos livres, apresentando altas "perdas ao fogo".

Os teores de Fe-total, MnO e MgO são bastante variáveis mas significativos e indicam, em conjunto com os teores elevados e também variáveis de CaO, a presença, além de carbonato cálcico predominante, de carbonatos ferro-magnesianos, tais como ankerita, dolomita, dolomita ferroana, entre outros.

Entre os elementos traços notam-se teores mais elevados de Cu, (Ni), V, Ba, Sr.

O quimismo das demais litologias da unidade D, apesar de não se ter análises, é considerado, com base nos estudos mineralógico-petrográfico, como semelhante aos litotipos análogos das outras unidades estudadas do Grupo Nova Lima.

VII.2.2.4.4 Discussão

A unidade D representa um ambiente com vulcanismo intermitente, com grande incidência de metassedimentos químicos (formações ferríferas e metacherts carbonáticos) depositados próximos uns dos outros, porém de espessura reduzida. Contrariamente ao que se observa que nas demais unidades, onde as rochas metavulcânicas máficas possuem espessuras e continuidades laterais maiores e os metassedimentos, apesar de mais espessos, são isolados e raros. A unidade D caracteriza-se por uma produção mais constante e contínua de (meta-) sedimentos químicos.

VIII GEOLOGIA ESTRUTURAL

VII.1 Aspectos Gerais

Os contatos das supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas com os domínios do Complexo Gnáissico-Migmatítico são tectônicos, milonitizados, por falhamentos de empurrão e indicam vergência para W, com os esforços atuando no sentido E para W. Os principais falhamentos de empurrão tem maior expressão, sobretudo junto aos contatos entre as unidades maiores de litotipos com propriedades mecânicas diferentes.

No morro do Pari, as rochas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas estruturam-se num homoclinal mergulhando para leste.

N
4

CONCENTRAÇÃO DE EIXOS	%	LEGENDA
14-17	27-33	
10-14	19-27	
7-10	13-19	
3-7	6-13	
0-3	0-6	

CONCENTRAÇÃO DE EIXOS DE DOBRAS INTRAFOLIARES TOTAL DE MEDIDAS 52

Figura 07: Estereograma de análise de eixos de dobras intrafoliares (da foliação S_{n-1}).

No curso dos trabalhos de mapeamento lito-estrutural detalhado, principalmente das galerias da mina do Pari, integrou-se um vasto acervo de informações e medidas estruturais. Estes dados quando analisados em estereogramas, permitiram caracterizar dois eventos tectônicos distintos quanto a direção dos esforços principais.

O evento mais antigo é representado por dobras intrafoliais (S_{n-1}) com eixos caindo para E, indicando desta forma direção de esforços N-S.

O evento mais jovem representado pelas foliações S_n , S_{n+1} , e possivelmente também pelos fraturamentos, caracteristicamente apresentam uma direção de esforços de E para W.

Finalmente, a área também apresenta falhas normais, de direção aproximada E-W, que deslocam a seqüência supracrustal, sendo muito comum sua incidência na porção centro-sul da área, onde se identificou uma série desses acidentes estruturais, dispondo-se de maneira aproximadamente escalonada (Anexo 1).

VII.2 Estruturas no Supergrupo Rio das Velhas (na área)

As figuras 7, 8, 9 e 10 representam os resultados das análises estruturais da foliação principal (S_n), dos eixos de crenulação (S_{n+1}), dos planos de fraturas (S_{n+2}), e dos eixos de dobras intrafoliais (S_{n-1}), respectivamente.

As estruturas encontradas na área trabalhada são descritas logo a seguir:

VIII.2.1 Foliação S_{n-1} (Figura 7)

É representada por dobras intrafoliares, claramente mais antigas em relação com a foliação principal S_n , (Fotomicrografia 4). Tratam-se de dobras isoclinais, por vezes similares, com flancos rompidos, mais comumente preservadas em rochas quartzo-carbonáticas e formações ferríferas (mais resistentes a

N
4

CONCENTRAÇÃO DE POLOS	%	LEGENDA
50-56	21-23	
41-50	17-21	
26-40	11-17	
10-25	4-11	
0-10	0-4	

CONCENTRAÇÃO DE POLOS DA FOLIAÇÃO PRINCIPAL
TOTAL DE MEDIDAS 240

Figura 08: Estereograma de análise de polos da foliação principal (S_n).

deformação de S_n). Os eixos dessas dobras intrafoliares mergulham para E com valores médios de 45° , sendo desta forma, perpendiculares a direção dos planos da foliação principal (S_n) (Figura 7).

As dobras intrafoliares representam um evento caracterizado por esforços principais de direção N-S. Não se observaram porém elementos indicativos do sentido direcional destes movimentos. Em relação a mineralização aurífera esta deformação é claramente mais jovem que a mineralização (Figuras 7 e 11).

VII.2.2. Foliação S_n (Figura 8)

É a foliação principal (S_n) da área, possui atitude variando entre N $0-5^\circ$ E/ $45-50^\circ$ E-SE e desenvolvimento regional bem caracterizado. Apresenta-se como uma foliação de transposição, às vezes incluindo estruturas "S e C" de cisalhamento (Figura 8).

No mapa do nível 10, do subsolo da mina (Anexo 2), são observadas falhas e cisalhamentos de superfície sigmoidal da foliação S_n , que obliteram, e até truncam, as litologias e também a zona mineralizada, com direções subparalelas ao "trend" do minério e das alternâncias composicionais litológicas.

A foliação principal (S_n) mostra-se paralela aos contatos tectonizados entre o complexo Gnássico-Migmatítico e às supracrustais, bem como paralela aos contatos entre as unidades do Supergrupo Rio das Velhas.

Esta foliação é também acompanhada pelo crescimento orientado plano-paralelo de minerais placóides e aciculares, como clorita, biotita e hornblenda, principalmente. Nas porções de rochas anfibolíticas, mais grossas, essa foliação tende a ser menos desenvolvida, apresentando aspecto gnáissico irregular.

A foliação S_n (Figura 8) foi a principal deformação que afetou e estruturou a mineralização aurífera da mina do Pari, como pode ser observada no bloco diagrama da figura 11.

CONCENTRAÇÃO DE EIXOS	%	LEGENDA
13-16	24-29	
10-13	18-24	
6-10	11-18	
3-6	5-11	
0-3	0-5	

CONCENTRAÇÃO DE EIXOS DE CRENULAÇÃO
TOTAL DE MEDIDAS 55

Figura 09: Estereograma de análise de eixos de crenulação (S_{n+2}).

CONCENTRAÇÃO DE POLOS	%	LEGENDA
5-7	8-11	
4-5	7-8	
3-4	5-7	
2-3	3-5	
0-2	0-3	

CONCENTRAÇÃO DE POLOS DE PLANOS DE FRATURAS TOTAL DE MEDIDAS 61

Figura 10: Estereograma de análise de polos de planos de fraturas (S_{n+2}).

VII.2.3 Foliação S_{n+1} (Figura 9)

É representado por superfícies plano-axiais de crenulações abertas, ou clivagens de crenulações, que se desenvolvem em rochas mais micáceas, sobretudo nas encaixantes da mineralização, nas quais existem quantidades maiores de biotita e clorita. Os eixos dessa crenulação tem direção média de N10-20°E, com caimento de baixo ângulo para NE, no máximo de 10° (Figura 9).

Por vezes é comum crescimento de biotita, clorita, hornblenda e carbonatos ao longo desta foliação, originando uma segunda geração textural desses minerais (cuja primeira geração textural encontra-se orientada com a foliação S_n).

VII.2.4 Foliação S_{n+2} (Figura 10)

Essa deformação causou fraturas discordantes às demais foliações que formam duas famílias distintas, uma de direção NW-SE/65°SW, e outra NE-SW/65°NW, configurando-se como um par conjugado (Figura 10).

Muito provavelmente essas fraturas se relacionam às fases finais do evento que gerou S_n e S_{n+1} , pois se caracterizam muito bem como fraturas de alívio de tensão.

VII.3 Considerações sobre a Geologia Estrutural

Apesar das controvérsias e discussões na literatura sobre a geologia estrutural do Quadrilátero Ferrífero, quatro eventos principais são em geral aceitos para a região (Inda et al., 1984; Schorscher, 1992):

1-A constituição do Complexo Gnáissico-Migmatítico, regional, arqueano;

BLOCO DIAGRAMA DAS ESTRUTURAS

Figura 11: Bloco diagrama estrutural (deformações S_{n-1} a S_{n+2}) do Sgr. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima, na Mina do Pari.

2-A constituição do terreno "granito-greenstone belt" e a orogênese do Supergrupo Rio das Velhas, arqueano;

3-a deposição e orogênese dos Supergrupos Minas e Espinhaço, paleo e/ou mesoproterozóicos;

4-O evento termo-tectônico do ciclo Brasileiro, neoproterozóico.

Assim, analisando as feições estruturais observadas na mina do Pari e arredores, admite-se, neste trabalho também, que a foliação mais antiga (S_{n-1}) possa representar uma deformação reliquiariamente preservada da orogênese arqueana do Supergrupo Rio das Velhas (conforme: Ladeira, 1980; Santos, 1986; entre outros).

A foliação principal (S_n) e as clivagens de crenulação (S_{n+1}), correlacionam-se com a orogênese paleo e/ou mesoproterozóica dos Supergrupos Minas e Espinhaço, devido ao paralelismo dessas estruturas com as estruturas encontradas nas seqüências Minas e Espinhaço, tanto nas indicações da mina do Pari como nos mais diversos locais do Quadrilátero Ferrífero, (Dorr II & Barbosa, 1963; Dorr II, 1969; Schorscher, 1975, 1988 e 1992; Almeida, 1976, 1977; Schorscher & Guimarães, 1976; Ladeira e Viveiros, 1984; entre muitos outros).

Entretanto, há de se mencionar a foliação S_n , hoje observada como foliação principal (idade proterozóica), possa ter tido uma precursora direção similar arqueana, hoje não mais presente, ou mesmo substituída pela atual foliação. A foliação S_{n-1} , no entanto, possivelmente representativa de eventos arqueanos, muito provavelmente sofreu reativações proterozóicas, podendo hoje estar mostrando direções distintas do seu passado. Nesse contexto é interessante mencionar que vários trabalhos de conotação regional (por exemplo: Schorscher, 1975, 1992; Santos, 1986; entre outros) já enfatizaram que as direções N-S e E-W representaram, subsequentemente, controles generativos (na instalação das bacias deposicionais) e orogênicos, no desenvolvimento, tanto do Supergrupo Rio das Velhas, como dos Supergrupos Minas e Espinhaço.

Com base nas observações efetuadas na mina do Pari, diagnosticou-se a mineralização como pré-existente em relação às deformações observadas. Mesmo em se tratando das dobras intrafoliais, a deformação S_{n-1} , mais antigas do local, nota-se que os minerais sulfetados, componentes da mineralização aurífera, também foram afetados.

O principal evento deformativo de caráter sin-metamórfico progressivo (S_n) é nitidamente posterior à mineralização. O pico de metamorfismo é tardi-cinemático, como é indicado nas granadas com bordas euhédricas tarde a pós-cinemáticas, e seus núcleos com texturas helicíticas.

A diferença de competência entre as encaixantes e o horizonte mineralizado, e irregularidades na espessura do corpo mineralizado são, mais provavelmente, as causas das falhas e cisalhamentos ("S e C") que cortam a mineralização com direções subparalelas a foliação principal S_n (Anexo 2). Essas foram interpretadas como efeitos de deformações acumulativas, locais, em zona de fraqueza mecânica, causados pela própria deformação principal S_n .

Deste modo tem-se no estágio S_n uma intensa deformação nas encaixantes menos competentes e mais susceptíveis á reações e reestruturações metamórfico-deformacionais e a preservação das estruturas mais antigas, essencialmente no interior da mineralização, altamente litificada, competente, e menos reativa no metamorfismo, por suas massas sulfetadas.

A deformação S_{n+1} , por suas relações com a segunda geração textural de minerais metamórficos representa um estágio tardio, final do evento tectono-metamórfico regional principal S_n .

As fraturas da deformação S_{n+2} , rúptil, são nitidamente posteriores e desconexas do processo metamórfico-deformacional regional. Podem ter sofrido reativações até mesmo no Fanerozóico, visto que em algumas destas direções são encontrados diques de basaltos não metamorfizados (cf. Schorscher, 1975, 1992; Guimarães, 1992) (Figuras 15 e 16).

LEGENDA

|| 1 LOCAL DA AMOSTRA

MINÉRIO SULFETADO RICO

HORNBLENDA - CLORITA - BIOTITA - XISTO

Figura 12: Seção esquemática da amostragem em perfil contínuo do horizonte da mineralização de ouro e rochas encaixantes no nível 10 da Mina do Pari, amostras 1B a 20B.

IX MINERALIZAÇÃO E ENCAIXANTES

IX.1 Características Gerais

Para a caracterização da mineralização aurífera e suas rochas encaixantes foram realizados estudos em duas seções de amostragem contínuas, representando perfis da mineralização, incluindo tanto os minérios como as rochas encaixantes imediatas de lapa e capa, assim como anfibolitos associados da seqüência vulcano-sedimentar. Uma dessas amostragens foi realizada no nível 10 da mina, na porção central do corpo de minério (Figura 12). A outra seção foi feita no nível de entrada da mina, na extremidade norte do corpo (Figura 13; Fotografia 2).

A mineralização da mina do Pari compreende um ou dois horizontes mineralizados. O primeiro, à base, é descontínuo, de ocorrência restrita, espessura submétrica e foi informalmente denominado de **horizonte Pari Inferior**. O segundo, informalmente denominado **horizonte Pari Superior**, é o nível econômico que foi lavrado nos períodos de atividade da mina, possuindo espessura variável, de 0,50 a 2,5 metros (Anexos 1,2.3; Figura 6).

A mineralização apresenta um comportamento *stratabound*, sendo contínua numa extensão variável entre 150 e 200 m, e reconhecida por meio de lavras e sondagens, ao longo da direção, por uma extensão total de quase 250 metros.

Os dois horizontes mineralizados são petrográfica, mineralógica e geoquimicamente semelhantes, e quando ambos aparecem, estão bastante próximos um do outro.

Este trabalho estuda em detalhe o **horizonte Pari Superior**, devido à inexistência do **horizonte Pari Inferior** nos locais das amostragens seriadas em perfis contínuos. Assim, em função das similaridades registradas em locais de observação e amostragens complementares, consideram-se válidas para o **horizonte Pari**

ESQUEMA 1 (NORTE DO SALÃO)

ESQUEMA (SUL DO SALÃO)

LEGENDA

- MINÉRIO SULFETADO POBRE (Pirita, Pirrotita)
- MINÉRIO SULFETADO RICO (Arsenopirita, Pirrotita)
- HORNBLENDA - BIOTITA - CLORITA - XISTO C/ GRANADA
- ANFIBOLITO FINO
- 20 LOCALIZAÇÃO E NÚMERO DA AMOSTRA

Figura 13: Seção esquemática da amostragem em perfis contínuos do horizonte da mineralização de ouro e rochas encaixantes no salão principal no nível de entrada da Mina do Pari, amostras GN-01 a GN-26.

Inferior a grande parte das considerações feitas sobre o horizonte estudado.

As rochas encaixantes da capa da mineralização diferem das da lapa em alguns aspectos mineralógico-petrográficos e, principalmente, geoquímicos a serem apresentados e discutidos logo a seguir, no entanto, nos aspectos estruturais há muita semelhança. Trata-se de xistos intensamente deformados, apresentando as foliações S_n e S_{n+1} bem desenvolvidas, e muitas vezes estruturas tipo S e C, indicando cisalhamento gerado pelos esforços, no sentido direcional de E para W, do evento deformativo principal.

Há grandes diferenças na resposta a essa deformação cisalhante entre as rochas encaixantes e a mineralização, em função de suas variabilidades composicionais mineralógico-petrográficas e, conseqüentemente, de competência, sendo as primeiras ricas em minerais micáceos, xistosas e os minérios maciços e altamente litificados, ricos em sulfetos e silicosos. Encaixantes e minérios apresentam as mesmas foliações, com exceção da S_{n-1} que só aparece nos níveis sílico-carbonático-sulfetados (de espessura decimétrica) internos à mineralização, ou ainda nas demais intercalações de formações ferríferas bandadas (bif's) do Gr. Nova Lima.

IX.2 Petrografia

Neste item serão apresentadas, separadamente, as descrições petrográficas das rochas encaixantes da capa e da lapa da mineralização, assim como dos minérios de ouro, ressaltando que estudos dos minerais opacos só foram efetuados para o corpo mineralizado.

IX.2.1 Petrografia da Lapa da Mineralização

IX.2.1.1 Nível de Entrada da mina do Pari (Figura 13)

Fotomicrografia 8: Granada em banda silicática do minério de ouro do nível de entrada da Mina do Pari mostra a foliação principal (S_n) por finas inclusões seriadas de minerais opacos. Essas representam texturas palimpsésticas de níveis (S_0) subparalelos (Lâmina GN-16; pol.///; aumento 100x).

Fotomicrografia 9: Aspecto textural geral dos minerais opacos no minério. Arsenopirita amarelo-clara granular, calcopirita amarelo-dourada granular-fina subordinada (no centro da foto como inclusão em arsenopirita), pirrotita amarelo-amarronzada tabular a granular, e esfalerita cinza média (dois grãos tabulares na parte esquerda superior da foto, o maior está em contato com pirrotita) formam níveis subparalelos na matriz silicática ciza escura a preta (Seção polida H-27; ar, pol.///, aumento 100x).

No nível de entrada, ocorrem como rochas principais clorita-biotita-plagioclásio-quartzo-hornblenda xistos, de textura porfiroblástica com matriz grano-nematoblástica, às vezes contendo ainda raros níveis lepidoblásticos.

A **clorita**, fina e magnesianas, ocorre equitativamente distribuída pela matriz finamente foliada, em proporções variáveis, perfazendo de 0 a 20% de volume (%vol.) das rochas. Apresenta teores crescentes em direção à zona mineralizada.

A **biotita** (0-15%vol.) mostra pleocroísmo castanho avermelhado a castanho esverdeado. Aparece na matriz da rocha, em bandas finas, associada a clorita. A quantidade de biotita também aumenta em direção a zona mineralizada.

O **plagioclásio** (2-5%vol.), mineral de granulometria fina (de 0,1-0,2 mm) da matriz, tende a diminuir em direção à mineralização.

O **quartzo** (5-25%vol.) mostra, em geral, recristalização poligonal, por vezes extinção ondulante, sendo o mineral granular mais importante da matriz. Sua ocorrência é ainda comum em microvenulações, algumas vezes, associado a carbonatos. A quantidade total de quartzo aumenta em direção à zona mineralizada.

A **hornblenda** (35-85%vol.) é o mineral predominante; sua abundância diminui em direção ao corpo mineralizado. Comumente, forma porfiroblastos de até 5 mm de dimensão maior, cristalizados preferencialmente nos planos axiais das crenulações, na foliação S_{n+1} . Também aparece na matriz da rocha em cristais prismático-aciculares finos, nesses casos, orientada, preferencialmente, na foliação principal S_n . São hornblendas de pleocroísmo moderado a forte, com cores verde-claras a verde-olivas, biaxiais negativas, com ângulos $2V$ altos ($>65^\circ$), e baixos ângulos de extinção ($Z \wedge c$ variando de $10-15^\circ$).

IX.2.1.2 Nível 10 da mina do Pari (Figura 12)

No nível 10, as amostras estudadas são carbonato-plagioclásio-quartzo-clorita-biotita-hornblenda xistos, com texturas porfiroblásticas em matrizes grano-nematoblástica, às vezes, com níveis lepidoblásticos (Fotografia 10).

Carbonatos (0-10%vol.) aparecem, eventualmente, em grãos recristalizados poligonais ou intersticiais nos níveis quartzosos da matriz, e também remobilizados, preenchendo fraturas.

O **plagioclásio** (5-10%vol.) ocorre de forma semelhante ao nível de entrada da mina, sendo, porém, mais freqüente. Tende a diminuir em direção a zona mineralizada.

O **quartzo** (10-25%vol.) ocorre como nas amostras do nível de entrada. Entretanto, nesse caso, tende a diminuir em direção ao corpo de minério.

A **biotita** (20-45%vol.), ainda que mais freqüente, ocorre de forma semelhante às amostras do nível de entrada, inclusive quanto à tendência de aumentar de quantidade em direção ao corpo de minério.

A **hornblenda** (20-65%vol.) e a **clorita** magnesiânica (0-15%vol.) têm características semelhantes às amostras equivalentes do nível de entrada.

Os **minerais traços** (constituintes que perfazem <1%vol. das rochas/minérios) comuns (em ambos os níveis) são rutilo, titanita e opacos.

IX.2.2 Petrografia da Capa da Mineralização

IX.2.2.1 Nível de Entrada da mina do Pari (Figura 13)

As litologias predominantes são biotita-carbonato-plagioclásio-quartzo-hornblenda xistos, com pirita como mineral opaco principal. A textura é grano-nematoblástica com porções porfiroblásticas à hornblenda.

As composições modais (em %vol.) variam: **biotita** (0-5), **carbonatos** (1-10), **plagioclásio** (10-15), **quartzo** (15-25) e **hornblenda** (45-60).

Biotita, carbonatos e plagioclásio diminuem em quantidade em direção ao corpo de minério, ao passo que quartzo e hornblenda aumentam.

As demais propriedades microscópicas intrínsecas de cada fase mineral são análogas às descritas das encaixantes da lapa da mineralização.

IX.2.2.2 Nível 10 da mina do Pari (Figura 12)

Trata-se de quartzo-plagioclásio-clorita-biotita-hornblenda xistos grano-lepidoblásticos com porções porfiroblásticas à hornblenda e biotita.

As composições modais (em %vol.) são: **quartzo** (5-10), **plagioclásio** (0-10), **clorita** (5-20), **biotita** (0-20) e **hornblenda** (35-80).

Quartzo e hornblenda aumentam em quantidade na direção do nível mineralizado; a biotita diminui. As demais fases, plagioclásio e clorita, principalmente, não alteram suas proporções com a aproximação à mineralização.

IX.2.3 Petrografia da Mineralização

IX.2.3.1 Nível de Entrada da mina do Pari (Figura 13)

As amostras do nível de entrada caracterizam uma porção mais pobre da mineralização, com espessura total e teor de ouro menores em relação à composição média, e está situada na extremidade norte do corpo.

O minério de ouro constitui-se em xistos nemato a lepidoblásticos e porfiroblásticos, bandados e foliados, da seguinte composição modal (em %vol.): **hornblenda** (5-65), **quartzo** (10-65), **biotita** (2-45), **granada almandina** (1-20) e **plagioclásio**

(<1-5). Os **minerais opacos** constituem de 1-15% modais, sendo ainda observadas **Fe-cloritas**, **Mg-cloritas** e **carbonatos** na matriz.

As hornblendas ocorrem em duas gerações texturais distintas, finamente orientadas na matriz e também como porfiroblastos discordantes à foliação principal, por vezes, poiquiloblásticos.

A biotita é castanho avermelhada e, normalmente, aparece dispersa na matriz com concentração variável em bandas milimétricas a centimétricas. Raramente forma porfiroblastos (Fotomicrografia 8).

As granadas porfiroblásticas e poiquiloblásticas se desenvolvem, sobretudo, nos níveis ricos em biotita (Fotomicrografia 8). São euhédricas externamente e, internamente, mostram texturas poiquilíticas em planos subparalelos ou helicítica. São particularmente comuns as inclusões de minerais opacos, componentes do minério sulfetado, sobretudo, pirrotita e, bastante freqüentes ainda, inclusões macroscopicamente visíveis de ouro.

O quartzo e o plagioclásio ocorrem, preferencialmente, nas bandas granoblásticas e, às vezes, em veios remobilizados tardios e discordantes. Quase sempre associam-se com quantidades mínimas de carbonatos, formando arranjos granoblásticos poligonais em sua trama textural.

IX.2.3.2 Nível 10 da mina do Pari (Figura 12)

No nível 10, a mineralização compõe-se de xistos bandados e foliados, por vezes, crenulados e com dobras intrafoliais. A mineralogia modal compreende (em %vol.): **hornblenda**(0-30), **quartzo** (15-80), **biotita** (1-40), porfiroblastos de **granada**

Fotomicrografia 10: Arsenopirita da 1ª geração (Aspl) com diminuta inclusão de ouro. A Aspl é rica também em outras inclusões (sulfetos e minerais de ganga), no caso predominando às de ganga (Seção polida H-84; imersão em óleo, pol.//, aumento: 500x.

Fotomicrografia 11: Arsenopirita de 2ª geração, idioblástica e pobre em inclusões que, no caso, são de esfalerita (cinza média), pirrotita (castanha-róseo) e de minerais de ganga (preta) (Seção polida H-90; ar, pol.//, aumento 200x).

almandina(1-45) e plagioclásio(<1). Os minerais opacos constituem de 5-35% modais. Foram ainda observadas na matriz Fe-cloritas, Mg-cloritas, grunerita e fluotaramita.

Comparativamente aos minérios do nível de entrada, os do nível 10 mostram diferenças significantes. São minérios mais ricos em sulfetos e, conseqüentemente, mais ricos também em ouro. Não ocorre plagioclásio nas partes centrais do corpo mineralizado, exceto às bordas e, mesmo assim, em diminutas quantidades. Os conteúdos de quartzo e de granada, em média, são mais elevados e, comumente, ocorrem ainda dois tipos adicionais de anfibólios, grunerita e fluotaramita, além da hornblenda.

A grunerita e fluotaramita (com propriedades microscópicas semelhantes aos anfibólios equivalentes já descritos das bif's tipo Algoma da unidade B do Gr. Nova Lima) ocorrem freqüentemente associadas com magnetita, constituindo bandas de bif's do tipo Algoma (de fácies mista, óxido a magnetita-silicatos), grano-nematoblásticas, intercaladas no interior da mineralização.

Estruturalmente, os minérios mostram-se afetados tanto pelas micro-dobras intrafoliais (S_n-1) palimpsesticamente preservadas, como pelas deformações subseqüentes (S_n , S_{n+1} e S_{n+2}).

IX.2.3.3 Petrografia de Minerais Opacos

Neste item, serão descritos conjuntamente os minérios das duas interseções amostradas (Figuras 12, 13), assim como algumas observações metalogenéticas relativas às rochas encaixantes.

No nível de entrada da mina do Pari, na capa da mineralização, ocorre pirita xenomórfica (1-2%vol.) intersticial à matriz das rochas e também, remobilizada em fraturas. O mesmo acontece no nível 10, porém, nas amostras da lapa da mineralização.

Nos dois níveis de minérios, os minerais opacos principais são (em %-de volume relativos aos minerais opacos totais): pirrotita (50-70%) e arsenopirita (25-45%); os demais minerais, calcopirita, esfalerita, pentlandita e ouro, totalizam até 5%.

Pirita e/ou marcassita criptocristalinas ocorrem como produtos de alteração secundária (retrometamórfico-hidrotermal ou intempérica incipiente) das pirrotitas em estruturas tipo *birds eyes* ("olhos de pássaro") e não serão tratadas em maiores detalhes. Um aspecto mineralógico-textural geral do minério sulfetado de ouro da mina do Pari é mostrado na fotomicrografia 9.

A **pirrotita** está presente em duas gerações texturais. A geração principal é de cristais anedrais, de tamanho maior, alongados na foliação, evidenciando a maleabilidade/plasticidade do mineral sob efeitos tectono-metamórficos (Fotomicrografias 12, 16). Em função dessa propriedade, é quase sempre pobre em inclusões de calcopirita, esfalerita e/ou arsenopirita, ocorrendo, entretanto, pequenas inclusões (exsoluções ou segregações) de pentlandita, formando texturas *flaming*. Essas pirrotitas mostram alterações para pirita/marcassita secundárias na forma textural denominada de *birds eyes* ("olhos de pássaro"). Uma outra geração de pirrotitas é representada por diminutas inclusões do mineral em arsenopiritas e, mais raramente, em calcopiritas.

Arsenopiritas ocorrem em duas gerações texturais bem definidas. As arsenopiritas da primeira geração formam cristais anedrais a subedrais, sempre ricos em inclusões de outros sulfetos (pirrotita, esfalerita e calcopirita), silicatos, e de ouro refratário de granulometria fina ($<5\mu\text{m}$) (Fotomicrografia 10). Comumente, apresentam bordas externas idioblásticas (euhedrais) indicativas de supercrescimento e transformação metamórfica progressiva em arsenopiritas da segunda geração. A segunda geração de arsenopiritas é formada por cristais idioblástico-idiomórficos, virtualmente isentos de inclusões, de neocrescimento ou, formados por transformação/substituição muito avançada a total, metamórfica progressiva das

Fotomicrografia 12: Magnetitas poiquiloblásticas (3 grãos cinza-claros, grossos), englobando pirrotitas (grãos finos amarelos) e arsenopiritas (grãos maiores amarelo-claros), em matriz silicática (cinza escura) (Seção polida SG-17; ar, pol.//, aumento 100x).

Fotomicrografia 13: Diminutas inclusões de arsenopirita (1 grão, branca), pirrotita (vários grãos, amarela) e ganga (cinza escura a preta) em magnetita (cinza média) (Seção polida SG-17; imersão em óleo, pol.//, aumento 200x).

arsenopirritas da primeira geração (Fotomicrografia 11). Estágios intermediários de transformação/substituição são caracterizados por arsenopirritas idioblásticas que apresentam decrescência de inclusões (em tamanho e número), indicando ainda uma certa preferência quanto à eliminação das inclusões de ouro.

A **calcopirita** também aparece em duas gerações texturais: a primeira, comumente, como pequenas inclusões nas arsenopirritas da primeira geração (arsenopirita I) e, mais raramente, nas pirrotitas principais, e a segunda, como calcopirita livre, de granulação mais grossa, entretanto, ainda assim, mais fina que os demais sulfetos livres. Pode apresentar inclusões de pirrotita, esfalerita e arsenopirita.

A **esfalerita** é mais comum que a calcopirita e aparece tanto livre na matriz, com formas intersticiais irregulares e raras inclusões, como sob a forma de inclusões na arsenopirita I, calcopirita e, eventualmente, na pirrotita, em grãos ovalados diminutos.

A **magnetita** só aparece em níveis de bif's tipo Algoma de fácies óxido (à magnetita, isentos de hematita) ou mista óxido-silicato, que localmente se intercalam como partes da mineralização. É subédrica a euhédrica e poiquiloblástica, com inclusões de todos os sulfetos conhecidos no local inclusive com inclusões de ouro (Fotomicrografias 12, 13, 14). Entretanto, não foram observados sulfetos englobando magnetita.

Ouro ocorre em três gerações texturais distintas, sendo mais abundante nos níveis mais ricos em sulfetos totais e, principalmente, em arsenopirritas. A geração mais antiga - ouro primário - ocorre com granulação muito fina (grã média $\leq 5\mu\text{m}$) em inclusões na arsenopirita I (Fotomicrografia 10). Pode ocorrer também na forma de inclusões similares na magnetita (Fotomicrografia 14). O ouro primário, refratário, perfaz em média ~15% (vol.) do ouro total. A principal parte do ouro (~85% vol., do total), entretanto, é ouro livre, de granulometria média bem mais grossa, variando de poucos décimos a meio

Fotomicrografia 14: Magnetita xenomórfica (cinza média) com inclusões de ouro (centro da foto), pirrotita (amarela clara) e esfalerita (cinza escura) e ganga (cinza muito escura a preta) (Seção polida SG-17; ar, pol.//, aumento 200x).

Fotomicrografia 15: Grão de ouro livre, grosso (no centro da foto com $\varnothing \sim 150 \mu\text{m}$) na matriz silicática do minério (cinza escura a preta). Ocorre ainda arsenopirita (amarela clara) (Seção polida P-1A; ar, pol.//, aumento: 100x).

milímetro (Fotomicrografias 15, 16), tendo sua formação relacionada aos processos metamórficos regionais, ou seja, reprecipitação do ouro liberado nas transformações metamórficas das arsenopiritas e crescimento dos grãos por cristalização acretiva. Por último, ocorre ainda ouro livre de grã grossa em veios de quartzo remobilizados e deformados (tipo "horizonte" Florália na unidade C do Gr. Nova Lima) com ou sem sulfetos associados e sem importância econômica.

Um modelo para a seqüência de cristalização dos minerais de minérios na mineralização de ouro da mina do Pari é proposto na figura 11.

IX.2.3.4 Seqüência de cristalização dos Minerais Opacos

Apresenta-se, na figura 14, uma seqüência de cristalização dos minerais sulfetados, além de magnetita e ouro. Distiguiu-se três fases principais. A primeira relativa a deposição e cristalização desses minerais. A segunda fases relaciona-se às transformações metamórficas. Por último a fase 3 refere-se as remobilizações finais.

A **Fase 1** caracteriza-se pela fase de deposição primária e inicial dos sulfetos, tratando-se, idubtavelmente, da fase mais difícil de compreensão, devido esta ter sofrido todos os eventos posteriores. No entanto pelo arranjo textural dos grãos e sua distribuição na matriz, pode-se separar duas fases(I e II) para pirrotita, calcopirita e esfalerita e uma fase única para arsenopirita, magnetita e ouro. O ouro desta fase está exclusivamente incluído em arsenopirita e possui granulometria inferior a 5 micra.

A **Fase 2** trata-se das transformações metamórficas sofridas com arsenopirita, magnetita, pirrotita e ouro de grã grossa. Nesta fase são observadas o crescimento metamórfico desses minerais, englobando as fases menores. Nos locais onde a magnetita predomina (fácies óxido) esta engloba todas as fases

Fase Mineral	1	2	3
Pirrotita	I II		
Arsenopirita	I		
Pirita		---	
Calcopirita	I II		
Esfalerita	I II		
Magnetita			
Ouro			---

Fase 1 - Deposição e Diagênese

Fase 2 - Transformações Metamórficas

Fase 3 - Remobilizações Tardias e Finais

Figura 14: Sequência de cristalização dos minerais de minério (sulfetos, ouro, magnetita) no minério de ouro da Mina do Pari.

Fotomicrografia 16: Grãos intersticiais de ouro (nos centros dos círculos de marcação) e pirrotitas (cinza clara amarelada) incluídos em granada da matriz silicática (Seção polida E-1; ar, pol.//, aumento: 10x).

sulfetadas, inclusive o ouro. Nesta fase, uma nova geração textural de arsenopirita aparece em cristais euhedrais e bastante límpidos. Provavelmente a geração desta nova fase de arsenopirita foi capaz de remobilizar o ouro de seu interior, o qual transformou-se em uma fase de grã grossa e livre à matriz da rocha.

A **Fase 3** caracteriza-se pelas remobilizações finais e tardias de pirita e calcopirita junto a zonas de intenso fraturamento. O ouro pode ser mobilizado nesta fase também.

IX.3 Geoquímica

Nos estudos geoquímicos de elementos maiores, traços, metais nobres e de química mineral por microsonda eletrônica foram incluídas as rochas encaixantes da mineralização, minérios de ouro e as ligas naturais de ouro.

IX.3.1 Geoquímica das Encaixantes

Esses estudos foram realizados nas duas seqüências de amostragens seriadas já descritas petrograficamente do nível 10 e do nível de entrada da mina (Figuras 12, 13). Os estudos basearam-se, essencialmente, em dados de elementos maiores e traços obtidos por análises multielementares de fluorescência de raios X seqüencial automática (item IV.3), num total de 38 amostras.

IX.3.1.1 Comportamento Geoquímico

A seguir, serão brevemente descritas as principais variações geoquímicas observadas nas rochas encaixantes da mineralização e que foram consideradas de potencial importância petro-metalogenética para a elucidação da gênese dos minérios auríferos do Pari.

IX.3.1.1.1 SiO₂ (Anexo A)

No nível de entrada da mina (Níve), a sílica tem tendência de enriquecimento em direção ao horizonte mineralizado, sendo o comportamento na capa mais irregular que na lapa.

No nível 10 (Nívl0), ao contrário, a sílica empobrece, na lapa e na capa, com irregularidades, em direção ao nível mineralizado.

De um modo geral, entretanto, no Nívl0 as variações são pequenas e mais notáveis no nível de entrada.

IX.3.1.1.2 TiO₂ (Anexo 4B)

No Nívl0 o titânio apresenta-se praticamente constante, sem variações sistemáticas, exceto talvez as leves quedas bilaterais simétricas das encaixantes imediatas para os minérios adjacentes. Os teores, porém, são, em média, inferiores aos demais anfibolitos da seqüência supracrustal do morro do Pari.

No Níve, observam-se variações na lapa, com decréscimo nos teores do elemento das amostras 26, 25 e 24 para as amostras 21 até 14 (na seqüência do perfil em direção ao minério). As amostras 26, 25 e 24 são bastante semelhantes em titânio aos outros anfibolitos da seqüência supracrustal (do morro do Pari); as amostras 21 até 14 da lapa (no sentido do minério) e 01 até 08 da capa, entretanto, apresentam-se mais semelhantes às porções equivalentes do Nívl0.

IX.3.1.1.3 Al₂O₃ (Anexo 4C)

A alumina mantém-se nas duas seções estudadas na mesma faixa de variação, de padrão constante, nas encaixantes da lapa do minério. Na capa tende ao empobrecime irregular com o afastamento do nível mineralizado. Nota-se que o minério do Níve é mais rico em alumina que no Nívl0.

IX.3.1.1.4 Fe₃O₄total (Anexo 4D)

O Fe é empobrecido nas encaixantes próximas em relação aos anfibolitos da seqüência (Níve), entretanto, nota-se a inversão

dessa tendência nos minérios das duas interseções que são altamente enriquecidos nesse elemento.

IX.3.1.1.5 MnO (Anexo 4E)

O manganês possui tendência à constância, com teores algo mais elevados nos anfibolitos da sequência supracrustal. Nos minérios de ouro e nas encaixantes imediatas, apresenta variabilidades mais fortes e irregulares, tanto de enriquecimento como de empobrecimento.

IX.3.1.1.6 MgO (Anexo 4F)

No Nível0, a lapa comporta-se de maneira semelhante aos anfibolitos da sequência supracrustal; a capa é claramente enriquecida em relação à lapa. No NívelE, observa-se que as encaixantes próximas, da capa e da lapa, estão enriquecidas em relação aos anfibolitos da sequência supracrustal.

Os minérios, em ambas as interseções, apresentam-se empobrecidos em relação às encaixantes.

IX.3.1.1.7 CaO (Anexo 4G)

Os teores desse elemento nas encaixantes são, em geral, semelhantes aos demais anfibolitos da sequência supracrustal, notando-se ainda claro empobrecimento que ocorre bem próximo à mineralização (nas encaixantes imediatas) e, principalmente, nos minérios de ouro.

IX.3.1.1.8 Na₂O (Anexo 4H)

No Nível0, são nítidos os teores mais altos de Na₂O na lapa, contrariamente ao que se observa nas encaixantes da capa. Esses teores, quando próximos ou superiores a 3% de peso (de Na₂O), em anfibolitos, tendem a indicar processos de espilitização. O minério desse nível é, claramente, mais pobre em Na em relação às encaixantes.

No NívelE, notam-se teores mais baixos e maior irregularidade no comportamento desse elemento, porém, associada a tendências de enriquecimento nas encaixantes mais próximas do nível

mineralizado. Os minérios desse nível também apresentam-se mais variáveis em Na_2O .

IX.3.1.1.9 K_2O (Anexo 4I)

Este elemento é enriquecido nas encaixantes e também nos minérios de ouro, tanto no Nível 10, quanto no Nível E, contrastando com os anfibolitos da sequência supracrustal que, em geral, se destacam por teores muito baixos de K_2O (<0,5% de peso) (cf. Tabs. 5, 8, 9)

IX.3.1.1.10 P_2O_5 (Anexo 4J)

Praticamente, não sofre variações quanto aos teores (absolutos), nem no comportamento geoquímico na lapa, capa ou na mineralização. Os teores de P_2O_5 nos anfibolitos da sequência supracrustal apresentam-se algo mais variáveis, entretanto, na mesma faixa das encaixantes e dos minérios de ouro.

IX.3.1.1.11 Cr e Ni (Anexo 4K)

Esses dois elementos acompanham de perto, com variações essencialmente análogas (ainda que na faixa de elementos traços), as variações apresentadas pelo MgO (cf. Anexo 4F). Assim, no Nível 10, há enriquecimento desses elementos na capa da mineralização, enquanto no nível de entrada há enriquecimento na lapa.

Em relação aos anfibolitos da sequência supracrustal, tanto as encaixantes como os minérios de ouro mostram-se enriquecidos em Cr e Ni (cf. Tabelas 5, 8, 9).

IX.3.1.1.12 V e Co (Anexo 4L)

O vanádio aparece empobrecido nas encaixantes em relação aos anfibolitos da sequência supracrustal, mostrando ainda comportamentos diferentes nas encaixantes dos dois níveis estudados.

O Co parece não sofrer maiores variações, com exceção da mineralização, onde é empobrecido.

IX.3.1.1.13 Zn, Cu e Pb (Anexo 4M)

O Zn está enriquecido nas encaixantes e também na mineralização, onde alcança valores máximos, podendo ser considerado, entre todos os estudados, o melhor elemento-guia para a mineralização.

O Cu parece não modificar seu comportamento, exceto quando bem próximo da mineralização e ainda na mineralização, onde mostra picos de enriquecimento.

O Pb aparece constante nas encaixantes e na mineralização, entretanto, algo enriquecido em relação aos anfibolitos da seqüência supracrustal (cf. Tabelas 5.8.9). Encaixantes e minérios demonstram não ter sofrido processos diferenciados em relação à geoquímica do chumbo.

IX.3.1.1.14 Rb e Ga (Anexo 4N)

O Rb mostra grande enriquecimento nas encaixantes em relação aos anfibolitos da seqüência supracrustal. Em detalhe, configura uma réplica do comportamento do potássio (cf. Anexo 4I), do qual é elemento análogo geoquímico.

O Ga, similarmente, apresenta no seu comportamento geoquímico tendências análogas ao Al_2O_3 (cf. Anexo 4C).

IX.3.1.1.15 Ba e Sr (Anexo 4O)

No Nível0, o Ba está enriquecido em todas as amostras em relação aos anfibolitos da seqüência supracrustal. Os enriquecimentos são mais fortes nas encaixantes da lapa; na capa, ocorrem enriquecimentos fortes apenas nas encaixantes imediatas do minério que, por si, apresenta-se empobrecido em relação às encaixantes imediatas.

O Sr no Nível0, apresenta comportamento similar ao Ba, entretanto, nas encaixantes da capa e, principalmente, no minério, apresenta-se empobrecido em relação aos anfibolitos da seqüência supracrustal.

No NívelE, ambos os elementos mostram comportamentos com variações mais fortes, valores máximos ocorrendo nas bordas dos níveis mineralizados. O Ba, em relação aos anfibolitos da

seqüência supracrustal, está claramente enriquecido nas encaixantes da lapa e no próprio minério, caindo, com variações irregulares, para patamares dos anfibolitos na capa. O Sr mantém, com exceção de poucos valores anormalmente baixos (<50 ppm) e variabilidade mais irregular, os patamares dos anfibolitos, tanto nas encaixantes da lapa como da capa.

IX.3.1.1.16 Zr e Y (Anexo 4P)

O Zr varia nas encaixantes da lapa dos dois níveis analisados em torno da média dos anfibolitos da seqüência supracrustal. Um valor máximo ocorre na lapa do NívE. A partir daí, em direção ao topo da seqüência, mostra tendência de empobrecimento, tanto nos minérios, como nas encaixantes da capa da mineralização.

O Y mantém-se, em geral, constante, apenas com ligeiro decréscimo em direção à zona mineralizada. No entanto, mostra-se levemente enriquecido em relação aos anfibolitos da seqüência supracrustal.

IX.3.1.1.17 Th, U e Nb (Anexo 4Q)

Th e U variam nas encaixantes, nos minérios e nos anfibolitos da seqüência supracrustal, respectivamente, nas faixas de 0-15 ppm (Th) e 0-10 ppm (U), sendo os valores nulos, aparentemente, mais freqüentes nos anfibolitos (Tabelas 5,8,9).

O Nb varia nas faixas de 2-14 ppm nos minérios de ouro e nas suas encaixantes e na faixa de 5-17 ppm nos anfibolitos da seqüência supracrustal.

Os três elementos não permitem, pelos teores baixos e as variações fortes, quaisquer observações sistemáticas adicionais.

IX.3.1.1.18 La, Ce e Nd (Anexo 4R)

Esses três principais elementos terras raras leves mostram-se muito pouco enriquecidos nas encaixantes, porém, se enriquecem nitidamente na mineralização. Nos anfibolitos da seqüência supracrustal, suas variações são mais irregulares e os valores nulos mais freqüentes.

IX.3.1.1.19 Au, As e S (Figuras 15 e 16)

Análises de Au, Ag, As e S foram efetuadas no intervalo de profundidade de 354,5-384,0 metros em amostras de testemunhos de sondagem do furo BR-55 (Figuras 15, 16; Tabela 10). Para a análise integrada dos resultados, o testemunho foi subdividido em zonas correspondentes aos anfibolitos da sequência supracrustal sobre e sotopostos à mineralização (Zonas A e F/G, respectivamente), às encaixantes da capa (Zonas B e C) e da lapa (Zona E) e ao próprio minério sulfetado de ouro (Zona D).

O ouro mostra-se enriquecido nas encaixantes em relação aos anfibolitos da sequência, possuindo teores médios entre 500 e 600 ppb.

O As é mais enriquecido nas encaixantes da lapa com teor médio de 2000 ppm do que na capa com 700 ppm.

O S só se mostra enriquecido, significativamente, na lapa, com teor médio de 2,5% (Figuras 15, 16; Tabela 10).

A presença esporádica de Ag em teores muito baixos (0,10-0,20 ppm) foi ainda detectada em algumas amostras das rochas encaixantes (Tabela 10).

ANFIBOLITO

ANFIBOLITO GRANATIFERO

CLORITA-BIOTITA-HORNBLENDA-XISTO

BIOTITA-CLORITA-HORNBLENDA-XISTO

MINÉRIO SULFETADO

FORMAÇÃO FERRÍFERA C/ MAGNETITA

Figura 15: Perfil lito-geoquímico de As e Au do testemunho de sondagem do furo inclinado (de E para W) BR-55 no intervalo (de 354,5 a 385,0m) que compreende a mineralização. Zonas A e F: anfibólitos sobre e sobpostos a mineralização; zonas B, C e E: níveis de rochas encaixantes; zona D: horizonte do minério sulfetado de ouro incluindo um nível fino de bít com magnetita.

IX.3.1.2 Considerações Sobre a Geoquímica das Encaixantes

De forma geral, notam-se enriquecimentos nas encaixantes de SiO_2 , K_2O , CaO , Na_2O , MgO , além de Cu, La, Ce, Nd, Zn, Cu, Ba, Sr, Cr e Ni. Paralelamente, mostram empobrecimentos em Fe_2O_3 (total), Al_2O_3 , MnO, Zr, Y e V, enquanto que os óxidos e elementos TiO_2 , P_2O_5 , Th, U, Nb, Ga, Pb e Co não mostram mudanças mais expressivas em seu comportamento geoquímico nas encaixantes, em relação aos anfibolitos da sequência do morro do Pari.

O comportamento geoquímico dos elementos está intimamente associado à composição mineralógica das rochas encaixantes estudadas. Assim, junto com diferenças na composição mineralógica das rochas de capa e lapa da mineralização, observa-se que MgO , Na_2O , Cr, Ni, Ba e Sr, entre outros, também mostram comportamentos diferentes entre a capa e a lapa. Esse fato poderia sugerir ou que os processos de alteração associados à mineralização causaram efeitos geoquímicos diferentes nas encaixantes de capa e de lapa, ou ainda, que a mineralização se encaixa em seqüências de litotipos originalmente distintos. A segunda alternativa é consubstanciada, em particular, pela observação de que elementos de mobilidade muito diferente em processos hidrotermais mineralizantes, a exemplo do Mg, Cr e Ni, mantiveram sua proporcionalidade geoquímica primária, com patamares de concentrações diferentes, desde os anfibolitos sotopostos, por toda a zona mineralizada e encaixantes, até os anfibolitos sobrepostos da sequência supracrustal.

IX.3.2. Geoquímica da Mineralização

A análise dos gráficos dos perfis geoquímicos de elementos maiores e traços dos minérios de ouro dos níveis 10 e de entrada da mina do Pari (Figuras 12, 13), em conjunto com as rochas encaixantes e alguns anfibolitos associados (sem evidências de mineralização) da sequência vulcano-sedimentar arqueana (Tabelas

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE S, As E Au

LITOTIPOS		ANFIBOLITO	ANFIBOLITO GRANATIF.	CLOR.-BIOT. -HORN.-XISTO	MINÉRIO	CLOR.-HOR. -BIOTITA-XISTO	ANFIBOLITO C/ RARAS VENULAÇÕES	
S	(%)	0,1	0,1	0,1	4,5	2,5%	0,1	0,1
As	(ppm)	50	500	700	20.000	2.000	200	500
Au	(ppb)	10	25	500	10.000	600	15	25
ZONAS		A	B	C	D	E	F,G	

Figura 16: Histogramas e teores médios de S, As e Au, por zonas litológicas do testemunho do furo BR-55 no intervalo de 354,5 a 385,0m.

8, 9) mostra, claramente, para praticamente todos os elementos considerados (Anexo 4A-R), que o minério de ouro se destaca por possuir assinaturas geoquímicas próprias e específicas, tanto das rochas encaixantes como dos anfibolitos associados e demais anfibolitos da seqüência supracrustal (cf. Tabela 5). As principais características dos minérios incluem empobrecimentos de Si, Mg, Ca, Na, Co, Ba, Sr e enriquecimentos de Fe, K, Rb, Zn, As e elementos terras raras leves (Ce, La, Nd). Adicionalmente, observam-se as formas dos padrões/perfis geoquímicos dos níveis de minério em relação aos níveis adjacentes das rochas encaixantes e associadas, hospedeiras da mineralização. Esses padrões diferem, tanto para os elementos supracitados, como para os demais elementos analisados, revelando regularidades e irregularidades/assimetrias específicas na estruturação e estratigrafia geoquímico-metalogenética do conjunto de minérios e rochas hospedeiras e encaixantes. As duas interseções estudadas do nível de minério, apresentam perfis geoquímicos compatíveis entre si, ainda que com pequenas variações; são, entretanto, totalmente incompatíveis com os padrões/perfis e as variabilidades apresentadas pelas rochas encaixantes e associadas da seqüência supracrustal (p.ex.: Zn, Rb, Cr, Ni, entre outros; Anexo 4).

Análises de Au, Ag, As e S (Tabela 10) em amostras do furo BR-55 foram efetuadas para completar o estudo geoquímico dos minérios e suas relações com as encaixantes. As figuras 15 e 16 mostram o comportamento de Au, As e S, assim como os teores médios desses elementos por zonas litológicas no testemunho em questão. Depreende-se que Au, As e S sofreram enriquecimentos na ordem de 100, 400, 45 vezes, respectivamente, em relação aos teores médios dos anfibolitos mais pobres nesses elementos (anfibolitos da Zona A; Figuras 15, 16). Nota-se ainda um comportamento assimétrico na distribuição do Au na capa e na lapa do minério, com enriquecimento mais brusco na lapa, onde os teores do metal nobre sobem num intervalo do testemunho de 0,87 metros de teores médios de 20 ppb (ou menos) para mais de 18.000

A: MINA DO PARI E GARIMPO BAHU

REPRESENTAÇÃO GLOBAL

- OURO LIVRE E INCLUSO EM Asp
- 59 ANÁLISES

B: MINA DO PARI E GARIMPO BAHU

REPRESENTAÇÃO DETALHADA

C: MINA SÃO BENTO

- ▲ AU INCLUSO EM Asp: 3 ANÁLISES
- AU INCLUSO EM Py: 8 ANÁLISES

D: PEDREIRA MICON

Figura 17: Microgeoquímica do ouro natural por microsonda eletrônica; A, B: Mina do Pari e Garimpo Bahu; C: Mina São Bento; D: Pedreira Micon.

ppb. Diferentemente, na capa nota-se maior dispersão, com decréscimo dos teores de Au de 13.400 ppb (ou mais) para 50 ppb, no dobro do intervalo anterior, de 1,70 metros do testemunho estudado. A tendência de distribuição do Au é corroborada pelo comportamento análogo do As.

A presença sistemática de Ag foi observada, exclusivamente, no minério sulfetado de ouro e suas encaixantes imediatas da lapa. Entretanto, os teores médios dos intervalos analisados apresentam-se, em geral, muito baixos, variando entre 0,1-7,0 ppm. Teores médios máximos de 7,0 ppm de Ag caracterizam o topo do minério de ouro (Tabela 10).

As características dos minérios de ouro estudados no contexto das rochas encaixantes e associadas da seqüência vulcano-sedimentar do morro do Pari são consideradas mais condizentes com uma origem dos minérios como depósitos próprios, formados e sedimentados num intervalo da atividade vulcânica submarina que originou os protólitos dos anfibolitos da seqüência supracrustal, respectivamente, sotopostos e sobrepostos aos minérios e suas encaixantes imediatas. A hipótese alternativa, aqui descartada, seria de uma mineralização epigenética que teria sua origem na transformação de rochas preexistentes por circulação de fluidos hidrotermais numa zona de falha/cisalhamento e reações dos fluidos mineralizantes com as rochas encaixantes.

IX.3.3 Micro-Geoquímica das Ligas Naturais do Ouro

Na figura 17, observa-se, em diagramas Ag-Au-Cu, comparativamente, a variabilidade da liga natural do ouro da mina do Pari e de outras minas e ocorrências vizinhas da região NE do Quadrilátero Ferrífero, tais como mina São Bento, pedreira Micon, no vale do córrego Quebra Osso, e Bahú, no município Florália (Figura 3), com base nos dados analíticos das tabelas 11-14.

Notam-se dois tipos composicionais de ligas de ouro em São Bento; desses, um tipo está incluso em arsenopirita e possui de

67 a 68% de Au em sua composição; o outro, incluso em pirita, possui de 82,4 a 87,2% de Au.

Na mina do Pari, todas as amostras analisadas mostram que a liga natural possui de 81 a 85,9% de Au. Porém, ao se tratar os dados microgeoquímicos junto com os mineralógico-texturais, observa-se que em Pari, também, há duas famílias distintas de ouro: uma caracterizada por granulometria fina que ocorre inclusa em arsenopiritas, com 81 a 83% de Au e outra de ouro grosso, livre na matriz silicática ou intersticial aos sulfetos dos minérios, com 83 a 86% de Au.

Esse segundo tipo de liga é composicionalmente semelhante à única amostra da pedreira Micon, representada por uma pepita de Au livre, de alguns milímetros de tamanho, encontrada num veio carbonático de uma rocha metaultramáfica cisalhada, de origem de um metakomatiito do Gr. Quebra Osso (Schorscher, 1978, 1979a).

Na mina do Bahú, ocorrem ligas de ouro de composições semelhantes ao segundo tipo de ouro da mina do Pari. Essa mina também se localiza na quadrícula de Florália e está abandonada há cerca de 80 anos. Apesar de nenhum estudo específico ter sido realizado no local, os mapeamentos (1:25.000) e estudos petrográficos complementares mostraram contextos geológico e de metamorfismo semelhantes aos da mina do Pari (Alves, 1986; Schorscher et al., 1986, 1990).

Comparando-se as ligas da mina do Pari com São Bento, observa-se claramente que o ouro do Pari é semelhante ao tipo incluso em piritas na mina São Bento, o que provavelmente indica semelhanças dos processos metalogenéticos. É sabido também que, pelo menos, uma parte das piritas com ouro que ocorrem em São Bento são relacionadas ou com veios de quartzo (eventualmente carbonáticos) remobilizados tectono-metamórficos, ou ainda, com piritas idiomórficas de metamorfismo regional, formadas no sistema mais fechado dos minérios de ouro arqueanos, reequilibrados no curso do principal evento metamórfico no local de idade proterozóica (Schorscher et al., 1991).

X METAMORFISMO

X.1 Metamorfismo Regional na área do morro do Pari

Neste trabalho, não foram realizados estudos petrológicos específicos sobre o grau local de metamorfismo regional na área do morro do Pari, com base em paragêneses silicáticas; ênfase principal foi dada ao metamorfismo das assembléias de sulfetos dos minérios de ouro. Entretanto, os estudos mineralógico-petrográficos rotineiros mostraram a presença de assembléias bastante diagnósticas.

- As rochas metaultramáficas do Gr. Quebra Osso apresentam: Mg-clorita $\pm$ talco $\pm$ tremolita $\pm$ cummingtonita $\pm$ antofilita $\pm$ magnesita $\pm$ ferrita-cromita;

- os metabasitos/anfibolitos do Gr. Nova Lima:

plagioclásio(an>30) + quartzo + hornblenda(tschermakita, fluotaramita) $\pm$ cummingtonita $\pm$ clinozoisita-epidoto $\pm$ granada(almandina) $\pm$ clorita $\pm$ biotita $\pm$ titanita $\pm$ sericita;

- as formações ferríferas bandadas (bif's) de facies silicato do Gr. Nova Lima:

quartzo + grunerita + magnetita;

- os metapelitos do Gr. Nova Lima:

quartzo + biotita + muscovita + granada(almandina), ou, quando de protólitos mais máficos: Mg-clorita + biotita + hornblenda(tschermakita).

Adicionalmente, ocorrem nas imediações da mina do Pari, nos metassedimentos quartzíticos do Sgr. Espinhaço (Figura 3), de maneira generalizada, a associação de quartzo + cianita + muscovita, e, nas continuações NE e E das unidades metapelíticas

	Campo das Asp da Mina São Bento	T_0 São Bento: <300 a 400 °C
	Campo das Asp da 1ª geração da mina do Pari	T_1 Pari: 320 a 445 °C
	Campo das Asp 2ª geração da mina do Pari	T_2 Pari: 375 a 515 °C

Figura 18: Aplicação do geotermômetro de "As-em-arsenopirita" de Sharp et al. (1985) as arsenopirritas das minas do Pari e São Bento.

do Gr. Nova Lima, estauroлита e sillimanita macroscópicas, a distâncias de cerca de 5 quilômetros da mina.

Todas essas observações confirmam, para a região estudada, o principal metamorfismo regional na fácies dos xistos verdes superior, com condições de pressão e temperatura próximas à transição ou mesmo já transicionais para a fácies anfibolito, de características de tipo *Barrow* e idade proterozóica (Dorr, 1969; Miyashiro, 1973; Schorscher, 1976a, 1992; Winkler, 1977; Herz, 1978; entre outros).

Diferentemente, na região da mina São Bento, a pouco mais de 15 quilômetros à W da mina do Pari (Figura 3), o metamorfismo regional é, claramente, mais fraco, na fácies dos xistos verdes média, caracterizado pela ainda-estabilidade de estilpnomelano, junto com quartzo, clorita e, eventualmente, sericita em bif's de fácies mista (óxido à magnetita - silicato), e de quartzo, clorita e sericita/muscovita em xistos do Gr. Nova Lima.

Quanto às paragêneses de sulfetos nos minérios de ouro, ocorrem em São Bento, tipicamente, arsenopirita + pirita + pirrotita, com texturas que consubstanciam condições de estabilidade mútua dos três sulfetos. Já na mina do Pari, ocorrem ou a paragênese arsenopirita + pirrotita, ou a paragênese pirrotita + pirita; nunca foram observados os três sulfetos associados com texturas de condições de estabilidade. Segundo Clark (1960), que estudou o sistema Fe-As-S, arsenopirita, pirita e pirrotita seriam parageneticamente estáveis no intervalo de 363-491°C. Esses dados correspondem bem às observações petrográficas desse trabalho, indicando para a mina São Bento temperaturas na parte inferior da faixa experimental, provavelmente, algo entre 350-400°C e, para a mina do Pari, em torno de 500°C.

X.2 Geotermômetro de Arsenopirita

Os estudos de microscopia dos minérios mostraram a existência de duas gerações texturais e metamórficas, distintas, de arsenopiritas no minério de ouro da mina do Pari. A mais antiga,

em geral, xenomórfica e sempre muito rica em inclusões de outros sulfetos, além de ouro (Fotomicrografia 10), apresenta-se texturalmente similar à geração principal (de ocorrência quase exclusiva) de arsenopiritas do minério de ouro da mina São Bento. Diferenças, entretanto, dizem respeito à composição de suas inclusões de ouro, sendo o ouro refratário da mina São Bento muito mais rico em Ag do que seu equivalente da mina do Pari (Figura 17; Tabelas 11, 13). As arsenopiritas da segunda geração da mina do Pari apresentam-se isentas ou pobres em inclusões, sendo produtos de recristalização e crescimento idioblástico das arsenopiritas da primeira geração.

Nessas observações, baseou-se a aplicação do geotermômetro da arsenopirita (Kretschmar & Scott, 1976; Sharp et al., 1985). Para tanto, foram analisadas arsenopiritas das diferentes gerações e ocorrências, assim como alguns outros sulfetos por microsonda eletrônica (Tabela 15). Observa-se que as arsenopiritas de São Bento possuem de 28,7-32,5%atm de As, enquanto que as de Pari, da 1^a geração, possuem de 31,6-32,5%atm de As, e as da 2^a geração, de 32,5 a 33,8%atm de As. Esses dados, representados no diagrama geotermométrico de Sharp et al. (op. cit.), indicam, para as arsenopiritas da mina São Bento, temperaturas de inferiores a 300 até 400°C. Para a mina do Pari, as arsenopiritas de 1^a geração estão na faixa de 320 a 445°C, e as da 2^a geração, de 375 a 515°C (Figura 18).

Apesar da imprecisão do método, dada pela influência da fugacidade do S ($\log fS_2$), conforme discutido por Sharp et al. (1985), as faixas de temperaturas obtidas apresentam-se muito bem compatíveis com o padrão metamórfico local e regional e também mostram compatibilidade com a petrografia dos sulfetos.

XI Metalogênese do Depósito

A mineralização de ouro da mina do Pari, como demonstrado nesse trabalho, apresenta peculiaridades que a distinguem da grande maioria das mineralizações auríferas em *greenstone belts* do Brasil e do mundo. Citam-se, como principais, aspectos da alteração das rochas encaixantes, a petrografia dos minérios, incluindo tanto os sulfetos quanto as magnetitas e suas relações genéticas mútuas, assim como o grau relativamente alto e os efeitos do metamorfismo que contribuíram, principalmente, para enobrecer a mineralização pré-existente, tanto aumentando o teor de Au na liga natural do metal, como liberando-o em grande quantidade na textura dos minérios.

São poucas as mineralizações auríferas conhecidas com características e em condições similares. Da bibliografia sobre a metalogênese do ouro, um tema vastíssimo, entretanto, foi possível selecionar alguns exemplos que serão brevemente comparados à mina do Pari.

XI.1 Comparação com Outras Mineralizações

No Kolar Gold Field, Índia, Narayanaswami et al.(1960) descrevem mineralizações, aparentemente, muito semelhantes ao Pari, quanto ao grau metamórfico e às características petrográficas das principais litologias. No entanto, no Kolar Gold Field ocorrem dois tipos principais de mineralização. O economicamente mais importante, denominado tipo *Champion*, consiste de veios de quartzo com raros sulfetos e carbonatos. Esse correlacionar-se-ia, na mina do Pari, ao tipo subordinado de mineralização, a exemplo do veio de quartzo da unidade C. O segundo tipo de Kolar, chamado de *Oriental*, constitui-se em mineralizações sulfetadas, semelhantes à mineralização principal do Pari, e estudos termodinâmico-metalogenéticos em sulfetos (Anil et al., 1991) têm encontrado evidências indicando a formação/deposição sinvulcânica dos protominérios dessas

mineralizações em temperaturas próximas a 320°C. Diferentemente, estudos de Narayanaswami et al. (1960) e Hamilton & Hodgson (1987) indicaram que as mineralizações do tipo *Champion* seriam epigenéticas, associadas a zonas de cisalhamento dúctil-rúptil.

As minas de Campbell e Dickenson, no distrito de *Red Lake*, Canadá (Kerrick et al., 1981), são outros exemplos de mineralizações bastante semelhantes a mina do Pari. Encontram-se encaixadas em rochas metavulcânicas básicas e possuem paragêneses de minerais de ganga e de minérios análogos. MacGeehan & Hodgson (1980) descreveram regionalmente três eventos de formação de sulfetos e conseqüente mineralização os quais seriam, inicialmente, vulcano-exalativos e metamórficos, nos tempos finais de geração dos depósitos.

Em estudos mais recentes, Mathieson & Hodgson (1987) mostraram aspectos, indicando que o evento metamórfico-deformacional final foi preponderante na gênese e caracterização da mineralização. Mostraram que as encaixantes alteradas hidrotermalmente sofreram lixiviação de Na. e Mg, e enriquecimento em Fe, Mn e Ca, diferentemente do que ocorre nas encaixantes do minério da mina do Pari.

No Brasil, da mina de Crixás, foram descritas condições metamórficas semelhantes às da mina do Pari, porém, a mineralização associa-se a evento retrometamórfico da que gerou alteração nas fases minerais de maior temperatura como, por exemplo, nas granadas e estaurolitas (Thomson, 1991; Magalhães & Nilson 1993).

Aspectos metalogenéticos do ouro relacionados a processos de retrometamorfismo em rochas de facies anfibolito também foram descritos da mina de Ouro Fino, de Riacho dos Machados, localizada no norte do Estado de Minas Gerais (Fonseca et al., 1991), onde a mineralização está contida em quartzo-muscovita-xistos e as encaixantes são metassedimentos com granada e estaurolita. Na mina do Pari, entretanto, não foram observados efeitos de retrometamorfismo, nem nos minérios, nem nas rochas encaixantes e/ou associadas da seqüência vulcano-sedimentar.

Quando muito, ocorrem remobilizações menores e sem importância metalogenética.

XI.2 Discussão sobre a Metalogênese

A tendência atual da maioria dos autores que trabalha sobre a metalogênese do ouro em terrenos de tipo *greenstone belt* arqueanos como, por exemplo, Kerrich (1983) ou Phillips & Groves (1993), entre muitos outros, é de defender o modelo metamórfico para a gênese dos depósitos, argumentando que nas zonas mais profundas ("raízes") desses terrenos haveria lixiviação de Au e outros elementos, seguida de transporte para níveis crustais mais rasos e redeposição nos terrenos de mais baixo grau. Fyon et al. (1988) e Colvine (1989) propuseram o modelo de desvolatilização do manto como fonte para a geração dos fluidos que lixivariam elementos, inclusive o ouro, das partes mais profundas da crosta.

Assim, de um modo geral, processos de natureza epigenética para a geração dos depósitos auríferos nos terrenos *greenstone belt* arqueanos são defendidos pela maioria dos autores nos seus trabalhos mais recentes (cf.: Boyle, 1979, 1987; entre outros).

Outros autores, representados por Hutchinson (1973, 1993), Fyfe & Kerrich (1984) e Oberthür et al. (1990), entre outros e, no Brasil, por exemplo, por Ladeira (1980), assim como pelo orientador desse trabalho e colaboradores (Schorscher et al., 1982, 1986, 1991), divergem dessa tendência, defendendo processos singenéticos, vulcano-exalativos, vulcano-sedimentares e/ou sedimentares para a formação de determinados tipos de depósitos auríferos em *greenstone belts* arqueanos.

No caso da mineralização de ouro da mina do Pari nota-se que uma série de processos diferentes contribuíram e influenciaram na constituição do depósito. Têm-se os efeitos tectono-metamórficos, predominantes, da principal orogênese que afetou toda a região da borda SE do Cráton do São Francisco, de idade proterozóica inferior (Schorscher, 1992; Noce, 1995). O metamorfismo regional foi de fácies dos xistos verdes superior,

transicional para anfibolito (subfácies epidoto-anfibolito) e, claramente, posterior em relação à origem (primária) dos protominérios e minérios do Pari. O metamorfismo afetou os minérios de formas múltiplas: texturalmente, por cristalloblastese, recristalização e neocristalização metamórfica, causando a liberação e o crescimento granulométrico relativamente grosso da maior parte do ouro e, composicionalmente, por equilíbrio geoquímico e o decorrente aumento do teor de Au na liga natural do metal nobre.

Na análise da deformação tectônica nota-se sempre e de forma bilateral-simétrica em relação ao horizonte do minério, a foliação mais forte das encaixantes imediatas da mineralização. Seguem-se os anfibolitos da seqüência vulcano-sedimentar com deformação mais fraca e, por último, os próprios minérios sulfetados de ouro onde a foliação (principal) é mínima, passando, localmente, a imperceptível. Esses exibem, ainda, relações de intensidade da foliação principal (S_n) inversamente proporcionais aos teores totais de sulfetos, principalmente, quando predomina a arsenopirita. Nessas porções, observam-se, microscopicamente (combinando técnicas de luz transmitida e refletida) a preservação palimpséstica de (micro-)estruturas sedimentares a diagenéticas anteriores, inclusive a foliação mais antiga reconhecida no morro do Pari (S_{n-1}), algumas sugestivas de deformação gravitacional em sedimentos químicos heterogêneos, estratificados, com diferenças de densidade notáveis entre os estratos.

Fica assim evidente que, analogamente ao metamorfismo, a deformação principal também se superimpôs a uma seqüência litologicamente heterogênea, sedimentar ou metassedimentar (de grau mais fraco em relação ao metamorfismo regional principal), compreendendo os minérios sulfetados de ouro, como o horizonte mais litificado e competente.

Quanto às feições geoquímicas das rochas encaixantes e da mineralização, algumas poderiam ser interpretadas de formas alternativas, ou (1)-como produzidas por alteração hidrotermal (*wall rock alteration*), diretamente relacionadas à origem da

mineralização, ou (2)-como variações litológicas independentes, entretanto, não desconectadas da metalogênese, retratando a evolução da coluna lito-estratigráfica e, assim, do ambiente geológico gerador e, posteriormente, hospedeiro do depósito, ou ainda (3)-como resultado conjunto da superposição dos dois processos.

Os elevados teores de Na na lapa do minério do nível 10, aproximando-se, principalmente nos anfibolitos, dos 4% de peso de Na_2O (Anexo 4, Fig. 4H), são bastante característicos para processos restritos/locais(?) de espilitização. Esses, por sua vez, são alterações típicas de fundo oceânico em rochas basálticas (Humphris & Thompson, 1978; Herzig et al., 1993; Hutchinson, 1993), entretanto, não diretamente relacionados com a mineralização.

Diferentemente, o Mg encontra-se, na capa do nível 10, em teores (de MgO) de 10-12% de peso, bem superiores a todas as demais rochas encaixantes e anfibolitos associados da sequência vulcano-sedimentar. O perfil geoquímico desse elemento, outrossim bastante móvel em processos hidrotermais e mineralizantes nas intersecções estudadas, entretanto, mostra-se replicado, com proporcionalidade direta, por elementos menos móveis e imóveis, no caso, Ni e Cr (Anexo 4, Figuras 4F, 4K). Essa regularidade geoquímica caracteriza, claramente, a variabilidade do MgO também como causada por variações composicionais litológicas primárias; os altos teores de MgO da capa do nível 10 devem-se a uma maior contribuição de produtos tufo-tufíticos ultramáficos nos protólitos dos xistos em questão.

O K e o Rb mostram, entre si, comportamentos perfeitamente correlacionados (de fato, esperados, visto tratar-se de elementos análogos geoquímicos), ressaltando, nas duas intersecções do horizonte mineralizado estudadas, enriquecimentos irregulares em direção ao topo, entretanto, com algumas diferenças entre os casos (Anexo 4, Figuras 4I, 4N). Comparados os perfis geoquímicos desses elementos entre si e com a distribuição do Zn (Anexo 4, Figura 4M), como confiável

traçador do minério (cf. Fyfe & Kerrich, 1984; Hutchinson, 1973, 1993), nota-se que os teores máximos de K e Rb se situam, no caso do nível de entrada da mina do Pari, no topo do minério propriamente, diferindo do nível 10, onde ocorrem nos xistos encaixantes da capa, adjacentes ao topo do minério. Tais enriquecimentos, de intensidades muito similares e proporcionais, uma vez nos minérios, outra vez nas encaixantes são, em geral, característicos para processos de tipo *wall rock alteration* relacionados à formação de mineralizações epigenéticas, mais ainda quando se trata, como no caso, de elementos metais alcalinos, altamente móveis e incompatíveis. Na mina do Pari, entretanto, o controle estratigráfico continua a predominar, conforme sustentado pela assimetria do perfil geoquímico da base ao topo do minério e nas encaixantes; essa assimetria reproduzida nas duas intersecções estudadas. Consideram-se, portanto, os perfis geoquímicos dos metais alcalinos em questão, representativos da evolução dos fluidos mineralizantes no curso da deposição por, predominantemente, sedimentação química, dos minérios auríferos. Durante o metamorfismo regional principal, ambos os álcalis ficaram incorporados/retidos, tanto nas rochas encaixantes como na matriz silicática dos minérios, nas micas metamórficas, principalmente, biotita e, em menor proporção, na muscovita.

As condições termais conforme indicadas pelos dois tipos texturais diferentes de arsenopiritas e as composições das ligas naturais de ouro dos minérios do Pari, caracterizam duas gerações geneticamente distintas de arsenopiritas e, pelo menos, três gerações texturais de ouro.

A segunda geração de arsenopiritas metamórficas do Pari ocorre ou em cristais individuais idiomórficos, pobres ou isentos de inclusões, ou ainda, como bordas de crescimento idioblásticas, também sem inclusões, sobre restos preservados como núcleos em seu interior de arsenopiritas da primeira geração, ricas em minúsculas inclusões de outros sulfetos, ouro e minerais de ganga. As arsenopiritas da mina São Bento, texturalmente análogas às arsenopiritas da primeira geração do

Pari, indicam temperaturas máximas de formação abaixo de 400°C, mais provavelmente representativas da formação (primária) da mineralização. As arsenopiritas da segunda geração do Pari indicam temperaturas máximas em torno de 500°C, compatíveis com o pico termal do principal metamorfismo regional na área. As arsenopiritas da primeira geração do Pari apontam para temperaturas intermediárias, compatíveis com seu reequilíbrio metamórfico parcial (Figura 18).

As composições do ouro do Pari, quando incluso em arsenopiritas como na forma livre, variam dentro da mesma faixa composicional, bastante estreita, notando-se ainda uma leve, mas nítida tendência a maior pureza do ouro livre. Essa faixa é a mesma mostrada também pelo ouro incluso nas pirritas (metamórficas) e o raro ouro livre de São Bento, assim como pelo ouro livre de Bahu e da pedreira Micon (Figura 17), representando ouro metamórfico mais puro, com teores mais elevados de Au na liga (80-90%-atômicos) se comparado com o ouro incluso nas arsenopiritas de São Bento, que varia tendo 65-70%-atômicos de Au na liga natural.

Fica evidente, assim, que o modelo metalogenético de multi-estágios (e multi-processos) é o que melhor se adequa às características da mineralização aurífera da mina do Pari. Esse modelo, desde Hutchinson & Burlington (1984), vem sendo aplicado para explicar muitas mineralizações associadas a metassedimentos químicos arqueanos (por ex.: Oberthür et al., 1990; entre outros) e foi, mais recentemente, reapresentado e complementado com dados novos por Hutchinson (1993).

Com base nesse modelo, considera-se o depósito aurífero do Pari como sendo de características primárias vulcano-exalativas, singenético-sinsedimentar quanto à gênese dos protominérios/minérios, proximal em relação ao foco magmático das rochas basálticas de fundo oceânico associadas no Gr. Nova Lima do *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas. A deposição dos protominérios/minérios ocorreu num intervalo da atividade eruptiva basáltica. A mineralização primária e seu contexto litológico da sequência vulcano-sedimentar sofreram,

posteriormente, processos termo-tectônicos e hidrotermais relacionados a, no mínimo, três ciclos geotectônicos: finais da evolução *greenstone belt* arqueana do SGr. Rio das Velhas, proterozóicos inferiores pelo principal evento metamórfico regional dinamo-termal, final do Ciclo Minas/Espinhaço (Schorscher, 1992) ou Transamazônico (Noce, 1995) e proterozóicos superiores do Ciclo Brasileiro. Predominantemente o principal evento metamórfico regional progressivo enobrecceu as características mineralógicas e texturais dos minérios, pela recristalização/reconstituição dos sulfetos e a liberação, o crescimento granulométrico e o enriquecimento do Au na liga natural Au-Ag do metal nobre. As transformações mineralógicas e os respectivos transportes geoquímicos metamórficos, entretanto, ocorreram, tanto nos minérios de ouro como nas rochas encaixantes e associadas à mineralização, praticamente *in situ*, sem causar maiores dispersões e/ou contaminações nos conjuntos petro-metalogenéticos estudados.

Conclusões análogas parecem possíveis para a mineralização de ouro da mina São Bento, devendo-se considerar, entretanto, algumas diferenças principais. Citam-se, entre essas: o metamorfismo regional mais fraco e a melhor preservação das características texturais primárias dos minérios, sua maior variabilidade composicional e textural (ainda estudada de maneira incompleta) e a ambientação litoestratigráfica essencialmente metassedimentar dos minérios de ouro de São Bento, sem associação direta com rochas metaígneas de vulcanismo intraformacional, ou seja, caracterizando relações mais distais dessa mineralização, com eventuais focos vulcânicos do *greenstone belt* Rio das Velhas.

XII CONCLUSÕES

A seqüência supracrustal vulcano-sedimentar do morro do Pari representa a continuação física, de partes do *greenstone belt* arqueano Rio das Velhas - Supergrupo Rio das Velhas (Schorscher, 1978; 1979; 1992; Inda et al., 1984) - que, na região a W da área desse estudo, no Quadrilátero Ferrífero, é parte do embasamento arqueano das unidades proterozóicas.

A seqüência compreende, na base, o horizonte metavulcânico-ultramáfico do Grupo Quebra Osso. Seguem-se, com contato estratigráfico normal, rochas metavulcânicas básicas toleiíticas e restritos metassedimentos químicos, pelíticos e vulcano-clásticos, representativos de porções basais do Grupo Nova Lima.

A julgar pelas seções típicas da região do Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969; Schorscher, 1992), a seqüência Rio das Velhas do morro do Pari apresenta-se incompleta; faltam intervalos amplos, principalmente, de rochas metapelíticas, representativas de partes estratigráficas superiores do Grupo Nova Lima, assim como o Grupo Maquiné, integralmente.

A seqüência supracrustal arqueana do morro do Pari encontra-se em posição estratigráfica normal, entretanto, apresenta a configuração estrutural de um homoclinal de direção geral N-S com caimento para E, encravado no complexo Gnáissico-migmatítico regional e cortado por falhas transversais de direção geral E-W.

As litologias do complexo Gnáissico-migmatítico mostram composições de rochas TTG arqueanas e, principalmente em zonas de falha e cisalhamento, os efeitos de feldspatização metassomática, pela circulação e reações de fluidos potássicos com as rochas sódicas.

Os contatos da seqüência supracrustal do morro do Pari com os gnáisses do complexo Gnáissico-migmatítico são tectônicos, por falhas de empurrão de vergência para W, caracterizados pela formação de milonitos. No contato W, as rochas metaultramáficas foram afetadas por metassomatismo potássico, apresentando flogopitização. O contato E, com o grupo Nova Lima, é mal exposto em afloramentos naturais. Entretanto, amostras de testemunhos de sondagem também evidenciam a ocorrência de pegmatóides de granulação grossa, ricos em feldspato potássico róseo, em veios injetados nas rochas justapostas (TTG e Nova Lima).

72185
Para o grupo Nova Lima foi elaborada uma subdivisão lito-estratigráfica local, informal, em quatro unidades, designadas de A, B, C e D, da base para o topo. A mineralização de ouro está compreendida na parte superior da unidade B.

Dois eventos deformacionais principais, distintos, S_{n-1} e S_n afetaram a área, causando, entre outros, dobramentos isoclinais com vergências de direções, entre si, ortogonais e com eixos de direções gerais, respectivamente, E-W e N-S. Ambos afetaram a mineralização que evidencia ainda efeitos de deformações, respectivamente, anteriores a S_{n-1} e posteriores a S_n .

O metamorfismo regional principal dinamothermal progressivo no sentido direcional de W para E atingiu, na área do morro do Pari, condições transicionais da fácies xistos-verdes superior para anfibolito e afetou também os minérios de ouro do Pari. As paragêneses silicáticas caracterizam a subfácies epidoto-anfibolito na zona da granada. Esse metamorfismo é atribuído à orogênese Minas/Espinhaço de idade proterozóica inferior (Schorscher, 1992; Noce, 1995).

A mineralização de ouro do morro do Pari constitui-se num horizonte que, localmente, mostra desmembramento em dois

subhorizontes e sempre obedece a rigoroso controle estratigráfico e de litofácies.

A mineralização é caracterizada petrograficamente como uma formação ferrífera bandada (*bif*) de tipo *Algoma*, mista, variando lateral e, sobretudo, verticalmente, na forma de misturas, nas mais diversas proporções, entre os seguintes tipos de fácies principais: óxido-silicato, óxido-carbonato-silicato, silicato-sulfeto, silicato-sulfeto-óxido e, mais raramente, óxido-sulfeto.

Em função dos múltiplos processos que exerceram seus efeitos sobre a mineralização, a maioria dos sulfetos, assim como o ouro, ocorre em mais de uma geração (textural e/ou composicional).

O ouro ocorre em pelo menos duas gerações texturais (e composicionais) distintas. Predomina o ouro livre, relativamente grosso (grãos de décimos de milímetros), que perfaz, em média, 80 a 85% do total. Segundo em abundância é o ouro refratário, fino (grãos $<10\mu\text{m}$), que ocorre como inclusões na arsenopirita e, excepcionalmente, na magnetita, totalizando menos de 15%.

As variações composicionais do ouro natural do Pari são restritas, entretanto, sistemáticas, e tem significado genético: o ouro refratário, fino, primário sob aspectos texturais é o mais pobre em Au com ligas de Au(81-83,5):Ag, seguido pelo ouro livre, grosso, metamórfico com ligas de Au(83,3-86):Ag.

A gênese da mineralização de ouro do morro do Pari é complexa. Os protominérios e minérios primários têm sua origem em processos arqueanos singenéticos, vulcano-exalativos, de sedimentação predominantemente química, com contribuições menores de sedimentos vulcanoclásticos e clásticos finos (tufos, tufitos e siltito-pelitos) e diagenéticos.

Esses processos ocorreram num ambiente proximal em relação a um foco de vulcanismo basáltico subaquático do *greenstone belt* Rio das Velhas, indicado pelos anfibolitos associados à mineralização, num período de calma da atividade eruptiva.

Aos processos metalogenéticos primários, de deposição e diagênese, seguiram-se eventos/processos modificadores da mineralização, tectono-metamórficos, em pelo menos três ciclos orogenéticos: no final da evolução *greenstone belt* do supergrupo Rio das Velhas, arqueano; no final do ciclo Minas/Espinhaço (ou Transamazônico), proterozóico inferior, e no final do ciclo Brasileiro, proterozóico superior. Esses causaram transformações mineralógico-texturais e geoquímicas, imprimindo à mineralização e as rochas encaixantes e associadas as características definitivas.

O horizonte da mineralização de ouro respondeu à deformação principal - que causou, entre outras, a foliação (principal) S_n como um dos horizontes mais litificados e competentes, evidenciando, ainda, relações diretas entre a competência e o conteúdo total de sulfetos e, principalmente, de arsenopirita.

A deformação diferencial entre a mineralização e os anfibolitos associados da sequência vulcano-sedimentar foi compensada nos xistos encaixantes imediatos da mineralização; esses sofreram deformação/foliação máxima, adquirindo aspectos de zonas de cisalhamento.

Nos minérios sulfetados de ouro as mais antigas deformações anteriores à foliação S_n são representadas por microestruturas palimpsésticas (incluindo dobras irregulares, estiramentos e cisalhamentos pré-metamórficos) de origens, supostamente, sedimentares a diagenéticas, sugestivas de deformações gravitacionais em sedimentos químicos de densidade heterogênea. Seguiu-se a formação das dobras isoclinais com foliação plano-

axial de direção geral E-W da deformação S_{n-1} , verificadas, inclusive, nos anfibolitos da seqüência vulcano-sedimentar.

Deformações posteriores à foliação principal S_n afetaram todas as rochas precambrianas da área. Causaram a crenulação S_{n+1} e, em condições mais rúpteis, diversos sistemas de falhas e fraturas, incluindo o sistema de fraturas S_{n+2} , em eventos desde proterozóicos (tardios e posteriores em relação ao principal evento tectono-metamórfico) a fanerozóicos. Quando acompanhadas de circulação de fluidos hidrotermais de temperaturas mais elevadas, contribuíram com remobilizações de sulfetos, ouro e minerais de ganga (quartzo, carbonatos, cloritas) na constituição final da mineralização.

As transformações geoquímicas compreenderam, nos anfibolitos da seqüência vulcano-sedimentar, alterações de fundo oceânico, pré a, eventualmente, sinmetamórficas, de tipo espilitização, de intensidades fracas a moderadas e extensões restritas.

Nos minérios de ouro, as principais transformações mineralógico-texturais ocorreram durante o principal evento tectono-metamórfico regional (proterozóico inferior) e tiveram desenvolvimento essencialmente isoquímico, por reações e reequilíbrio subsolidus *in situ* em escala de minerais.

Nesses processos, o perfil geoquímico original do horizonte da mineralização aurífera não sofreu nenhuma alteração notável de sua evolução multielementar heteropolar, característica da base para o topo, verificada, de forma análoga, em duas interseções contínuas. O mesmo ocorreu nas rochas encaixantes e associadas da seqüência vulcano-sedimentar; suas assinaturas e polaridades geoquímicas pré-metamórficas específicas também ficaram, essencialmente, preservadas.

Redistribuições menores dos metais alcalinos K e Rb entre o topo da mineralização e os xistos encaixantes imediatamente adjacentes, se devem ao enriquecimento geoquímico primário desses álcalis na parte superior da mineralização. Sua redistribuição e fixação metamórfica, respectivamente, nos minérios versus encaixantes, foram controlados pela formação e abundância da biotita.

Nos minérios de ouro, as reações e reequilíbrios metamórficos principais incluíram o reequilíbrio metamórfico parcial da arsenopirita-I (xenomórfica, rica em inclusões) e, total, da arsenopirita-II (idiomórfica, sem inclusões). Segundo o geotermômetro da arsenopirita (Sharp et al., 1985), essas reações ocorreram, respectivamente, a partir de 400°C e em temperaturas de pico metamórfico bem definidas de 500°C, condições que correspondem aos resultados locais e regionais de petrografia metamórfica.

As reações e reequilíbrios metamórficos principais incluíram ainda a recristalização/reconstituição dos sulfetos, com decorrente liberação, aumento da quantidade, crescimento granulométrico e enriquecimento de Au na liga natural do ouro livre, metamórfico e redução dos teores de ouro primário, refratário.

Verifica-se, assim, sob aspectos metalogenéticos, que o metamorfismo regional principal bastante intenso, não causou nem sequer iniciou, processos de destruição da mineralização, freqüentemente citados na literatura para explicar a aparente escassez ou mesmo ausência de mineralizações de ouro em terrenos de grau metamórfico médio e alto. Pelo contrário, no caso dos minérios de ouro do morro do Pari, o metamorfismo principal enobreceu suas propriedades texturais, composicionais e tecnológicas.

Os principais resultados dos estudos comparativos da mineralização de ouro da mina São Bento (Sgr. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima), situados na região NE do Quadrilátero Ferrífero (Fig. 3), corroboram os resultados da mina do morro do Pari. Confirmam o grau metamórfico regional mais baixo de São Bento, onde as paragêneses silicáticas e a geotermometria das arsenopiritas (com temperaturas de $<300-400^{\circ}\text{C}$) indicam evolução na fácies xistos-verdes baixa a média.

Confirmam também a maior abundância, menor granulometria, o menor grau de liberação e menores teores de Au na liga natural do ouro primário refratário de São Bento, que ocorre incluso em arsenopiritas xenomórficas, variando na faixa de Au(65-70):Ag.

A ocorrência de uma segunda geração de ouro refratário em São Bento, incluso em piritas idiomórficas, com composições, na faixa de Au(82-87):Ag, compatíveis com o ouro metamorficamente reequilibrado de Pari, pode ser explicada pelo menor grau metamórfico em São Bento, que não excedeu à estabilidade da pirita na presença de pirrotita e arsenopirita.

As analogias e diferenças das mineralizações de ouro de São Bento e do morro do Pari foram aqui explicadas, principalmente, com base no modelo metalogenético desenvolvido para a mina do Pari. Podem, entretanto, existir ainda condicionantes adicionais, em função, por exemplo, da ambientação metalogenética diferente, tipicamente sedimentar da mineralização de São Bento. Essa ocorre num intervalo lito-estratigráfico isento de rochas vulcânicas sinsedimentares, distal em relação a qualquer eventual centro (ou evento) vulcânico do *greenstone belt* Rio das Velhas, diferentemente do que foi observado na mina do morro do Pari.

XIII BIBLIOGRAFIA

- ABREU, G.C. (1988): Mina do Pari relatório preliminar. - **Relatório Interno**: 16pp., ilust., Gamma Pesquisas Ltda.
- ABREU, G.C. (1991): Estudo comparativo entre as alterações hidrotermais da Mina do Pari, Quadrilátero Ferrífero, M.G., Brasil e Mina Dickenson (Red Lake-Canadá). - **Seminários Gerais de Pós-Grad.** (nív. mestrado): 15pp., IG-USP.
- ABREU, G.C., QUEIROGA, N.C..M., SCHORSCHER, H.D. (1987): Relatório de mapeamento geológico e levantamentos detalhados de campo (esc. 1:10.000) na região de Florália MG. - Relatório de Pesquisa CNPQ (Proc. 40.4377/85), IG-USP.
- ABREU, A.S., DINIZ, H.B., BUENO DO PRADO, M.G. & SANTOS, S.P. (1988): Mina de ouro de São Bento, Santa Bárbara, Minas Gerais. - Pp. 393-411, in: C. Schobbenhaus & C.E.S. Coelho, (coords.), **Principais depósitos minerais do Brasil**, Vol. III, DNPM, Brasília.
- ALMEIDA, F.F.M. (1976): Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. - In: 29^o Cong. Bras. Geol, **Resumos**: 201-202, SBG, Ouro Preto/Belo Horizonte.
- ALMEIDA, F.F.M. (1977): O Cráton do São Francisco. - **Rev. Bras. Geoc.** 7(4): 349-364.
- ALVES, M.G. (1986): Utilização de sensoriamento remoto na obtenção de dados lito-estruturais em trabalho geológico de detalhe na região NE do Quadrilátero Ferrífero (MG). - **Dissertação de Mestrado**, INPE (SERE), São José dos Campos.

- ANIL, G.S., MENON, A.G. & ANANTHA IYER, G.V. (1991): Thermodynamic characterization of the physico-chemical conditions attending gold mineralisations in the sulphide-rich Oriental type lodes, Kolar Gold Fields, India. - Pp. 507-511, in: E.A. Ladeira (ed.), **Brazil Gold '91**, 823pp., A.A. Balkema, Rotterdam.
- BACHE, J.J. (1987): World gold deposits: a geological classification. - 179pp., North Oxford Academic, Oxford.
- BARBOSA, O. (1954): Évolution du géosynclinal Espinhaço. - In: 19th Inter. Geol. Cong., Sec. XIII, 2. part., **Fascicule XIV**: 17-36, Alger.
- BOYLE, R.W. (1979): The geochemistry of gold and its deposits. - **Geol. Surv. Can., Bull. 280**: 584pp.
- BOYLE, R.W. (1987): Gold: history and genesis of deposits. - 676pp., van Nostrand Reinhold Co., N.Y.
- CALÓGERAS, J.P. (1904) As Minas do Brasil e sua Legislação. Rio de Janeiro - **Imprensa Nacional**, vol.1, 477pp.
- CARNEIRO, M.A. (1992) Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional(Quadrilátero Ferrífero, MG): litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. Tese de Doutorado, 233p., IG-USP, São Paulo, (ilust.)
- CARNEIRO, M.A. & TEIXEIRA, W. (1992): Discordância de idades radiométricas U-Pb e Rb-Sr no Cráton do São Francisco meridional: evidências a partir do Complexo Metamórfico Bonfim setentrional, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. - In: 37^o Cong. Bras. Geol., **Resumos**: 189-190, SBG, São Paulo.

- CARNEIRO, M.A., TEIXEIRA, W. & MACHADO, N. (1993): Evolução geológica policíclica de terrenos granito greenstone do Arqueano Superior do Cráton do São Francisco Meridional; um exemplo a partir do Complexo Metamórfico de Bonfim Setentrional. - In: II Simp. Cráton do São Francisco, **Anais**: 70-74, Salvador.
- CLARK, L.A. (1960): The Fe-As-S systems: phase relations and applications. - **Econ. Geol.**, **55**: 1345-1381 e 1631-1652.
- COLVINE, A.C. (1989): An empirical model for the formation of archean gold deposits: products of final cratonisation of Superior Province, Canada. - **Ontario Geol. Survey, Misc. Paper**, 37-53.
- CONDIE, K.C. (1976): Trace element geochemistry of Archean Greenstone Belts. - **Earth-Science Reviews**, **12**: 393-417, Elsevier, Amsterdam.
- COSTA SENA, P. (1881): Análise de minérios auríferos de algumas minas de Minas Gerais. - **Annaes Escola de Minas de Ouro Preto**, **1**: 114-117, Ouro Preto.
- DAVY, R. (1983): Part A - A contribution on the chemical composition of the precambrian iron-formations. - Pp. 325-343, in: A.F. Trendall & R.C. Morris (eds.), **Iron-formation: facts and problems**, Elsevier, Amsterdam.
- DEBON, F. & LE FORT, P. (1983): A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. - **Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.** **73**: 135-149.

- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1972): An introduction to the rock-forming minerals. - 528pp., 6th impr., Longman, London.
- DERBY, O.A. (1881): Contribuição para o estudo da geologia do Valle do São Francisco. - **Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, 4: 87-119.
- DERBY, O.A. (1906): The Serra do Espinhaço, Brazil. - **J. Geol.**, 14(5): 374-401.
- DORR II, J.V.N. (1966): Stratigraphy. - Pr. IV-2-IV-5, in: Outline of the Geology of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil., Amer. Geol. Inst., Brazil, Washington 1966.
- DORR II, J.V.N. (1969): Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. - **USGS Prof. Pap. 641-A**, 110pp., Washington.
- DORR.II, J.V.N., GAIR, J.E., POMERENE, J.B. & RYNEARSON, G.A. (1957): Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. - **DNPM, Div. Fom. Min., Avulso 81**, 31pp., Rio de Janeiro.
- DORR II, J.V.N. & BARBOSA, O. (1963) Geology and ore deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. **Prof.Paper-USGS, no 341-C**, 110p.
- DRAKE JR., A.A. & MORGAN, B.A. (1980): Tectonic studies in the Brazilian Shield. - **USGS Prof. Pap. 1119-B**: 1-19, Washington.
- ESCHWEGE, W.L. (1833): Pluto Brasiliensis. - 622pp., G. Reimer, Berlin.

- ESCHWEGE, W.L. (1898): Ocorrências e Jazidas de Ouro. - **Arch. Publ. Mineiro**, Ano II: 611-631, Ano III: 455-463 e 519-577, Ouro Preto.
- FERRAND, P. (1894): L'or a Minas Geraes, Brésil. - **Imprensa Oficial do Est. de Minas Gerais**, Vol. I: 163pp., Vol.II: 141pp..
- FONSECA, E., GUIMARÃES, P.J., DUTRA LEAL, E. & MEDEIROS SILVA, H. (1991): The Ouro Fino gold deposit, Minas Gerais, Brazil. - Pp. 499-505, in: E.A. Ladeira (ed.), **Brazil Gold '91**, 823pp., A.A. Balkema, Rotterdam.
- FOSTER, R.P. (1991): Gold metallogeny and exploration. - 432pp., Blackie, London.
- FOUQUET, Y.; STACKELBERG, U.V.; CHARLOU, J.L.; ERZINGER, J.; HERZIG, P.M.; MÜHE, R. & WIEDICKE, M. (1993): Metallogenesis in Back Arc environments: The Lau Basin example. - **Econ. Geol.** **88**: 2154-2181.
- FRYER, B.J. (1983): Part B - Rare earth elements in iron formation. - Pp. 345-358, in: A.F. Trendall & R.C. Morris (eds.), **Iron-formation: facts and problems**, Elsevier, Amsterdam.
- FYFE, W.S., & KERRICH, R. (1984): Gold: Natural concentration processes. - Pp. 99-127, in R. P. Foster (ed.), **Gold'82**.
- FYON, J.A., MacDONALD, A.J., MARMONTONT, S. & TROOP, D.G. (1988): Shield-wide introduction of gold into archean crust, Superior Province, Ontario: Coupling between mantle initiated magmatism and lower crustal maturation. - **Geol. Soc. Australia, Abstracts**, **22**: 313-318.

- GUIMARÃES, M.L.V. (1992) Petrogênese das rochas pré-cambrianas da região de Itabira/Morro do Pilar, borda Sudeste da Serra do Espinhaço Meridional - MG. Dissertação de mestrado, 138p., IG-USP, (ilust.).
- HAMILTON, J.V. & HODGSON, C.J. (1987): Mineralisation and structure of Kolar Gold Field, India. - Pp. 270-283, in: **Gold'86**.
- HANNINGTON, M.D. & SCOTT, S.D. (1988): Gold mineralization in volcanogenic massive sulfides: implications of data from active hydrothermal vents on the modern sea floor. - **Econ. Geol. Monograph**, 6: 491-507.
- HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. (1915): The Geology of central Minas Geraes, Brazil. - **J. Geol.**, 23: 341-378 e 385-424.
- HERZ, N. (1970): Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. - **USGS Prof. Pap.**, 641-B, 58pp., Washington.
- HERZ, N. (1978): Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. - **USGS Prof. Pap.**, 641-C, 81pp., Washington.
- HERZIG, P.M.; HANNINGTON, M.D.; FOUQUET, Y.; STACKELBERG, U.V. & PETERSEN, S. (1993): Gold-rich polymetallic sulfides from the Lau Back Arc and implication for the geochemistry of gold in sea-floor hydrothermal systems of the southwest Pacific. - **Econ. Geol.**, 88: 2182-2209.
- HODGSON, C.J. (1989) The structure of shear-related vein-type gold deposits - A review: **Ore Geology Reviews**, v.4:231-273

- HUGHES, C.J. (1982): Igneous Petrology. - 551pp., Elsevier, Amsterdam.
- HUTCHINSON, R.W. (1973): Volcanogenic sulphide deposits and their metallogenetic significance. - *Econ. Geol.*, **68**: 1223- 1246.
- HUTCHINSON, R.W. (1993): A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for greenstone-hosted gold lodes. - *Ore Geol. Reviews, Special Issue 8* (Vein-type Ore Deposits): 349-382.
- HUTCHINSON, R.W. & BURLINGTON, J.L. (1984): Some broad characteristics of greenstone belt gold lode. In: *Gold'82*, R.P.Foster, Ed., 340-370.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, J.H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBHENHAUS, C.; HARALYI, N.C.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R. (1984): O Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Araçuaí. - Pp. 193-248, in: C. Schobbenhaus, D.D.A. Campos, G.R. Derze & H.E. Asmus (coords.), *Geologia do Brasil*, DNPM, Div. Geol. Min., Brasília.
- KERRICH, R. (1983): Geochemistry of gold deposits in the Abitibi greenstone belt. - *Can. Inst. Min. Met., Spec. Vol.*: 27-75.
- KERRICH, R.; FRYER, B.J.; MILNER, K.J.; PEIRCE, M.G. (1981): The geochemistry of gold-bearing chemical sediments, Dickenson mine, Ontario: A reconnaissance study. *Can. J. Earth Sci.*, **18**:624-637.
- KRETSCHMAR, U. & SCOTT, S.B. (1976): Phase relations involving arsenopyrite in systems Fe-As-S and their applications. - *Can. Min.*, **14**:364-386.

- KUHNS, R.J. (1986) Alteration styles and trace element dispersion associated with the golden giant deposit, Hemlo, Ontario, Canada. In: A.J. Macdonald (Ed), **Gold'86**, An International Symposium on the Geology of Gold Deposits (Toronto). **Proceedings Volume**, pp. 340-354.
- LADEIRA, E.A. (1980): Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. - 272pp., Tese de Doutorado, Univ. of Western Ontario.
- LADEIRA, E.A & VIVEIROS, J.F.M. (1984): Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base em dados disponíveis. - **SBG. Núcleo MG.**, **Bol.4**, 19pp., Belo Horizonte.
- LUCHESI, I. (1991): Evolução petrogenética e metalogenética da Serra da Boa Vista, Quadrilátero Ferrífero, MG. - 134pp., Dissertação de Mestrado, IG-USP.
- MacGEEHAN, P.J. & HODGSON, C.J. (1980): Environments of gold mineralisation in the Campbell Red Lake and Dickenson Mines, Red Lake District, Ontario. - Pp. 184-207, in: R.W. Holder and W. Petruk (eds.), **Geology of Canada, Proceedings C.I.M. Gold Symp.**
- MACHADO, N. & CARNEIRO, M.A. (1992): U-Pb evidence of late Archean tectonothermal activity in the southern São Francisco Shield, Brazil. - **Can. J. Earth Sci.**, **29**: 2341-2346.
- MACHADO, N. & NOCE, C.M. (1993): A evolução do setor sul do Cráton do São Francisco entre 3.1 e 0,5 G.a., baseada em geocronologia U-Pb. - Pp. 100-102, in: **Anais do II Simp. sobre o Cráton do São Francisco**, Salvador.

- MAGALHÃES, L.F. & NILSON, A.A. (1993): Controle lito-estrutural e características da mineralização aurífera da região do córrego Geral-Meia Pataca, Crixás (GO). SBG, Rev. Bras. Geocências, Bol. 16:25-49.
- MATHESON, A.F. (1956): The St. John del Rey Mining Company, Limited, Minas Gerais, Brazil. History, geology, and mineral resources. - *Can. Inst. Min. Met., Bull.* 49(525): 37-43.
- MATHIESON, N.A. & HODGSON, C.J. (1984): Alteration, mineralization and metamorphism in the area of the East South "C" zone, 24th level of the Dickenson Mine, Red Lake, NW Ontario. - *Can. J. Earth Sci.*, 21: 35-52.
- McLENNAN, S.M. & TAYLOR, S.R. (1984) Archaean sedimentary rocks and their relation to the composition of the Archaean Continental Crust. - Pp. 48-72, in: A. Kröner et al. (eds.), *Archaen Geochemistry - The Origin and Evolution of the Archaean Continental Crust*. Springer, Berlin, Heidelberg, N.Y..
- MIYASHIRO, A. (1973): *Metamorphism and Metamorphic Belts*. George Allen & Unwin Ltd, London, 492pp.
- MEL'NIK, Y.P. (1982): Precambrian banded iron-formations - physico-chemical conditions of formation. - 310pp. (engl. ed.), Amsterdam.
- MORAES, L.J. & BARBOSA, O. (1939): Ouro no Centro de Minas Gerais. - *DNPM., Div. Fom. Prod. Mineral, Bol.* 38, 185pp., Rio de Janeiro.
- MORESCHI, J.B. (1972): Geologia da Mina de Ouro do Faria, Minas Gerais. - 115pp., Tese de Doutorado, IG-USP.

- MUNHÁ, J. & KERRICH, R. (1980) Sea water interaction in spilites from the Iberian Pyrite Belt. **Contribution Mineralogy and Petrology**, 73:191-200.
- NARAYANASWAMI, S., ZIAUDDIN, M. & RAMACHANDRA, A.V. (1960): Structural control and localization of gold-bearing lodes, Kolar Gold Field, India. - **Econ. Geol.**, 55: 1429-1459.
- NOCE, C.M. (1995) Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Tese de Doutorado, 128p., São Paulo, IG-USP.
- OBERTHÜR, T., SAAGER, R. & TOMSCHI, H.P. (1980 ou 1990??): Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean banded iron formation hosted gold deposits: some examples from Southern Africa. - **Mineralium Deposita**, 25: 125-135.
- OFTEDAHL, C. (1958): A theory of exhalative-sedimentary ores. - **Geol. Fören. Förh.**, 80(H.1): 1-19.
- OLIVEIRA, A.I. (1956): Brazil. - In: W.F. Jenks (ed.) - **Handbook of South American Geology - Geol. Soc. Am., Mem.**, 65: 1-62.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. - **Earth Planet. Sci. Lett.**, 19: 290-300.
- PEARCE, T.H., GORMAN, B.E. & BIRKETT, T.C. (1975): The TiO_2 - K_2O - P_2O_5 diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. - **Earth Planet. Sci. Lett.**, 24: 419-426.

- PHILLIPS, G.N. & GROVES, D.I. (1983): The nature of the Archean gold fluids as deduced from gold deposits of W-Australia. *Journal of Geol. Soc. of Australia*, **30**:25-39.
- RICCOMINI, C. (1982): Geologia regional do Quadrilátero Ferrífero (MG, Brasil): uma tentativa de síntese e novas idéias. - In: **32º Cong. Bras. Geol., An., V.1**: 199-213, SBG.
- ROBERTS, R.G. (1987): Ore deposits models. Archean lode gold deposits. *Geoscience Canada*, **14**(1):37-52.
- RYNEARSON, G.A; POMERENE, J.B.; DORR II, J.V.N. (1954) Contato basal da Série Minas na parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *DNPM., Div. Geol. e Miner., Avulso 34*, 18p.
- SANGSTER, D.F. (1972): Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: a review. *Canadian Geol. Survey, Paper 72*:22-44.
- SANTOS, A.R. (1986) Estudo sobre a tectônica de fraturamento na região do Quadrilátero Ferrífero e em partes do Complexo Migmatítico-granulítico de Minas Gerais, com base em sensoriamento remoto. Tese de Doutorado, São Paulo, IG-USP, 2 vol., 172p.
- SCHOBENHAUS, C. & COELHO, C.E.S. (coords.) (1988): Metais básicos não-ferrosos, Ouro e Alumínio. - Principais depósitos minerais do Brasil, Vol.III, 670 pp., DNPM-CVRD, Brasília.
- SCHORSCHER, H.D. (1976a): Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. - In: **29º Cong. Bras. Geol., Resumos**: 194-195, SBG., Ouro Preto/Belo Horizonte.

- SCHORSCHER, H.D.(1976b): Alpinotype Deckentektonik im Präkambrium des Eisernen Vierecks, Minas Gerais, Brasilien. - In: 5. Geowiss. Lateinamerika-Kolloquium, Tagungsunterl.: 33-35, Clausthal-Zellerfeld.
- SCHORSCHER, H.D.(1978): Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. - In: 30º Cong. Bras. Geol., Resumos: 292-293, SBG., Recife.
- SCHORSCHER, H.D. (1979a): Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. - Acad. Bras. Ci., Anais, 51(4):767-768.
- SCHORSCHER, H.D.(1979b): Evolução arqueana e proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e de partes meridionais da Serra do Espinhaço. - Simp. sobre a Geologia do Cráton do São Francisco e de suas faixas marginais, Resumos, Salvador.
- SCHORSCHER, H.D. (1980a): Contribuição a estratigrafia proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. - Acad. Bras. Ci., Anais, 52(1):195.
- SCHORSCHER, H.D. (1980b): Zinc - a useful element for the prospection of pre-cambrian chromitites ? - 8th. Inter. Geochem. Explor. Symp., Abstracts: 47, Hannover.
- SCHORSCHER, H.D. (1988): Quadrilátero Ferrífero and adjacent areas. - Inter. Conf. Geochemical Evolution of the Continental Crust, Guidebook: 96pp., Poços de Caldas.
- SCHORSCHER, H.D. (1988): Geology of the Florália District with details on the Morro do Pari area, Minas Gerais, Brazil. - Relatório de pesquisa e mapeamento geológico

(esc. 1:13.600) da região da Mina do Pari; 24 pág., anexos, relat. inéd. interno para UNAMGEN Min. Met. Ltd., IG-USP.

SCHORSCHER, J.H.D.(1991) Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: III Cong. Bras. Geoq. e I Cong. de Geoq. dos Países de Língua Portuguesa, **Guia de Excursões**, p. 37-87, São Paulo.

SCHORSCHER, J.H.D.(1992) Arcabouço petrográfico e evolução crustal de terrenos precambrianos do sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e Domínios Granito-Gnáissicos adjacentes. Tese de Livre docencia, IG-USP. 2 Vol., 394p.

SCHORSCHER, J.H.D. & GUIMARÃES, P.F.(1976) Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. XXIX Cong. Bras. Geol., Ouro Preto, MG, **Roteiro das Excursões**, p.75-86.

SCHORSCHER, J.H.D. & LETERRIER, J. (1980) Metassomatic formation of granitic rocks: Petrology and Chemistry. 26th Inter. Geol. Cong., Paris, Abstracts, 1:87.

SCHORSCHER, J.H.D.; SANTANA, F.C.; POLÔNIA, J.C. & MOREIRA, J.M.P. (1982) Quadrilátero Ferrífero-Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstone belt and Proterozoic. ISAP, SME/BA.

SCHORSCHER, H.D. & MOTHE FILHO, H.F. (1983): Mapa geológico preliminar (esc. 1:25.000) da Quadricula de Florália, MG. - Projeto LATERITAS, Subprojeto Minas Gerais, projeto de pesquisa de Cooperação Internacional CNPQ-KFA, IG-USP, 1983.

- SCHORSCHER, J.H.D.; MONTE FILHO, H.; DAVIES, H.P.K.; ABREU, G.C.; QUEIROGA, N.C.M.(1986) Metalogenia arqueana do ouro na Mina do Pari e arredores de Florália, MG. 34^o Cong. Bras. Geol., Bol. 1 - **Res. Breves Comun.**, p.232, Goiânia.
- SCHORSCHER, J.H.D.; ABREU, G.C.; QUEIROGA N.C.M.; LUCHESI, I.; Davies, H.P.K.; MONTE FILHO, H.; ALVES, M.G.(1990) Geologia da Quadricula de Florália(1:25000), Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: 36^o Cong. Bras. Geol., **Res. das comun.**, p.342, Natal.
- SCHORSCHER, J.H.D.; ABREU, G.C.; LUCHESI, I.; SANT'ANNA, L.G.; QUEIROGA, N.C.M. (1991) Microgeoquímica do ouro arqueano e proterozóico da região NE do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, In: III Cong. Bras. Geoq. e I Cong. de Geoq. dos Países de Língua Portuguesa, Resumos, Vol. 1, pp. 574.
- SHARP, Z.D.; ESSENE, E.J. & KELLY, W.C. (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: Pressure considerations and applications to natural assemblages. Canadian Mineralogist, **23(4)**:517-534.
- SIAL, A.N. & McREATH, I.(1984) Petrologia Ígnea. Vol.1 181pp. Bureau Gráfica e Editora Ltda, Salvador, Bahia.
- SICHEL, S.E.(1982) Expressão lito-estratigráfica das rochas Pré-Cambrianas da região de Barão de Cocais. 32^o Cong. Bras. Geol., **Anais**, V.1:126-137, Salvador.
- THOMSON, M.L.(1991) Wall-rock alteration to the mineralization in the low amphibolite facies: Crixás gold Mine, Goiás, Brazil. In: Canadian Mineralogist, Vol. **29**:461-480.

- THORPE, R.I.; CUMMING, G.L.; KRSTIC, D.(1984) Lead isotope evidence regarding age of gold deposits in the Nova Lima district, Minas Gerais, Brazil. Rev. Bras. Geoc., **14**(3):147-152.
- TOLBERT, G.E.(1964) Geology of the Raposos Gold Mine, Minas Gerais Brazil. Econ. Geol., **59**(5):775-798.
- TRÖGER, W.E. (1979) Optical determination of rock-forming minerals (part 1-Determinative tables) versão em inglês da 4a edição alemã por Bambauer, H.U.; Taborsky, F.; Trochim, H.D. - E. Schweizerbartische Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 188p.
- WAHLE, C.W.(1943) Estudos de alguns minérios de ouro dos municípios de Santa Bárbara, Caeté e Mariana, Minas Gerais. Lab. Prod. Min., Rio e Janeiro, Bol. **8**:71-82.
- WINDLEY, B.F. & NAQVI, S.M.(Ed.)(1981) Archaean geochemistry. Elsevier, 406p.
- WINKLER, H.G.F. (1977) Petrogênese das rochas metamórficas. Editora Edgard Blücher, URGs, Porto Alegre, 256p.

Tabela 1 - Dados geoquímicos de rochas gnáissicas do Complexo Gnaíssico-Migmatítico.

Amostra/ % - peso	T-9	T-11	T-13	T-23	T-24	T-26	T-72A
SiO ₂	73.82	73.53	73.66	65.22	73.88	75.32	74.12
TiO ₂	0.14	0.12	0.12	0.55	0.07	0.07	0.15
Al ₂ O ₃	15.10	14.73	14.52	14.88	14.38	13.98	14.13
Fe ₂ O ₃ tot.	1.40	1.13	1.04	4.60	0.70	0.76	1.76
MnO	0.04	0.03	0.03	0.08	0.02	0.01	0.05
MgO	0.29	0.46	0.29	1.99	0.08	0.20	0.60
CaO	1.51	1.42	1.59	3.08	1.93	0.87	1.77
Na ₂ O	5.48	5.24	5.16	3.51	4.07	4.06	4.34
K ₂ O	2.26	2.41	2.14	3.63	3.29	2.77	2.13
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.25	0.03	0.03	0.06
Soma	100.07	99.10	98.58	97.79	98.45	98.07	99.11
H ₂ O	0.19	0.21	0.09	0.11	0.06	0.05	0.11
PF	0.21	0.33	0.48	0.75	0.31	0.93	1.28
ppm							
Cr	12	12	9	23	6	11	8
Ni	9	4	1	13	7	4	10
Co	1	nd	4	2	nd	nd	nd
V	28	4	6	82	14	2	26
Cu	20	28	21	75	20	32	27
Pb	62	51	44	42	45	68	52
Zn	53	59	39	72	11	15	61
Rb	96	99	78	145	110	75	120
Ba	558	589	728	1350	1156	899	429
Sr	389	374	378	355	366	206	195
Ga	25	24	20	26	10	18	11
Nb	1	2	6	22	nd	nd	1
Zr	122	110	150	228	101	52	148
Y	15	16	11	24	1	19	10
Th	5	1	17	18	10	1	nd
U	nd	nd	nd	14	5	14	1
La	nd	nd	1	34	nd	nd	nd
Ce	71	52	47	99	26	52	36
Nd	32	24	45	39	28	36	33

Petrografia: T-9, T-11, T-13 - gnáisses tonalíticos; T-23 - gnáisse granito-granodiorítico; T-24, T-26, T-72A - gnáisses granodioríticos; PF - perda ao fogo total (incluindo H₂O), nd - não detectado.

Tabela 2 - Dados geoquímicos de enclaves metamáficos do Complexo Gnaíssico-Migmatítico.

Amostra/ % - peso	T-12B	T-18	T-28A
SiO ₂	52.28	50.98	45.51
TiO ₂	0.69	0.71	2.18
Al ₂ O ₃	18.04	14.06	12.21
Fe ₂ O ₃ tot.	8.25	8.51	13.89
MnO	0.13	0.20	0.23
MgO	3.58	7.49	4.45
CaO	5.47	8.29	8.59
Na ₂ O	3.49	0.86	1.16
K ₂ O	2.51	3.87	4.19
P ₂ O ₅	0.57	0.69	0.20
Soma	95.01	95.66	93.01
H ₂ O	0.29	0.23	0.11
PF	2.14	2.77	5.43
ppm			
Cr	13	268	45
Ni	24	70	57
Co	49	15	45
V	117	179	440
Cu	1789	20	51
Pb	20	9	12
Zn	123	141	131
S	3920	nd	400
Rb	187	236	213
Ba	674	826	384
Sr	617	493	137
Ga	21	23	24
Nb	nd	6	nd
Zr	173	189	66
Y	13	40	23
Th	11	27	nd
U	1	nd	18
La	24	24	nd
Ce	136	107	nd
Nd	50	62	nd

Petrografia: anfibolitos e anfibólio xistos metabásicos metassomáticos;
PF - perda ao fogo total (incluindo H₂O); nd - não detectado.

Tabela 3 - Dados geoquímicos de enclaves metaultramáficos do Complexo Gnaíssico-Migmatítico.

Amostra/ % - peso	T-16	T-12A
SiO ₂	38.13	51.50
TiO ₂	1.09	0.53
Al ₂ O ₃	18.08	11.59
Fe ₂ O ₃ tot.	13.43	8.68
MnO	0.25	0.17
MgO	12.31	11.12
CaO	4.68	9.37
Na ₂ O	0.40	0.92
K ₂ O	6.23	2.90
P ₂ O ₅	0.76	0.34
Soma	95.36	97.12
H ₂ O	0.25	0.28
PF	3.46	2.01
ppm		
Cr	815	729
Ni	187	204
Co	51	46
V	234	184
Cu	4	7
Pb	8	7
Zn	312	90
S	nd	nd
Rb	397	219
Ba	1509	480
Sr	315	384
Ga	50	11
Nb	11	10
Zr	200	87
Y	23	20
Th	37	18
U	16	2
La	14	2
Ce	95	54
Nd	44	36

Petrografia: T-16 - anfíbolio xisto metassomatizado; T-12A - anfíbolito metassomatizado. PF - perda ao fogo total (incluindo H₂O); nd - não detectado.

Tabela 4 - Dados geoquímicos de rochas metaultramáficas dos grupos Quebra Osso e Nova Lima do morro do Pari e do vale do córrego Quebra Osso.

Amostra/ % - peso	T-31	T-69	T-70	C
SiO ₂	44.06	52.55	47.02	44.25
TiO ₂	1.04	0.78	0.69	0.19
Al ₂ O ₃	12.37	15.24	10.62	5.77
Fe ₂ O _{3tot.}	13.83	9.50	11.43	11.14
MnO	0.21	0.19	0.19	0.11
MgO	14.36	8.97	15.93	27.62
CaO	6.26	8.18	7.98	2.33
Na ₂ O	0.70	1.70	0.98	nd
K ₂ O	3.92	1.15	2.13	0.01
P ₂ O ₅	0.17	0.09	0.08	0.01
Soma	96.92	98.35	97.05	91.43
H ₂ O	0.10	0.11	0.17	nd
PF	1.91	1.66	2.28	8.57
ppm				
Cr	893	313	1015	3199
Ni	622	167	675	1497
Co	56	53	81	54
V	185	249	256	123
Cu	5	91	123	17
Pb	nd	12	7	14
Zn	199	81	124	73
S	nd	200	480	na
Rb	186	62	141	6
Ba	569	137	237	66
Sr	4	207	12	10
Ga	29	19	14	na
Nb	1	nd	12	3
Zr	65	23	19	13
Y	13	25	3	10
Th	10	nd	nd	1
U	7	nd	1	nd
La	nd	nd	8	6
Ce	nd	nd	nd	9
Nd	16	14	nd	na

Petrografia: T-31 - talco-xisto, intercalação no Grupo Nova Lima; T-69 - rocha transicional do contato do Grupo Quebra Osso com o Grupo Nova Lima; T-70 - rocha metaultramáfica metassomatizada do Grupo Quebra Osso; C - metakomatiito com textura *spinifex* do local tipo no vale do córrego Quebra Osso (Schorscher, 1991). PF - perda ao fogo total (inclui H₂O); nd - não detectado; na - não analisado.

Tabela 5 - Dados geoquímicos de rochas anfibolíticas do Grupo Nova Lima.

Amostra/ % - peso	T-39	T-41	T-42	T-56	T-58	T-60	T-66	G-1	GN-20B	GN-26
SiO ₂	49.13	50.20	48.95	48.18	51.18	48.01	48.15	46.29	51.72	47.86
TiO ₂	1.04	1.21	0.92	2.25	1.67	2.18	1.38	2.63	1.27	2.56
Al ₂ O ₃	15.04	14.82	14.36	13.79	15.21	18.75	15.07	13.77	14.68	13.70
Fe ₂ O ₃ tot.	10.88	13.38	11.44	16.97	13.29	15.93	17.28	18.87	10.32	17.83
MnO	0.20	0.22	0.22	0.24	0.22	0.28	0.21	0.27	0.20	0.25
MgO	5.56	7.39	5.60	5.83	5.92	3.67	5.84	5.29	5.90	5.03
CaO	12.36	8.79	14.80	9.88	9.10	7.96	9.70	10.31	9.69	9.32
Na ₂ O	1.84	2.51	1.11	1.66	2.26	2.93	1.70	1.06	2.01	1.59
K ₂ O	0.27	0.18	0.11	0.38	0.27	0.34	0.33	0.28	0.22	0.33
P ₂ O ₅	0.16	0.17	0.17	0.20	0.18	0.09	0.17	0.27	0.10	0.24
Soma	96.48	98.87	97.68	99.38	99.30	100.94	99.83	99.04	96.11	98.71
H ₂ O	nd	nd	0.06	0.07	0.12	0.09	0.10	0.02	0.04	0.02
PF	2.81	0.75	1.35	0.92	0.61	0.62	0.50	0.54	3.52	0.63
ppm										
Cr	188	168	150	48	122	197	12	19	268	24
Ni	137	132	92	65	92	167	85	53	143	53
Co	54	53	35	45	51	85	66	35	40	49
V	234	249	228	481	350	413	291	447	236	389
Cu	107	50	38	227	77	309	49	275	47	239
Pb	11	2	4	nd	1	nd	7	nd	9	nd
Zn	73	93	67	130	115	116	120	157	137	136
S	nd	nd	120	nd	120	560	nd	200	120	240
Rb	nd	9	nd	4	1	1	nd	1	nd	nd
Ba	48	59	55	46	69	57	22	12	50	43
Sr	206	95	194	154	188	158	169	123	272	123
Ga	19	15	21	18	16	21	19	25	24	21
Nb	5	15	3	17	9	5	10	16	5	9
Zr	61	106	78	94	78	157	60	113	88	107
Y	6	10	11	13	19	37	4	21	12	25
Th	nd	nd	5	nd	10	15	nd	nd	nd	nd
U	4	nd	7	1	3	nd	nd	1	2	nd
La	nd	1	2	4	11	1	17	nd	nd	8
Ce	nd	6	nd	nd	6	nd	nd	6	347	nd
Nd	17	3	nd	nd	22	15	nd	17	1	nd

Petrografia: T-39, T-41, T-42, T-56, T-58, T-66 - anfibolitos finos; T-60 - anfibolito granatífero fino; G-1, GN-20B, GN-26 - anfibolitos granatíferos grossos; PF - perda ao fogo total (incluindo H₂O), nd - não detectado.

Tabela 6 - Dados geoquímicos de xistos do Grupo Nova Lima (PF - perda ao fogo total, inclui H₂O; nd - não detectado).

Amostra/ % - peso	T-33	T-36	T-53	T-54	T-65	T-67	T-68	T-59
SiO ₂	62.89	70.50	50.62	53.05	51.63	62.09	55.15	55.16
TiO ₂	0.53	0.33	0.84	0.77	1.06	0.53	0.83	1.80
Al ₂ O ₃	12.86	15.78	12.78	16.56	14.91	14.42	15.42	16.79
Fe ₂ O _{3tot.}	7.57	1.98	10.92	8.66	15.20	3.63	9.90	13.28
MnO	0.10	0.03	0.22	0.15	0.35	0.14	0.15	0.15
MgO	6.93	1.23	12.36	7.69	6.19	3.40	7.39	3.27
CaO	2.13	3.14	5.32	7.46	2.86	7.16	3.27	4.77
Na ₂ O	1.74	4.58	1.47	2.26	1.47	2.51	1.25	2.75
K ₂ O	1.88	0.81	0.65	1.55	3.06	2.26	4.33	1.38
P ₂ O ₅	0.07	0.12	0.10	0.19	0.20	0.13	0.10	0.19
Soma	96.70	98.50	95.28	98.34	96.93	96.27	97.79	99.54
H ₂ O	0.07	0.10	0.02	0.11	0.17	0.13	0.14	0.22
PF	2.09	0.58	2.83	1.25	2.78	4.39	1.79	0.13
ppm								
Cr	758	28	1377	265	148	34	1100	173
Ni	298	11	637	68	229	27	535	115
Co	43	nd	74	38	56	8	65	60
V	132	18	207	217	225	64	190	332
Cu	21	41	9	10	13	12	84	85
Pb	8	44	84	19	12	27	8	5
Zn	253	47	103	106	2740	49	212	136
S	nd	nd	nd	nd	120	nd	480	280
Rb	77	37	23	50	140	68	175	41
Ba	230	249	134	329	1355	634	571	393
Sr	127	483	97	176	122	195	159	94
Ga	21	19	8	16	27	13	6	24
Nb	2	1	15	5	12	7	6	6
Zr	75	284	42	90	86	217	94	118
Y	5	23	21	14	32	18	11	19
Th	nd	26	nd	6	nd	4	nd	31
U	8	9	nd	nd	12	nd	nd	nd
La	8	6	nd	nd	6	4	17	nd
Ce	5	104	72	20	1	50	nd	23
Nd	2	44	14	32	17	26	6	14

Petrografia: T-33, T-36 - anfíbio-xistos da Unidade C e D; T-53 - clorita-hornblenda-xisto magnésiano com contribuições ultramáficas, encaixante da capa da mineralização de ouro da mina do Pari; T-54 - clorita-hornblenda-biotita-xistos encaixante da lapa da mineralização de ouro da mina do Pari; T-65 - grafita-xisto associado à formações ferríferas (*bifs*) da Unidade B; T-67 - xisto grauvaquico da Unidade A; T-68 - xisto magnésiano com contribuições ultramáficas da unidade A; T-59 - anfíbio-xisto granatífero da Unidade B.

Tabela 7 - Dados geoquímicos de formações ferríferas, veios de quartzo e *metacherts* carbonáticos do Grupo Nova Lima.

Amostra/ % - peso	G-17	T-64	T-65	G-3	T-49	G-09	T-60
SiO ₂	43.35	55.67	47.24	99.33	99.89	40.16	44.89
TiO ₂	0.07	0.07	0.14	nd	nd	0.30	0.40
Al ₂ O ₃	1.40	2.41	3.24	0.04	nd	6.04	8.18
Fe ₂ O ₃ tot.	48.44	31.35	43.91	0.01	0.03	1.24	8.29
MnO	0.49	0.16	0.21	0.01	0.01	0.25	0.58
MgO	4.61	3.81	2.68	0.08	nd	1.12	1.34
CaO	1.18	4.41	1.88	0.18	nd	29.76	19.27
Na ₂ O	nd	0.44	0.55	0.67	nd	1.04	1.13
K ₂ O	0.12	0.06	0.33	nd	nd	0.31	0.70
P ₂ O ₅	0.14	0.16	0.14	0.01	nd	0.08	0.08
Soma	99.80	98.54	100.32	100.33	99.93	80.30	84.86
H ₂ O	nd	0.06	nd	nd	nd	0.04	0.07
PF	0.11	0.83	0.10	0.32	0.17	18.98	14.94
ppm							
Cr	38	82	106	7	12	59	137
Ni	32	132	64	1	nd	16	21
Co	3	15	nd	nd	nd	8	14
V	18	30	35	nd	16	80	119
Cu	1	88	18	22	19	28	23
Pb	nd	13	1	55	57	14	59
Zn	744	1068	398	nd	nd	12	88
S	200	520	560	nd	nd	nd	nd
Rb	18	8	26	nd	nd	5	17
Ba	44	8	123	nd	1	106	159
Sr	nd	26	nd	15	nd	167	269
Ga	3	10	21	nd	nd	nd	5
Nb	6	nd	nd	1	nd	13	16
Zr	nd	nd	nd	47	25	13	39
Y	2	nd	nd	1	5	26	17
Th	35	14	nd	10	nd	nd	1
U	nd	7	17	12	4	nd	nd
La	nd	19	nd	nd	nd	nd	nd
Ce	nd	nd	nd	4	27	nd	5
Nd	nd	nd	nd	16	25	9	18

Petrografia: G-17, T-64, T-65 - formações ferríferas bandadas (*bifs*); G-3, T-49 - veios de quartzo; G-09, T-60 - *metacherts* carbonáticos; PF - perda ao fogo total (incluindo H₂O); nd - não detectado.

Tabela 8 - Mina do Pari, nível de entrada: dados geoquímicos das rochas encaixantes e da mineralização de ouro (Figura 13). Observações analíticas: os dados de S e As são apenas indicações qualitativas mínimas - sem valor quantitativo; PF - perda ao fogo total (inclui H₂O); nd - não detectado.

Amostra/ % - peso	GN-01	GN-02	GN-03	GN-04	GN-05	GN-06	GN-07	GN-08
SiO ₂	46.53	43.45	53.61	49.21	50.70	53.24	53.54	52.89
TiO ₂	0.14	0.68	0.24	0.77	0.84	0.07	0.77	0.45
Al ₂ O ₃	4.09	13.00	7.40	14.02	14.95	12.99	14.17	10.97
Fe ₂ O _{3 tot.}	22.54	9.29	20.65	9.55	10.14	9.80	9.92	17.98
MnO	0.22	0.24	0.20	0.20	0.19	0.20	0.18	0.20
MgO	3.54	5.09	3.47	5.75	7.37	7.90	7.31	4.44
CaO	11.85	17.33	8.14	12.78	9.44	10.18	8.32	8.21
Na ₂ O	0.39	2.66	0.71	2.69	2.70	2.34	2.39	1.05
K ₂ O	0.14	0.32	0.28	0.60	0.92	0.35	1.05	0.49
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12	0.08
Soma	89.54	92.17	94.78	95.69	97.37	97.89	97.77	96.76
H ₂ O	0.25	0.19	0.07	0.11	0.14	0.16	0.18	0.04
PF	3.31	8.22	2.38	4.23	1.43	1.34	1.08	1.21
ppm								
Cr	85	239	158	222	258	228	254	244
Ni	141	74	207	98	94	92	94	128
Co	54	26	28	42	39	54	29	29
V	44	109	87	135	152	158	166	132
Cu	479	25	254	16	29	19	46	98
Pb	17	28	15	21	29	19	21	15
Zn	131	159	191	129	125	111	127	384
S	nd	0.01	0.01	0.01	nd	nd	0.01	0.02
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Rb	2	9	8	17	29	9	36	12
Ba	nd	71	11	155	206	55	228	77
Sr	107	302	28	239	210	157	178	42
Ga	16	47	23	28	21	27	22	23
Nb	2	3	6	7	7	6	10	9
Zr	25	82	34	90	96	87	90	56
Y	23	44	19	30	23	32	25	21
Th	12	4	10	nd	nd	4	1	nd
U	9	5	7	2	1	4	7	nd
La	51	14	58	14	7	nd	7	29
Ce	1	8	nd	21	23	4	7	27
Nd	21	23	30	19	37	18	23	35

Petrografia: GN-01, GN-02 - anfibolitos do topo da mineralização (sobrejacentes às rochas encaixantes diretas da capa dos minérios); GN-03, GN-04, GN-05, GN-06, GN-07, GN-08 - rochas encaixantes diretas da capa dos minérios.

Tabela 8 (continuação 1).

Amostra/ % - peso	GN-09	GN-10	GN-10a	GN-10b	TP-10	TP-10b	GN-13	GN-14
SiO ₂	48.94	55.60	43.24	42.23	43.52	58.05	58.17	53.21
TiO ₂	0.64	0.48	0.64	0.78	0.87	0.40	0.46	0.58
Al ₂ O ₃	16.67	11.02	13.84	13.58	14.48	9.82	10.31	12.70
Fe ₂ O _{3tot.}	16.53	18.07	21.16	23.35	20.17	17.60	16.09	16.55
MnO	0.11	0.17	0.13	0.24	0.24	0.23	0.07	0.14
MgO	5.62	4.35	3.95	5.55	6.39	3.23	2.74	5.46
CaO	2.21	5.42	4.50	6.49	7.08	2.22	2.46	6.93
Na ₂ O	2.21	0.71	2.32	1.32	1.24	1.06	1.80	1.44
K ₂ O	3.85	1.10	1.71	1.18	1.28	1.93	1.72	0.33
P ₂ O ₅	0.07	0.09	0.12	0.12	0.15	0.10	0.10	0.10
Soma	96.85	97.01	91.61	94.84	95.42	94.64	93.92	97.44
H ₂ O	0.32	0.32	0.40	0.43	0.45	0.58	0.62	0.33
PF	1.79	2.28	5.92	3.73	3.38	4.28	5.01	2.65
ppm								
Cr	679	292	456	337	412	373	280	303
Ni	376	190	275	158	171	152	215	126
Co	18	18	28	4	27	6	10	14
V	118	148	165	184	180	151	160	163
Cu	32	63	213	91	87	83	108	142
Pb	28	14	22	15	24	17	16	11
Zn	818	647	2774	1849	1907	893	2660	862
S	0.02	0.01	nd	0.02	0.01	0.01	0.01	nd
As	400	350	9000	4000	3000	3300	3000	nd
Rb	144	40	61	39	43	80	72	10
Ba	505	195	277	130	163	349	411	82
Sr	314	20	248	93	75	123	230	91
Ga	14	19	28	17	29	17	28	19
Nb	9	6	12	9	9	8	9	10
Zr	88	58	102	85	84	69	93	72
Y	16	18	21	20	23	22	21	17
Th	14	11	7	6	12	8	2	9
U	9	7	2	3	6	9	4	5
La	11	31	32	30	23	52	40	23
Ce	720	19	294	124	85	108	119	25
Nd	34	37	57	38	29	36	41	37

Petrografia: GN-09 - rocha encaixante do topo da mineralização; GN-10, GN-10a, GN-10b, TP-10, TP-10b, GN-13, GN-14 - minérios sulfetados de ouro.

Tabela 8 (continuação 2).

Amostra/ % - peso	GN-15	GN-17x	GN-19	GN-20	GN-21	GN-24a	GN-25	GN-26
SiO ₂	51.90	59.07	53.05	51.80	46.80	45.01	46.08	46.72
TiO ₂	0.72	0.60	0.71	1.39	0.81	2.70	2.41	2.55
Al ₂ O ₃	13.68	13.81	11.68	14.45	12.74	14.26	13.78	13.17
Fe ₂ O ₃ tot.	11.74	11.12	11.00	10.64	11.58	20.05	18.51	18.47
MnO	0.20	0.03	0.20	0.19	0.25	0.30	0.26	0.25
MgO	9.58	2.46	12.34	6.17	10.25	4.85	4.98	4.84
CaO	5.50	2.59	4.01	9.25	10.44	8.83	9.75	9.60
Na ₂ O	1.80	3.30	0.78	2.49	1.56	1.82	2.03	2.12
K ₂ O	1.30	2.12	1.31	0.29	0.22	0.62	0.36	0.34
P ₂ O ₅	0.09	0.07	0.08	0.14	0.11	0.48	0.31	0.26
Soma	96.51	95.17	95.17	96.81	94.76	98.92	98.47	98.32
H ₂ O	0.36	0.52	0.12	0.24	0.03	0.05	0.01	0.01
PF	2.31	3.66	3.32	3.02	4.13	0.16	0.54	0.61
ppm								
Cr	836	373	1226	267	1146	40	51	60
Ni	421	321	588	146	515	37	56	56
Co	33	29	31	41	81	28	47	41
V	163	157	194	208	159	335	367	412
Cu	31	71	22	40	35	71	82	154
Pb	17	26	20	15	21	16	16	14
Zn	234	3423	175	132	189	137	138	134
S	0.02	0.01	nd	nd	0.01	0.01	nd	0.01
As	200	1000	250	400	450	nd	nd	nd
Rb	45	82	48	11	7	14	6	1
Ba	233	645	226	197	50	338	117	124
Sr	115	407	47	279	132	201	174	143
Ga	16	32	10	28	29	29	35	31
Nb	14	12	13	10	9	14	13	10
Zr	75	118	60	95	62	258	174	148
Y	24	15	23	23	26	45	38	32
Th	2	11	3	5	nd	8	12	nd
U	5	8	8	5	4	6	10	4
La	16	46	23	13	1	22	23	20
Ce	21	69	28	39	8	64	24	32
Nd	38	33	38	38	27	65	45	52

Petrografia: GN-15, GN-17x - minérios sulfetados de ouro; GN-19 - rocha encaixante da lapa da mineralização; GN-20, GN-21, GN-24a, GN-25, GN-26 - anfíbolitos da base da mineralização (subjacentes às rochas encaixantes diretas da lapa dos minérios).

Tabela 9 - Mina do Pari, nível 10: dados geoquímicos das rochas encaixantes e da mineralização de ouro (Figura 12). Observações analíticas: os dados de S e As são apenas indicações qualitativas mínimas - sem valor quantitativo; PF - perda ao fogo total (inclui H₂O); nd - não detectado.

Amostra/ % - peso	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
SiO ₂	53.80	52.96	52.43	48.77	50.73	49.85	54.93	51.33	45.67
TiO ₂	0.71	0.68	0.68	0.81	0.70	0.71	0.73	0.73	0.42
Al ₂ O ₃	16.15	15.21	13.05	14.70	12.83	15.45	14.44	14.19	9.46
Fe ₂ O ₃ tot.	6.23	6.72	7.05	7.35	7.06	8.32	6.94	8.63	27.65
MnO	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.14	0.18	0.25
MgO	7.21	7.27	6.05	6.03	5.41	6.87	6.15	5.70	4.42
CaO	8.60	8.96	10.71	10.88	11.52	9.22	8.09	9.92	2.54
Na ₂ O	3.73	3.24	2.50	2.94	2.53	2.91	2.87	2.63	0.26
K ₂ O	0.91	1.30	1.58	2.21	2.04	1.95	1.72	1.60	1.94
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.10	0.13	0.09	0.11	0.11	0.14	0.09
Soma	97.60	96.60	94.31	93.98	93.07	95.56	96.12	95.05	92.90
H ₂ O	0.28	0.29	0.23	0.31	0.15	0.17	0.15	0.18	0.46
PF	1.75	2.89	5.42	6.50	7.16	3.88	3.07	4.55	3.59
ppm									
Cr	319	307	249	281	268	313	278	271	220
Ni	103	93	80	77	75	84	73	102	67
Co	72	43	64	30	61	47	63	55	nd
V	120	124	137	124	134	126	138	132	155
Cu	32	32	46	21	36	14	283	26	30
Pb	21	22	22	26	21	28	21	25	11
Zn	68	75	91	99	119	153	131	308	788
S	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	nd	0.02	0.00	0.01
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8000
Rb	30	49	62	84	83	70	65	61	83
Ba	182	281	424	581	546	466	448	446	207
Sr	274	260	228	278	266	292	324	320	nd
Ga	28	28	33	30	34	26	26	28	18
Nb	10	8	8	7	4	9	9	6	10
Zr	86	83	79	96	86	86	91	90	71
Y	21	27	35	41	45	31	29	34	24
Th	2	4	5	nd	2	nd	4	nd	9
U	4	1	5	4	6	1	7	nd	4
La	1	nd	7	15	14	nd	9	13	52
Ce	10	20	34	22	24	23	14	11	232
Nd	19	26	30	28	26	30	25	23	39

Petrografia: 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B - rochas encaixantes da lapa da mineralização; 9B - minério sulfetado de ouro.

Tabela 9 (continuação).

Amostra/ % - peso	10B	17B	18B	19B	20B
SiO ₂	48.16	54.72	49.68	57.81	60.12
TiO ₂	0.28	0.64	0.73	0.61	0.47
Al ₂ O ₃	6.64	11.58	12.58	9.53	8.80
Fe ₂ O _{3tot.}	27.80	11.66	11.95	9.56	9.19
MnO	0.11	0.15	0.26	0.21	0.19
MgO	3.27	10.73	12.11	10.75	11.06
CaO	3.90	3.40	8.42	6.54	5.25
Na ₂ O	0.30	1.08	1.26	0.87	0.65
K ₂ O	1.13	2.88	0.57	0.45	0.52
P ₂ O ₅	0.08	0.11	0.09	0.07	0.06
Soma	91.67	96.95	97.65	96.40	96.31
H ₂ O	0.28	0.17	0.16	0.17	0.24
PF	3.89	1.39	1.83	1.95	2.47
ppm					
Cr	145	1052	1237	1104	941
Ni	104	488	573	619	500
Co	nd	27	64	32	34
V	112	171	167	175	173
Cu	72	36	19	83	20
Pb	4	19	18	15	17
Zn	598	458	236	121	96
S	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01
As	19000	600	550	600	300
Rb	45	114	20	18	22
Ba	119	460	108	91	98
Sr	13	165	113	67	55
Ga	25	9	20	14	13
Nb	7	12	7	8	8
Zr	49	70	67	54	39
Y	27	31	23	26	21
Th	8	4	6	4	3
U	6	6	5	nd	4
La	85	16	12	18	14
Ce	632	30	28	21	33
Nd	52	26	30	27	36

Petrografia: 10B - minério sulfetado de ouro; 17B, 18B, 19B, 20B - rochas encaixantes da capa da mineralização.

Tabela 10 - Dados geoquímicos de Au, Ag, As e S de amostras de testemunhos de sondagem do furo BR-55 (nd - não detectado).

Profundidade metros		Au	Ag	As	S
de	até	ppb	ppm	ppm	% -peso
354.5	355.0	nd	nd	nd	nd
355.0	355.5	2	nd	nd	0.09
355.5	356.0	nd	nd	nd	nd
356.0	356.5	4	nd	nd	nd
356.5	357.0	4	nd	5	nd
357.0	357.5	4	nd	5	nd
357.5	358.0	nd	nd	nd	0.09
358.0	358.5	6	nd	nd	0.09
358.5	359.0	8	nd	nd	0.09
359.0	359.5	12	nd	nd	0.09
359.5	360.0	12	nd	nd	nd
360.0	360.5	18	nd	nd	nd
360.5	361.0	6	nd	5	nd
361.0	361.5	12	nd	nd	nd
361.5	362.0	12	nd	nd	nd
362.0	362.5	2	nd	nd	nd
362.5	363.0	70	nd	nd	nd
363.0	363.5	20	nd	60	0.26
363.5	364.0	4	nd	60	0.17
364.0	364.5	2	nd	nd	0.35
364.5	365.0	2	nd	nd	0.26
365.0	365.5	10	0.20	nd	0.26
365.5	366.0	8	0.10	nd	0.26
366.0	366.5	10	nd	nd	0.35
366.5	367.0	10	nd	nd	nd
367.0	367.5	10	nd	80	0.09
367.5	368.0	16	nd	150	0.09
368.0	368.5	4	nd	70	nd
368.5	369.0	1	nd	35	0.17
369.0	369.5	8	nd	30	0.17
369.5	370.0	nd	nd	5	0.43
370.0	370.5	4	nd	5	0.26
370.5	371.0	nd	nd	5	0.17
371.0	371.5	8	nd	200	0.17
371.5	372.0	1	nd	150	0.09
372.0	372.5	8	nd	400	nd
372.5	373.0	50	nd	800	0.17

Tabela 10 (continuação).

Profundidade metros		Au	Ag	As	S
de	até	ppb	ppm	ppm	% -peso
373.0	373.5	43	nd	600	0.17
373.5	374.0	26	0.10	700	nd
374.0	374.33	60	0.10	800	0.09
374.33	374.70	800	nd	12000	1.22
374.70	375.00	13400	7.0	25000	7.50
375.00	375.39	16000	1.90	30000	4.10
375.39	375.74	12900	1.10	20000	6.02
375.74	376.05	15667	2.20	25000	5.41
376.05	376.34	11833	0.90	17500	2.27
376.34	376.76	9600	1.50	25000	3.31
376.76	377.21	15000	1.80	25000	6.11
377.21	377.63	18667	1.80	15000	7.59
377.63	378.00	523	3.30	1000	0.17
378.00	378.50	678	0.10	3000	0.35
378.50	379.00	20	nd	300	nd
379.00	379.50	16	nd	300	0.17
379.50	380.00	12	nd	70	nd
380.00	380.50	10	nd	250	nd
380.50	381.00	6	nd	150	0.17
381.00	381.50	8	nd	300	0.09
381.50	382.00	34	nd	400	0.17
382.00	382.50	28	nd	80	0.35
382.50	383.00	nd	nd	5	0.09
383.00	383.50	22	nd	40	0.09
383.50	384.00	18	nd	400	0.09
384.00	385.00	22	nd	800	0.09

Tabela 11 - Mina do Pari: dados microanalíticos do ouro (por microsonda eletrônica).

Au, Ag, Cu - dados em %-atômicos recalculados para 100; Soma - total analítico verdadeiro em %-peso; Textura: L - ouro livre, IN - ouro incluído em arsenopirita; Borda, Centro, Inter.(-mediária) - indicam as partes analisadas dos grãos de ouro; nd - não detectado.

Amostr a No.	Au	Ag	Cu	Soma	Textura L/IN	Bord a	Centro	Inter.
52	84.0	15.8	0.2	99.65	L		X	
53	84.1	15.7	0.2	97.67	L	X		
55	84.3	15.2	0.5	99.77	L		X	
56	84.6	15.3	0.1	99.52	L			X
57	84.0	15.8	0.2	99.71	L			X
58	84.5	15.4	0.1	98.80	L	X		
61	83.0	16.7	0.3	99.55	IN		X	
62	83.3	16.7	0.0	99.34	IN			X
63	83.2	16.8	0.0	98.22	IN	X		
65	83.0	16.9	0.1	98.95	IN		X	
66	83.3	16.5	0.2	97.43	IN	X		
71	83.8	16.2	nd	99.83	L		X	
72	83.4	16.6	nd	99.54	L			X
73	83.5	16.6	0.2	99.50	L	X		
74	82.6	17.2	0.2	99.12	L	X		
76	85.3	14.5	0.2	99.72	L		X	
77	85.5	14.5	0.2	99.99	L			X
78	85.9	14.0	0.1	96.88	L	X		
80	85.6	14.4	0.0	96.27	L		X	
81	85.6	14.2	0.2	99.38	L	X		
82	85.9	13.9	0.2	98.67	L	X		
88	82.0	17.5	0.5	93.95	IN		X	
89	81.7	17.6	0.3	93.98	L-IN		X	
94	81.0	18.6	0.4	97.20	IN		X	
95	81.4	18.3	0.3	97.64	IN	X		
97	82.4	17.4	0.2	99.55	IN		X	
98	82.9	17.0	0.1	97.05	IN	X		
99	82.5	17.4	0.1	98.33	IN	X		
100	82.4	17.6	nd	96.91	IN		X	
101	81.9	17.8	0.3	94.81	IN		X	
104	82.2	17.5	0.3	95.54	IN		X	
105	82.5	17.4	0.1	95.78	IN		X	
106	82.1	17.7	0.2	97.79	IN		X	
107	82.5	17.3	0.2	97.82	IN		X	
108	82.3	17.5	0.2	95.67	IN	X		
109	82.5	17.4	0.1	99.23	IN		X	

Tabela 11 (continuação)

Amostra No.	Au	Ag	Cu	Soma	Textura L/IN	Borda	Centr o	Inter m.
110	83.4	16.5	0.1	96.40	IN	X		
111	82.9	17.1	0.0	91.97	IN		X	
112	83.3	16.7	nd	97.97	L		X	
113	83.2	16.8	nd	96.58	IN		X	
114	83.7	16.3	nd	95.36	IN		X	
115	84.2	15.7	0.1	99.83	L		X	
116	84.1	15.7	0.2	99.69	L			X
117	84.3	15.6	0.1	98.13	L	X		
118	84.3	15.5	0.2	97.77	L		X	
119	84.4	15.4	0.2	99.73	L			X

Tabela 12 - Mina do Bahu: dados microanalíticos do ouro (por microsonda eletrônica).

Au, Ag, Cu - dados em %-atômicos recalculados para 100; Soma - total analítico verdadeiro em %-peso; Textura: L - ouro livre, IN - ouro incluído em arsenopirita; Borda, Centro, Inter.(-mediária) - indicam as partes analisadas dos grãos de ouro; nd - não detectado.

Amostra No.	Au	Ag	Cu	Soma	Textura L/IN	Borda	Centr o	Inter.
52	84.8	15.0	0.2	99.57	L		X	
53	85.7	14.1	0.2	99.82	L		X	
54	85.4	14.5	0.1	99.42	L		X	
55	85.4	14.6	nd	99.62	L		X	
56	85.1	14.8	0.1	99.60	L			X
57	84.9	15.1	nd	99.30	L	X		
58	85.0	14.9	nd	99.49	L	X		
59	85.2	14.7	0.1	99.61	L			X
60	84.8	15.0	0.2	99.51	L	X		
61	85.9	14.1	nd	99.44	L	X		
62	85.4	14.5	0.1	99.58	L		X	
63	85.7	14.3	nd	99.38	L		X	
64	85.6	14.4	nd	99.68	L	X		

Tabela 13 - Mina São Bento: dados microanalíticos de ouro refratário incluído em sulfetos (por microsonda eletrônica).

Au, Ag, Cu - dados em %-atômicos recalculados para 100; Soma - total analítico verdadeiro em %-peso; Sulfeto: sulfeto hospedeiro da inclusão de ouro analisada.

Amostra No.	Au	Ag	Cu	Soma	Sulfeto
120	67.3	32.4	0.3	96.6	Arsenopirita
121	67.7	32.2	0.1	95.78	Arsenopirita
122	67.4	32.5	0.1	94.09	Arsenopirita
128	86.0	12.3	1.7	94.21	Pirita
129	86.9	12.7	0.4	95.92	Pirita
130	87.2	12.1	0.7	93.15	Pirita
134	82.4	17.0	0.6	99.46	Pirita
135	82.9	16.6	0.5	98.76	Pirita
01	86.0	13.8	0.2	96.62	Pirita
02	86.3	13.6	0.1	92.97	Pirita
03	86.3	13.6	0.1	92.97	Pirita

Tabela 14 - Pedreira Micon: dados microanalíticos de uma pepita de ouro em veio carbonático de rochas metaultramáficas (por microsonda eletrônica).

Au, Ag, Cu - dados em %-atômicos recalculados para 100; nd - não detectado; Média - composição média calculada.

Amostra	Au	Ag	Cu
06	89.1	10.9	nd
07	87.2	12.8	nd
08	87.0	13.0	nd
09	87.1	12.9	nd
10	87.0	12.7	0.3
11	87.2	12.8	nd
12	90.5	9.5	nd
Média	87.9	12.1	<0.05

TABELA 15 - Dados microanalíticos de sulfetos (por microsonda eletrônica).

TABELA 15A - Arsenopirritas da Mina do Pari. Observações analíticas: As, Fe, S - em %-atômicos; Centro, Borda - indicam as partes analisadas do mineral; As-rec. - As recalculado para 100, em %-atômicos.

Amostra	As	Fe	S	Soma	Centro	Borda	As-rec.
59	32.5	33.3	34.1	99.9	X		32.5
60	33.4	33.3	33.3	100		X	33.4
64	33.3	33.1	33.5	99.9	X		33.3
83	33.8	33.7	32.5	100	X		33.8
84	33.5	33.5	32.9	99.9		X	33.5
85	33.3	33.2	33.1	99.7		X	33.6
91	33.2	33.2	33.1	99.5	X		31.6
102	33.4	33.4	33.9	101.7	X		32.7

TABELA 15B - Arsenopirritas da Mina São Bento. Observações analíticas: As, Fe, S - em %-atômicos (%-at.); Centro, Borda - indicam as partes analisadas do mineral; As-rec. - As recalculado para 100, em %-at..

Amostra	As	Fe	S	Soma	Centro	Borda	As-rec.
1	28.7	33.8	33.8	96.3	X		29.8
2	29.4	34.0	36.5	99.9	X		29.4
3	32.1	33.3	34.7	100.1	X		32.1

Observação: Oberthür et al. (1990) analisaram teores de As em:

- Centros de Arsenopirritas, de 29.6 a 30.3%-at., e em
- Bordas de Arsenopirritas, de 30.1 a 30.5 %-at..

TABELA 15C - Pirrotitas da Mina do Pari. Observações analíticas: Fe, S - em %-atômicos recalculados para 100.

Amostra	Fe	S
54	46.1	53.9
67	45.9	54.1
75	46.6	53.4
79	45.9	54.1
87	47.1	52.9
124	46.3	53.7

TABELA 15D - Calcopirritas da Mina do Pari. Observações analíticas: Cu, Fe, S - em %-atômicos.

Amostra	Cu	Fe	S
46	24.4	25.3	50.3
70	25.1	25.0	50.0
86	25.2	25.3	49.4
90	25.1	25.1	49.7
93	25.1	24.8	49.9
103	25.4	25.4	49.1

TABELA 15E - Calcopirritas da Mina São Bento. Observações analíticas: Cu, Fe, S - em %-atômicos recalculados para 100.

Amostra	Cu	Fe	S
125	24.8	26.3	48.9
126	25.1	25.3	49.6

TABELA 16 - DADOS GERAIS DO TRABALHO

TRABALHOS: Amostragens, Preparações e Análises	QUANTIDADE
AMOSTRAS DE CANAL	88
AMOSTRAS DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM ROTATIVA	148
LÂMINAS PETROGRÁFICAS	220
SEÇÕES POLIDAS	143
SEÇÕES DELGADAS POLIDAS	10
MICROSCOPIA PETROGRÁFICA E DOS MINÉRIOS	373
ANÁLISES: Fluorescência de raios X (XRF)	78
ANÁLISES: <i>Fire assay</i> , ICP e outras	98
MICROSSONDA: Au	71
MICROSSONDA: Arsenopirita	10
MICROSSONDA: Pirrotita	06
MICROSSONDA: Pirita	07
MICROSSONDA: Calcopirita	08
ANÁLISES: Difração de raios X (XRD)	01

TABELA 17 - LISTAGEM DE AMOSTRAS, PREPARAÇÕES E ANÁLISES EFETUADAS DE ROCHAS DA MINA DO PARI.

Legenda:

A - CÓDIGOS DAS AMOSTRAS

- GN - Amostragem em perfis contínuos cortando a mineralização nas frentes e paredes do salão principal da mina no nível de entrada (Fotografia 2; Figura 13), realizada em 1987, antes dos trabalhos da UNAMGEN Min. Met. S.A..
- E - Amostras de bloco descolado/caído do teto do salão principal da mina no nível de entrada, compreendendo a zona mineralizada.
- 1B a 20B - Amostragem continua do nível 10 da mina, realizada em 1990, a serviço e com autorização da UNAMGEN Min. Met. S.A. para o uso científico das amostras nessa pesquisa.
- T - Amostragem de testemunhos de sondagem rotativa, furos BR-57, BR-67 e BR76, efetuada a serviço e com autorização da UNAMGEN Min. Met. S.A. para o uso científico das amostras nessa pesquisa.
- G - Amostras de mão coletadas em diversos pontos da mina com autorização da UNAMGEN Min. Met. S.A. para o uso científico nessa pesquisa.
- P - Amostras de mão coletadas nas pilhas de rejeitos antigos da mina.
- F - Amostragem linear (intervalos) do furo BR-55 para análises de Au (ppb), Ag (ppm), As (ppm) e S (%), realizada a serviço e com autorização da UNAMGEN Min. Met. S.A. para o uso científico (amostras e dados analíticos) nessa pesquisa.

B - CÓDIGOS NUMÉRICOS DAS ANÁLISES REALIZADAS

- 1 - Caracterização de fases minerais por difração de raios X (DRX), no laboratório do DMP-IG-USP.
- 2 - Geoquímica global multielementar de rochas e minérios de ouro (elementos maiores e traços) por fluorescência de raios X, realizada na Universidade de Hamburgo, Alemanha (auxílio pós-doc. FAPESP-DAAD ao orientador).
- 3 - Microanálises de minerais de minérios por microsonda eletrônica, realizadas pelo orientador na Universidade de Mainz, Alemanha (auxílio: FAPESP-DAAD).
- 4 - Au-ppm: *fire assay* (fusão - copelação) e absorção atômica (laboratórios da UNAMGEN Min. Met. S.A. e contratados).

5 - Ag-ppm, As-ppm, Ni-ppm e S-%: água-régia e absorção atômica (laboratórios da UNAMGEN Min. Met. S.A. e contratados).

6 - Au-ppb: *fire assay* (fusão - copelação) e absorção atômica (laboratórios da UNAMGEN Min. Met. S.A. e contratados).

Não indicados na tabela - Estudos de microscopia petrográfica e de microscopia dos minérios de todas as amostras (laboratórios DMP-IG-USP).

C - CÓDIGOS DE LOCALIZAÇÃO E POSICIONAMENTO (amostras x minério).

NE, NI, N10 e N11 - Níveis (N) estudados da Mina do Pari (E-entrada; I-intermediário, 10 e 11).

HW - Capa do minério (*hanging wall*); FW - Lapa do minério (*foot wall*).

MIN - Minério; REJ - Rejeito.

D - LITOTIPOS (E CONJUNTOS LITOLÓGICOS)

D-1 UNIDADES (LITOESTRUTURAIS E ESTRATIGRÁFICAS)

GNT - Gnáisses do topo (a E) da sequência metavulcano-sedimentar.

GNB - Gnáisses da base (a W) da sequência metavulcano-sedimentar.

NL - Grupo Nova Lima.

QO - Grupo Quebra Osso.

D-2 PETROGRAFIA

MINERAIS: T-talco; C-clorita; S-sulfeto; A-anfibólio; B-biotita; GR-granada; Q-quartzo; Cc-carbonato; Mg-magnetita; Gf-grafita.

ROCHAS: GT-gnásise tonalítico; GN-gnásise granodiorítico; GG-gnásise granítico; GD-enclaves metamáfico-ultramáficos; X-xisto; P-pegmatito; M-metachert; FF-formação ferrífera; V- veio; G-grosso; F-fino.

Tabela 17

AMOSTRA No.	LAMINA Petrog. No.	SEÇÃO Pol. No.	ANÁLISES						LOCALIZAÇÃO	LITOTIPO		OBSERVAÇÕES
			1	2	3	4	5	6		UNID.	PETROGRAFIA	
GN-01	GN-01A			X					NE, SALAO PRINCIPAL, HW	NL	QBAX	
	GN-01B								IDEM	NL	IDEM	
GN-02	GN-02			X					IDEM	NL	AF	
GN-03	GN-03A	GN-3		X					IDEM	NL	QBAX c\GR	
	GN-03B								IDEM	NL	IDEM	
GN-04	GN-04			X					IDEM	NL	ABX	
GN-05	GN-05			X					IDEM	NL	QBAX	
GN-06	GN-06			X					IDEM	NL	IDEM	
GN-07	GN-07			X					IDEM	NL	QBAX	
GN-08	GN-08Aa			X					IDEM	NL	QBAX	
	GN-08Ab								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08B								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08Ca								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08Cb								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08Da								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08Db								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08E								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08F								IDEM	NL	IDEM	
	GN-08G								IDEM	NL	IDEM	
GN-09	GN-09Aa	H-36(A,B)		X					IDEM, MINERIO de Au	NL	QBAGRX c\ S	
	GN-09Ab								IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ac								IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ad								IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ae	H-40							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Af	H-41							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ag	H-42							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ah	H-43							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Aj	H-44							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09Ai	H-45							IDEM	NL	IDEM	
	GN-09B								IDEM	NL	IDEM	
GN-10	GN-10A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-10B	H-21/V-A							IDEM	NL	QBAX c\ S e GR	
TP-10	GNTOP-01	H-88/TP-1		X					IDEM	NL	QBAX c\ S	
	GNTOP-02	H-89/TP-2							IDEM	NL	IDEM	

GN-18	GN-18A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-18B	H-93							IDEM	NL	IDEM	
GN-19	GN-19			X					IDEM, FW	NL	QBAX c\ GR	
GN-20A	GN-20A			X					IDEM	NL	IDEM	
GN-20B	GN-20Ba			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-20Bb								IDEM	NL	IDEM	
	GN-20Bc								IDEM	NL	IDEM	
GN-21	GN-21A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-21B								IDEM	NL	AG	
GN-22	GN-22A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-22B								IDEM	NL	IDEM	
GN-23	GN-23A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-23B								IDEM	NL	IDEM	
GN-24	GN-24A			X					IDEM	NL	IDEM	
	GN-24B	H-80							IDEM	NL	QAFX c\ GR	
GN-25	GN-25	H-94		X					IDEM	NL	IDEM	
GN-26	GN-26			X					IDEM	NL	A	
E-1	E-1A	H-81/IIIB							IDEM, MINERIO de Au	NL	A	
	E-1B	H-82/IIA							IDEM	NL	ABQX c\ S	
	E-2A	H-83/E-A/E-B							IDEM	NL	IDEM	
	E-2B	H-84/E-C/V-A							IDEM	NL	IDEM	
	E-3A	H-85/III-A							IDEM	NL	IDEM	
	E-3B	H-86/IV-A							IDEM	NL	IDEM	
	E-4B	H-87							IDEM	NL	IDEM	
1B	A			X		X			N10, FW	NL	IDEM	
2B	A			X		X			IDEM	NL	QBXF c\ Cc	
3B	A,B			X		X			IDEM	NL	QABX	
4B				X		X			IDEM	NL	IDEM	
5B	A,B	5B		X		X			IDEM	NL	IDEM	
6B	A,B			X		X			IDEM	NL	CcQABX	
7B				X		X			IDEM	NL	IDEM	
8B	A,B,C,D,E	8BA,8BB		X		X			IDEM	NL	IDEM	
9B	BC,BB,BA	9BA,9BC	X	X		X			IDEM	NL	IDEM	
10B	ba,bb,bc,bd	10BA,10BC	X	X		X			N10, MINERIO RICO de Au	NL	QBGRX c\ S	DRX: GRANADA
11B	BA,BB,BC	11BA,11BC		X		X			IDEM	NL	IDEM + Q	DRX: GRANADA
12B	BA, BB	12BA,12BB		X		X			IDEM	NL	IDEM	
									IDEM	NL	BGRX c\ S	

13B		13BA,13BB	X	X			IDEM	NL	QBX c\ S
	13BA	13BC,13BE					IDEM	NL	IDEM
	13BB	13BF,13BH					IDEM	NL	IDEM
	13BD	13BK					IDEM	NL	IDEM
14B	BB,BA	14BA,14BB	X	X			IDEM	NL	BQX c\ S
		14BC,14B					IDEM	NL	IDEM
15B			X	X			IDEM	NL	BGIX c\ -S
16B	BA,BB		X	X			N10, HW	NL	BQX c\ GR+Mg
17B			X	X			IDEM	NL	QBCX
18B	BA,BB		X	X			IDEM	NL	IDEM
19B			X	X			IDEM	NL	IDEM
20B	BA,BB		X	X			IDEM	NL	IDEM
T-1							IDEM	NL	IDEM
T-2							BR-76 - 177m	GNT	GN/CTX
T-3							BR-76 - 179,7m	GNT	CTX
T-4							BR-76 - 181,3m	NL	AX
T-5							BR-76 - 185,5m	NL	AX
T-6							BR-76 - 193m	NL	AX
T-7							BR-76 - 389m	GNT/NL	GN/CTX
T-8							BR-67 - 390m	NL	CTX
T-9	T-9		X				BR-67 - 390,5m	NL	CTX/BAXF
T-10							BR-57 - 75m	GNT	GN/GT
T-11	T-11		X				BR-57 - 82m	GNT	P
T-12							BR-57 - 85m	GNT	GG
T-12A	A		X				BR-57 - 88m	GNT	GD/P
T-12B	B,C		X				BR-57 - 87,5m	GNT	GD
T-13	T-13		X				BR-57 - 89,5m	GNT	GD
T-14	T-14						BR-57 - 91m	GNT	GT
T-15	T-15						BR-57 - 113,5m	GNT	P
T-16	T-16		X				BR-57 - 126,5m	GNT	GD/P
T-17	T-17						BR-57 - 128m	GNT	BCX + P
T-18	T-18A,B		X				BR-57 - 142m	GNT	GT
T-19							BR-57 - 148m	GNT	GT
T-20							BR-57 - 157m	GNT	VQ
T-21							BR-57 - 178,5m	GNT	GRX
T-22							BR-57 - 191,5m	GNT	GN
							BR-57 - 225,5m	GNT	GT

T-23	T-23									BR-57 - 248m	GNT	GG	
T-23A			X							BR-57 - 249,5m	GNT	GN	
T-24	T-24		X							BR-57 - 251m	GNT	GT	
T-24A										BR-57 - 256,5m	GNT	P	
T-25										BR-57 - 259m	GNT	GT	
T-26	T-26		X							BR-57 - 265m	GNT	GT	Quartzoso, branco
T-27										BR-57 - 267m	GNT	GT	IDEM
T-28										BR-57 - 283m	GNT	X	
T-28A	T-28A		X							BR-57 - 288,5m	GNT	GD c\ S	
T-29	T-29									BR-57 - 289,5m	GNT	GT	Quartzoso, branco
T-30										BR-57 - 291m	GNT	GT	IDEM
T-31	T-31A		X							BR-57 - 294m	GNT/NL	GT/TX	
T-32										BR-57 - 294,5m	NL	TX	
T-33	T-33		X							BR-57 - 296,5m	NL	QBCX	
T-34										BR-57 - 301m	NL	GRAG	
T-35										BR-57 - 302m	NL	A	
T-36	T-36		X							BR-57 - 307m	NL	ACBX	
T-37	T-37									BR-57 - 307,5m	NL	IDEM	
T-38										BR-57 - 313m	NL	AF	
T-39	T-39		X							BR-57 - 314m	NL	AF	
T-40										BR-57 - 327m	NL	QA	
T-41	T-41		X							BR-57 - 335m	NL	A	
T-42	T-42		X							BR-57 - 347,5m	NL	QA	
T-43										BR-57 - 357m	NL	QA	
T-44										BR-57 - 362m	NL	AG	
T-45										BR-57 - 402,5m	NL	AF	
T-46	T-46									BR-57 - 405,5m	NL	QAF	
T-47										BR-57 - 407m	NL	A/VQ	
T-48	T-48A,B									BR-57 - 458,5m	NL	VQ	
T-49										BR-57 - 470,7m	NL	VQ/Cc	
T-50	T-50		X							BR-57 - 478m	NL	M/A	
T-51										BR-57 - 482m	NL	QBCX	
T-52										BR-57 - 492m	NL	VQ	
T-53	T-53		X							BR-57 - 497,5m	NL	BCAX	
T-54	T-54		X							BR-57 - 501,5m	NL	IDEM	
T-55	T-55									BR-57 - 502,5m	NL	BCX c\ GR	

T-56	T-56			X					BR-57 - 511m	NL	A	
T-57									BR-57 - 517m	NL	BCAX	
T-58	T-58			X					BR-57 - 521,5m	NL	IDEM	
T-59	T-59								BR-57 - 528,5m	NL	GRAX	
T-60	T-60A,B,C			X					BR-57 - 530m	NL	ACc +S	
T-61									BR-57 - 599,5m	NL	GRQAX	
T-62									BR-57 - 620,5m	NL	IDEM	
T-63	T-63A,B			X					BR-57 - 661m	NL	GRQAX / FF	
T-64	T-64			X					BR-57 - 662m	NL	FF + GR +MG	
T-65	T-65			X					BR-57 - 664m	NL	FF/A	
T-66	T-66			X					BR-57 - 665,5m	NL	A	
T-67	T-67			X					BR-57 - 701m	NL	QBX	
T-68	T-68			X					BR-57 - 703m	NL	GRQBX	
T-69	T-69			X					BR-57 - 704m	NL/QO	GRQBX/CTX	
T-70	T-70			X					BR-57 - 706m	QO	CTX	
T-71	T-71D,C								BR-57 - 712m	QO/GNB	CTX/GG	
T-72	T-72			X					BR-57 - 713m	GNB	GT	
T-73							X		BR-76 - m	QO	CTX	
T-74							X		BR-76 - m	QO	CTX	
T-75							X		BR-76 - m	QO	CTX	
T-76							X		BR-76 - m	QO	CTX	
T-77							X		BR-76 - m	QO	S maciço	
T-78							X		BR-76 - m	QO	CTX	
T-79							X		BR-76 - m	QO	CTX	
G-1	LG-1			X					BR-76 - m	QO	CTX	
G-2	LG-2A, LG-2B								N10, FW	NL	AF	
G-3				X					IDEM	NL	QBCX	
G-4	LG-4	SG-4							IDEM	NL	VQ discordante	
G-5	LG-5, LG-5A								IDEM	NL	QBGRX c/ S	
G-6	LG-6	SG-6		X					IDEM	NL	BGRX + S	
G-7	LG-7A, LG-7B	SG-7, SG-7A		X					IDEM	NL	IDEM	
		SG-7B							IDEM	NL	IDEM	
G-8	LG-8, LG-8A	SG-8A							IDEM	NL	S maciço	
		SG-8B							IDEM	NL	MS	
G-9									IDEM	NL	MS	
G-10	LG-10	SG-10							IDEM	NL	M	
									NI	NL	XS	

G-11	LG-11	SG-11A								IDEM	NL	XS	
		SG-11B								IDEM	NL	XS	
G-12	LG-12A	SG-12A								N10	NL	GRXS	
	LG-12B	SG-12B								IDEM	NL	GRXS	
		SG-12BB								IDEM	NL	GRXS	
	LG-12AA									IDEM	NL	GRXS	
	LG-12BB									IDEM	NL	GRXS	
G-13	LG-13									IDEM	NL	GRX	
	LG-13A									IDEM	NL	M+ GRBNX	
	LG-13B									IDEM	NL	IDEM	
G-14		SG-14A								IDEM	NL	IDE	
		SG-14B								N11	NL	S	
		SG-14								IDEM	NL	S	
G-15	LG-15	SG-15A								IDEM	NL	S	
	LG-15A	SG-15B								N10	NL	S	
		SG-15								IDEM	NL	S	
G-16	LG-16	SG-16/EI	X							IDEM	NL	BGRX d S	
G-17	LG-17	SG-17		X						NE	NL	FF (Mg + GR)	DRX: GRANADA
	LG-17A									IDEM	NL	IDEM	
G-18	LG-18	SG-18								IDEM	NL	IDEM	
	LG-18A	SG-18A								IDEM	NL	IDEM	
G-19	LG-19			X						IDEM	NL	IDEM	
	LG-19A									N10, PARTE NORTE	NL	Cc+Q	
G-20	LG-20	SG-20								IDEM	NL	IDEM	
		SG-20A								IDEM	NL	S	
S/AMOS.		A								IDEM	NL	S	
		B								NE, SALAO PRINCIPAL	NL	MINERIO PARI	
		C								IDEM	NL	IDEM	
		D								IDEM	NL	IDEM	
		E								IDEM	NL	IDEM	
		F								IDEM	NL	IDEM	
		G								IDEM	NL	IDEM	
		I-A								IDEM	NL	IDEM	
		I-B								IDEM	NL	IDEM	
P-1A		P-1A			X					IDEM	NL	IDEM	
P-1B		PI-B			X					N10, MINERIO PARI	NL	IDEM	
										IDEM	NL	IDEM	

P-2		P-2		X				IDEM	NL	IDEM	
P-5B		P-5B		X				IDEM	NL	IDEM	
S/No		BAHU		X				MINA BAHU	NL	REJ, VQ	
S/No		SAO BENTO		X				MINA SAO BENTO	NL	MIN, MS	
S-36/3A		S-36/3A		X				IDEM	NL	IDEM	
S-36/1		S-36/1		X				IDEM	NL	IDEM	
39/1	L-1	S-1						BR-39	NL	?	
39/2	L-2	S-2						IDEM	NL	?	
39/3	L-3	S-3						IDEM	NL	?	
39/4	L-4	S-4						IDEM	NL	?	
39/5	L-5	S-5						IDEM	NL	?	
39/6	L-6	S-6						IDEM	NL	?	
39/7	L-7	S-7						IDEM	NL	?	
39/8	L-8	S-8						IDEM	NL	?	
39/9	L-9	S-9						IDEM	NL	?	
39/10	L-10	S-10						IDEM	NL	?	
F-1						X	X	IDEM	NL	?	
F-2						X	X	BR-55 (354,5-355)	NL	QBAXG	
F-3						X	X	BR-55 (355-355,5)	NL	IDEM	
F-4						X	X	BR-55 (355,5-356)	NL	IDEM	
F-5						X	X	BR-55 (356-356,5)	NL	IDEM	
F-6						X	X	BR-55 (356,5-357)	NL	IDEM	
F-7						X	X	BR-55 (357-357,5)	NL	IDEM	
F-8						X	X	BR-55 (357,5-358)	NL	IDEM	
F-9						X	X	BR-55 (358-358,5)	NL	IDEM	
F-10						X	X	BR-55 (358,5-359)	NL	IDEM	
F-11						X	X	BR-55 (359-359,5)	NL	IDEM	
F-12						X	X	BR-55 (359,5-360)	NL	IDEM	
F-13						X	X	BR-55 (360-360,5)	NL	IDEM	
F-14						X	X	BR-55 (360,5-361)	NL	IDEM	
F-15						X	X	BR-55 (361-361,5)	NL	IDEM	
F-16						X	X	BR-55 (361,5-362)	NL	IDEM	
F-17						X	X	BR-55 (362-362,5)	NL	IDEM	
F-18						X	X	BR-55 (362,5-363)	NL	IDEM	
F-19						X	X	BR-55 (363-363,5)	NL	IDEM	
F-20						X	X	BR-55 (363,5-364)	NL	QGRBHX	
						X	X	BR-55 (364-364,5)	NL	IDEM	

F-21							X	X	BR-55 (364,5-365)	NL	IDEM	
F-22							X	X	BR-55 (365-365,5)	NL	IDEM	
F-23							X	X	BR-55 (365,5-366)	NL	IDEM	
F-24							X	X	BR-55 (366-366,5)	NL	IDEM	
F-25							X	X	BR-55 (366,5-367)	NL	QBHX	
F-26							X	X	BR-55 (367-367,5)	NL	QBHX	
F-27							X	X	BR-55 (367,5-368)	NL	IDEM	
F-28							X	X	BR-55 (368-368,5)	NL	IDEM	
F-29							X	X	BR-55 (368,5-369)	NL	IDEM	
F-30							X	X	BR-55 (369-369,5)	NL	IDEM	
F-31							X	X	BR-55 (369,5-370)	NL	IDEM	
F-32							X	X	BR-55 (370-370,5)	NL	IDEM	
F-33							X	X	BR-55 (370,5-371)	NL	IDEM	
F-34							X	X	BR-55 (371-371,5)	NL	IDEM	
F-35							X	X	BR-55 (371,5-372)	NL	IDEM	
F-36							X	X	BR-55 (372-372,5)	NL	IDEM	
F-37							X	X	BR-55 (372,5-373)	NL	IDEM	
F-38							X	X	BR-55 (373-373,5)	NL	IDEM	
F-39							X	X	BR-55 (373,5-374)	NL	IDEM	
F-40							X	X	BR-55 (374-374,33)	NL	QBGRX c\ S	
F-41							X	X	BR-55 (374,33-374,6)	NL	IDEM	
F-42							X	X	BR-55 (374,6-375)	NL	IDEM	
F-43							X	X	BR-55 (375-375,39)	NL	IDEM	
F-44							X	X	BR-55 (375,39-375,74)	NL	IDEM	
F-45							X	X	BR-55 (375,74-376,05)	NL	IDEM	
F-46							X	X	BR-55 (376,05-376,34)	NL	IDEM	
F-47							X	X	BR-55 (376,34-376,76)	NL	IDEM	
F-48							X	X	BR-55 (376,76-377,21)	NL	IDEM	
F-49							X	X	BR-55 (377,21-377,63)	NL	IDEM	
F-50							X	X	BR-55 (377,63-378)	NL	HGX	
F-51							X	X	BR-55 (378-378,5)	NL	BHX c\ S	
F-52							X	X	BR-55 (378,5-379)	NL	QBHX	
F-53							X	X	BR-55 (379-379,5)	NL	IDEM	
F-54							X	X	BR-55 (379,5-380)	NL	IDEM	
F-55							X	X	BR-55 (380-380,5)	NL	IDEM	
F-56							X	X	BR-55 (380,5-381)	NL	IDEM	

F-57							X	X	BR-55 (381-381,5)	NL	IDEM	
F-58							X	X	BR-55 (381,5-382)	NL	IDEM	
F-59							X	X	BR-55 (382-382,5)	NL	IDEM	
F-60							X	X	BR-55 (382,5-383)	NL	IDEM	
F-61							X	X	BR-55 (383-383,5)	NL	IDEM	
F-62							X	X	BR-55 (383,5-384)	NL	IDEM	
F-63							X	X	BR-55 (384-384,5)	NL	IDEM	
F-64							X	X	BR-55 (384,5-385)	NL	IDEM	

**TABELA 18 - MÉTODOS ANALÍTICOS E LIMITES DE
DETECÇÃO (LD).**

MÉTODO DE ANÁLISE	LD
Au (ppb): <i>Fire Assay</i> (fusão e copelação)/Absorção Atômica	1 ppb
As (ppm): Água Régia/Absorção Atômica	5 ppm
Ag (ppm): Água Régia/Absorção Atômica	0,05 ppm
S (%): Água Régia/Absorção Atômica	0,01 %
Ni (ppm): Água Régia/Absorção Atômica	10 ppm
Fluorescência de raios X (XRF) - elementos maiores	0,01 %
Fluorescência de raios X (XRF) - elementos traços comuns	1-5 ppm
XRF - elementos traços: Th, U, La, Ce, Nd	10-25 ppm

ANEXO 40

ANEXO 4P

675950E
7793500N

678700E

7793500N

NORTE
VERDADEIRO

LEGENDA

DRENAGENS

FERROVIA

FALHAS

CENOZÓICO :
ALUVIÕES, AREIAS, CASCALHOS E SOLOS ARGILOSOS;
DEPÓSITOS DO RIO VALÉRIA

METABASITO :
SILL DE GRANULAÇÃO GROSSEIRA

ARQUEANO :
SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

GRUPO NOVA LIMA:
ANFIBOLITOS, XISTOS E BIF'S

GRUPO QUEBRA OSSO
META-ULTRAMÁFICAS: XISTOS CLORÍTICOS,
SERPENTINÍTICOS E TALCO XISTOS
EM PARTE BIOTITIZADOS

COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO
ARQUEANO
GRANITÓIDES E GNÁISSES TTG VARIADOS

ANEXO 1A:
MAPA GEOLÓGICO DO MORRO DO PARI E ADJACÊNCIAS

ESCALA APROX. 1:15.000

AUTOR : GUSTAVO CORRÊA DE ABREU

7787500N

675950E

678700E

7787500N

ESCALA 1:5.000

GALERIA DE DESENVOLVIMENTO

FURRO DE SONDA ROTATIVA

COMPLEXO GNAISSICO MIGMATITICO	+	+	
--------------------------------	---	---	--

GRUPO QUEBRA OSSO

UNIDADE A

UNIDADE B

UNIDADE C

UNIDADE D

HORIZONTE MINERALIZADO	
------------------------	--

BIF TIPO ALGOMA	
-----------------	---

VEIO DE QUARTZO MINERALIZADO

GRUPO A NOVA LIMA

LEGENDA

- Anfibolitos finos.
- Hornblenda - Clorita - Biotita - Xisto
- Minério (biotita - hornblenda xisto granulífero sulfetado; metachert com sulfetos e magnetitas)
- Zonas de intenso cisalhamento
- Contato mapeado
- Contato inferido
- Contorno das galerias
- Atitude da foliação principal

ANEXO 2: PLANTA GEOLÓGICA DO NÍVEL 10
MINA DO PARI
Escala 1:200

LEGENDA

Hornblenda - clorita - biotita - xisto

Minério

Contorno da Galeria

ANEXO 3:
PLANTA DO NÍVEL 11
MINA DO PARI
ESCALA 1:200